

Gefügekundliche Studien in alpinen Salzlagern

Von MARIA SCHINDL-NEUMAYER*)

Mit 20 Abbildungen

Salzburg
Oberösterreich
Steiermark
Salzlagerstätten
Gefügekunde

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 94, 96

Inhalt

Zusammenfassung	135
Summary	136
1. Problemstellung	136
2. Die alpinen Salzlagerstätten als marine Sedimente	137
3. Altersdatierung	137
4. Minerale des alpinen Salinars	137
5. Zusammensetzung und geologische Position der alpinen Salzlagerstätten	138
6. Korngefüge im alpinen Salinar	139
6.1. Anhydrit	139
6.2. Polyhalit	141
6.3. Steinsalz	142
7. Typische primäre Anlagerungsgefüge	142
7.1. Schichtung und Feinschichtung	143
7.2. Schrägschichtung, Kreuzschichtung	144
7.3. Geopetales Gefüge	144
8. Untypisch-sedimentäre, syn- und postdiagenetische Salzgefüge	145
8.1. Deformationsbrekzie	145
8.2. Kluftmineralisation	146
8.3. Blättersalz	146
8.4. Tonwürfelsalz	146
8.5. Augensalz	147
8.6. Basalte und Tuffe im Salzverband	149
9. Mechanische Verformungen im Haselgebirge	149
9.1. Falten und Rupturen	149
9.2. Kristallisation – Deformation	150
9.3. Unterschiedliches mechanisches Verhalten im Teilgefüge	150
10. Rotfärbung von Salzmineralien	151
11. Diskussion der Ergebnisse	152
Dank	155
Literatur	155

Zusammenfassung

Untersuchungen an Anlagerungsgefügen und Korngefügen im Haselgebirge der alpinen Salzlagerstätten Hallein, Bad Ischl, Hallstatt und Alt Aussee hatten zum Ziel, die Entwicklungsstadien vom Ablagerungsraum bis heute auf Grund von sedimentären Relikten, Rekristallisationen, Umkristallisationen, Umwandlungen und Verformungen im Zusammenhang mit der Diagenese und Salzmetamorphose zu studieren.

Schichtung im allgemeinen, bzw. Feinschichtung, als unmittelbares Charakteristikum der Sedimente, ist auch in den Salztonlagern trotz oft starker tektonischer Überprägung erhalten. Vorherrschend sind bis in den Mikrobereich sichtbare Wechsellagerungen von Anhydrit- und Tonschichten, Steinsalz- und Tonschichten und von verschiedenen Ton- und Mergelschichten. Weitere typische Sedimentgefüge, wie Schräg- und Kreuzschichten, polare und geopetale Anlagerungen sowie Resedimente und subaquatische Faltungen bestätigen die zum Teil

noch erhaltene primäre Form des Haselgebirges. Solche Merkmale treten besonders in Anhydrit-Tongesteinen auf.

Für die zum Teil noch weitgehende Erhaltung des sedimentären Verbandes sprechen besonders resedimentierte Abfolgen mit vertikaler Sortierung der Komponenten sowie Inhomogenitätsbrekzien, bei denen starre Zwischenschichten wie Anhydrit, Polyhalit und Diabasgestein durch syn- und postdiagenetische Deformation innerhalb plastischer Salztone zerbrochen, aber nicht gänzlich aus dem Verband gerissen wurden. In vielen anderen Fällen allerdings ging die Verlagerung und Verfrachtung der Fragmente innerhalb des Sedimentverbandes so weit, daß der Typ des tektonischen Haselgebirges entstand.

Für die alpinen Salzlagerstätten typische Bilder liefern die reichlich vertretenen Biegegleitfalten und Scherfalten mit vielen Übergängen. Die oft sehr komplizierten Formen sind in den leicht verformbaren wechsellagernden Steinsalz-Tonschichten und Gips-Anhydrit-Tonschichten durch Farbkontraste deutlich hervorgehoben.

An dem im alpinen Salinar wichtigen Korngefüge von Gips, Anhydrit, Steinsalz und Polyhalit konnten verschiedene ältere und jüngere Generationen unterschieden werden. Keines die-

*) Anschrift der Verfasserin: Dr. MARIA SCHINDL-NEUMAYER, Starhembergstraße 57, A-4020 Linz.

ser Mineralaggregate kann aber eindeutig als primäre Bildung betrachtet werden. Zumindestens Sammelkristallisationen sind allenfalls nachzuweisen. Das ergibt im Zusammenhang mit primären Toneinstreuungen und vereinzelt Erzminerallagen typische Interngefüge.

Bereits syndiagenetisch begannen sich Umkristallisationen auszubilden. Gips, als primäre Ausscheidungsphase, wandelte sich durch Dehydratation in Anhydrit um, Steinsalzaggregate unterlagen durch Sammelkristallisation einer Kornvergrößerung, und durch Mobilisation von K- und Mg-hältigen Lösungen dürfte sich aus Anhydrit mitunter schon Polyhalit gebildet haben. Dieser erweist sich in den meisten Fällen als eindeutig sekundär entstanden. Für Anhydrit konnte eine interessante Pseudomorphose nach Gips-Schwalbenschwanzwillingen gefunden werden.

In der Schichtung eingeregelt Kristalle, besonders Anhydrittafeln, sind ein Hinweis für belteropore Wachstumsregelung. In einem besonderen Fall wurde Abbildungskristallisation aus einem Anhydrittekonitgefüge wahrscheinlich gemacht.

Typische Sekundärbildungen im alpinen Salinar sind das Fasernwachstum von Steinsalz, Anhydrit und Polyhalit sowie die Kristallisation von Blättersalz und Tonwürfelsalz.

Augensalz ist genetisch zum Teil als synsedimentäre Bildung zu erkennen und wird auf Einlagerung besonders ausgebildeter, kantengerundeter, meist schwach heterometrischer Einkristalle in eine feinkörnige Salzgrundmasse zurückgeführt.

Die Färbung des nur im alpinen Salinar roten Polyhalits und des roten Steinsalzes wird von Eisenoxyd- und Eisenhydroxid-einlagerungen verursacht.

In den alpinen Salzlagerstätten können demnach überaus vielfältige und instruktive Beispiele für Veränderungen ursprünglicher mechanischer und chemischer Anlagerungsgefüge über das diagenetische Stadium bis zu tektonischen und metamorphen Umgestaltungen erbracht werden.

Summary

Investigations on apposition fabrics and grain structures in the „Haselgebirge“ of the Alpine salt deposits of Hallein, Bad Ischl, Hallstatt and Alt Aussee aimed at studying their evolutionary stages from the deposition area up to the present on the basis of sedimentary relics, recrystallisations, alterations and deformations in connexion with diagenesis and salt metamorphism.

Bedding in general and fine bedding as the immediate characteristic of the sediments are also preserved in the salt-clay beds despite frequently strong tectonic overprinting. Interbeddings of anhydrite/clay beds, anhydrite/polyhalite beds, polyhalite/anhydrite/clay beds (rock salt/clay beds) and of several clay/marl beds are predominant and visible even in the micro-range. Other typical sedimentary fabrics, such as cross-beds, polar and geopetal appositions as well as resediments and subaquatic foldings, confirm the primary form of the „Haselgebirge“ which is still preserved in parts. Such characteristics occur particularly in anhydrite-clay rocks.

Indications of the partly extensive preservation of the sedimentary system are above all resedimentated sequences with vertical grading of the components as well as inhomogeneity breccias, among which rigid interbeds, such as anhydrite, polyhalite and diabase rocks, were broken by syn- and postdiagenetic deformations within plastic saliferous clays but not removed entirely from the system. In many other cases, however, the fragments were displaced and transported within the sedimentary system in such a way as to form the tectonic „Haselgebirge“.

The frequent flexure-slip folds and shear folds with many transitions are typical of the Alpine salt deposits. The frequently very complicated forms stand out clearly from the easily deformable interbedded rock salt-clay beds and gypsum-anhydrite-clay beds due to contrasts in their colours.

On the grain structures of gypsum, anhydrite, rock salt and polyhalite which are important in the Alpine saliferous sedimentation, various older and younger generations were discerned. However, none of these mineral aggregates can be regarded as a primary formation. Accretion crystallisations can be proved at best. In connexion with primary clay strewings and isolated ore mineral layers this leads to typical *si*-fabrics.

Recrystallisations already began to develop syngenetically. Gypsum as the primary precipitation phase changed into anhy-

drite through dehydration, rock salt aggregates experienced an increase in grain size through accretion crystallisation and polyhalite may already have been formed from anhydrite through the mobilisation of K- and Mg-bearing solutions. The polyhalite is in most cases clearly of secondary origin. For anhydrite an interesting pseudomorphism after gypsum-butterfly-twins was found.

Crystals, especially anhydrite plates, which are oriented in the bedding, indicate a belteropore growth orientation. In one special case mimetic crystallisation from an anhydrite-tectonic fabric is considered likely.

The fibrous growth of rock salt, anhydrite and polyhalite as well as the crystallisation of leaf salt and „Tonwürfelsalz“ are typical secondary formations in the Alpine saliferous sedimentation.

Genetically, eye salt is partly discernable as a synsedimentary formation and is attributed to the insertion of specially formed, subangular, mainly weakly heterometric monocrystals into a fine-grained salt matrix.

The colouring of the polyhalite, which is red only in the alpine saliferous sedimentation, and of the red rock salt is due to iron-oxide and iron-hydroxide inclusions.

Thus, the Alpine salt deposits provide manifold and instructive examples of changes of original mechanical and chemical apposition fabric to the diagenetic stage and to tectonic and metamorphic reworkings.

1. Problemstellung

Salinare Gesteine lassen keinen Zweifel offen, daß die darin noch vertretenen primären authigenen Mineralphasen sedimentär durch chemische Ausfällung entstanden sind. Zahlreich und vielfältig sind jedoch die seit diesem Entstehungsstadium abgelaufenen Veränderungen. Auf Grund dieser Tatsache wurden auch im Rahmen der folgenden Arbeit gefügekundliche Studien in den alpinen Salzlagerstätten durchgeführt. Durch Aufschlußstudien in den Salzbergbauen Hallein, Bad Ischl, Hallstatt und Alt Aussee sollte Einblick in die geowissenschaftliche Problematik der Salzlagerstätten gewonnen werden und die Veränderungen der salinaren Sedimente über einen weiten Zeitraum verfolgt und studiert werden. Der generell schichtige Aufbau der Salzgesteine bietet mit seinen zahlreichen mechanischen, chemischen und mineralogischen Umbildungen ein hervorragendes Studienobjekt.

Das primäre sedimentäre Gefüge der Salzablagerungen unterlag vielen sekundären Einflüssen: syn- und postdiagenetische mineralische Umwandlungen, wie hydrogener und metasomatischer Art, subaquatische und tektonische Verformung sowie auch metamorphe Prozesse durch Überlagerungsdruck und durch die alpidische Orogenese während der Deckenschübe der Nördlichen Kalkalpen. Sammelkristallisationen und Neukristallisationen im Mineralbestand verursachten Veränderungen im Korn- und Gesteinsgefüge. Gerade die für das Salinar so charakteristischen Umkristallite sind Zeichen für die hohe Mobilität und Reaktionsbereitschaft des Salzgebirges; seine Plastizität und die hohe Teilbeweglichkeit kommt auch durch verschiedenartige Faltenbildungen zum Ausdruck.

Kein Forscher bezweifelt, daß das vorliegende Salzgestein, also das alpine Haselgebirge, ursprünglich durch hauptsächlich chemische, neben mechanischer Anlagerung, also im wesentlichen als chemisches Sediment in Salzlagunen gebildet worden ist und durch unzählige nachträgliche Einflüsse aus diesem Primärmaterial das heutige Bild der Salzlagerstätten geschaffen wurde.

Demnach kann ein Studium über Gefügeformen in den alpinen Salzlagern im großen und im kleinen wichtige Beiträge über primäre und sekundäre sedimentäre Bildungsvorgänge liefern. Daraus könnte sogar in weiterer Folge ein Vergleich mit sedimentären Erzlagerstätten und ihren Veränderungen im Mineralbestand und Gefüge von großem Interesse sein.

2. Die alpinen Salzlagerstätten als marine Sedimente

In allen natürlichen Gewässern der Erde läßt sich ein gewisser Salzgehalt nachweisen, selbst im Regenwasser finden wir Salz. Für Salzausscheidungen sind Voraussetzung: das Vorhandensein von Salzlösungen und das Zusammenspiel bestimmter physikochemischer, klimatischer und geologischer Bedingungen. Die Salzausfällung ist im wesentlichen abhängig von den Verdampfungsraten gesättigter Lösungen und damit von den klimatischen und geographischen Bedingungen. Arides Klima begünstigt daher die Salzabscheidung.

Die wichtigsten Theorien über die Salzlagerstättenbildung seien in Erinnerung gebracht: Die Barrentheorie von OCHSENIUS (1871), die Wüstentheorie von J. WALTHER (1912), die fazielle Grundlagen berücksichtigende Theorie von RICHTER-BERNBURG (1955) mit Flach- und Tiefschelfsalinar und schließlich die von H. BORCHERT (1958) postulierte Ansicht über Salzausscheidungen in Strömungen entlang horizontaler Temperaturgefälle in verschiedenen Tiefenlagen von bis zu 200 m tiefen Meeresbecken.

Das für die Alpen typische Salzgestein, das „alpine Haselgebirge“ besteht hauptsächlich aus Steinsalz mit Tonmineralen und enthält oft wesentliche Anteile von Gips, Anhydrit und Polyhalit. Die Verteilung dieser Komponenten ist teils homogen, teils schichtig, feinschichtig, oft zeigen sich brekziöse Gesteine, vor allem ist aber eine konglomeratische Ausbildung auffallend.

Über die Entstehung dieses Typus gibt es verschiedene Auffassungen: So vertritt MEDWENITSCH (1949, 1954) die Ansicht, daß das Haselgebirge ein tektonischer Mylonit sei. Die ursprünglichen Salz-Ton-Lagen seien durch den Deckenschub auf reliefreicher Unterlage vollkommen zerstört und so zu einem Brei geworden. Diese Auffassung des „chaotischen Breis“ von MEDWENITSCH steht im Widerspruch zur Ansicht SCHAUBERGER (1955), der das Haselgebirge rein sedimentär entstanden erklärt. Er stützt sich dabei auf gut erhaltene Schichtfolgen, die auch eine feinstratigraphische Einteilung ermöglicht haben, und in manchen Fällen sind sogar Leitschichten kartierbar. Selbst wenn diese zerrissen wurden, so läßt doch die Anordnung der Trümmer die ursprünglich schichtigen Zusammenhänge oft noch erkennen. Als zur Auffassung von SCHAUBERGER zwingender Befund gilt der über 3 km verfolgbare Basalthorizont; ein submariner Lavaerguß, der von Tuffitlagen begleitet wird. „Demnach ist die Bildung des Haselgebirges ein rein sedimentärer Vorgang, der in seinem Ergebnis durch die fließtektonische Überarbeitung nicht mehr wesentlich beeinflußt wurde“ (SCHAUBERGER, 1955, S. 746).

Nicht ganz im Widerspruch zu SCHAUBERGER steht die Auffassung von MAYRHOFER (1953), welcher die Parallelstruktur im Salzgebirge auch als Abbild einer ehemaligen Schichtung betrachtet. Doch will er die Haselgebirgsbildung als Schieferungsvorgang verstanden wis-

sen. Bei entsprechendem Druck aneinander vorbeigleitender, spröder Tonlagen sei die mächtige „Salzzwischenschicht“ in Scherklüften der Tonschichten eingedrungen. Bei andauernder Bewegung und seitlichem Druck sollte das Salz immer feiner in den Ton hineingepreßt worden sein, bis schließlich eine homogene, feinkörnige Durchmischung beider Komponenten vorlag. Diese Querintrusion soll bis zum völligen Verbrauch des Kernstrichs, der Salzzwischenschicht, angehalten haben.

3. Altersdatierung

Die Frage der Altersdatierung des Haselgebirges konnte bis heute nicht exakt geklärt werden. Das beruht auf dem Fehlen von Fossilien mit Ausnahme der bis jetzt gefundenen Pollen und Pflanzenteile. Aus den Zweifeln zwischen permisch (E. SEIDL, 1928; MEDWENITSCH, 1949; TOLLMANN, 1964) und triadisch (Pflanzenfunde) zog SCHAUBERGER (1955) die Konsequenz und suchte mit der permoskythischen Gesamteinstufung einen Ausweg.

In letzter Zeit versuchte man mit Hilfe der S-Isotopenanalyse eine zeitliche Präzisierung zu erreichen (PAK, 1974, 1978; PAK & SCHAUBERGER, 1981). Diese stützt sich auf die $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ -Verhältnisse im Sulfatschwefel des Meerwassers bzw. der Evaporite, wobei die ganz charakteristischen Schwankungen der $\delta^{34}\text{S}$ -Werte im Laufe der Erdgeschichte als Grundlage genommen werden. Demnach rechnen PAK und SCHAUBERGER mit zwei verschiedenen alten Sedimentationsphasen, in denen die Salzgebirgsarten entstanden sind: „Rotsalzgebirge“ und „Grüntongebirge“ im Oberperm, vielleicht bis in das untere Skyth; „Stinkdolomitisch-anhydritisches Grausalzgebirge“ und vermutlich „Buntes Salztongebirge“ im oberen Skyth bis Basis Anis. Die Lagerstätten Hallstatt und Hall in Tirol dürften eine vom Oberperm bis gegen das Anis mehr oder weniger durchlaufende Haselgebirgssedimentation beinhalten.

4. Minerale des alpinen Salinars

Die Abscheidungsfolge beginnt im hypersalinaren Milieu mit Dolomit und geht mit Gips-Anhydrit in die saline Abfolge über. Es kann von drei salinaren Großfaziesbereichen gesprochen werden, einer Gips-Anhydrit-, Steinsalz- und Kalisalzfazies. In den alpinen Salzlagerstätten wurde nur eine relativ geringe Eindunstung und Solekonzentration erreicht, hauptsächlich bis zur oberen Anhydritfazies. In manchen Fällen sprechen die Bromgehalte des Steinsalzes jedoch für eine Kieserit- bzw. Polyhalitfazies, doch sind diese primären Kalisalzausscheidungen durch hydrothermale Metamorphose (im Sinne von LOTZE, 1938, S. 188) aufgelöst worden (SCHAUBERGER, 1979, S. 445).

In den alpinen Salzlagerstätten wurden bisher folgende Minerale der Salzparagenese entdeckt (SCHAUBERGER, 1955):

Gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,
Anhydrit CaSO_4 ,
Steinsalz NaCl ,
Polyhalit $\text{K}_2\text{MgCa}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,
Glauberit $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$,
Kieserit $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$,
Blödit (Astrakanit) $2\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$,

Löweit $\text{Na}_2\text{Mg}_7(\text{SO}_4)_{13}$,
 Langbeinit $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$,
 Vanthoffit $3\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$,
 Epsomit $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Bei der Untersuchung der transparenten Minerale der Salzparagenese war zusätzlich zur Dünnschliffdiagnose auch die Beobachtung polierter Oberflächen im polarisierten Auflicht von Nutzen. Als vorteilhaft erwies sich dabei die Beurteilung des Reflexionsvermögens vor allem in jenen Fällen, in welchen im Rahmen der Auflichtmikroskopie Zweifel in der Mineraldiagnose bestanden. Da die RV-Unterschiede z. B. zwischen Steinsalz und Anhydrit für das Auge zu gering erscheinen, brachte die Messung mit dem Mikrospektralphotometer (REICHERT-Univar) doch eine erhebliche Hilfe. Die erzielten RV-Werte wurden nachfolgend mitgeteilt.

Aufgrund des Brechungsindex lassen sich nach der Formel

$$R = \left(\frac{x-1}{x+1}\right)^2 \cdot 100$$

errechnen:

für Steinsalz ($n = 1.544$)

RV = 4.5766,

für Polyhalit

($n_x = 1.548 - 1.547$, $n_y = 1.562 - 1.560$, $n_z = 1.567$)

RV_x = 4.66–4.61, RV_y = 4.812–4.79, RV_z = 5.51,

für Anhydrit ($n_x = 1.57$, $n_y = 1.5757$, $n_z = 1.6138$)

RV_x = 4.92, RV_y = 5.00, RV_z = 5.51.

Im Vergleich dazu liegen die tatsächlich gemessenen RV-Werte wie in Tab. 1 dargestellt, wobei jeweils der an einem Korn höchste erzielbare Wert statistisch erfaßt und sodann von den Höchstwerten Durchschnittswerte in diese Übersicht aufgenommen wurden.

5. Zusammensetzung und geologische Position der alpinen Salzlagerstätten

Für die Erklärung der meist stark deformierten Schichtabfolgen der einzelnen Lagerstätten und ihre tektonische Position ist das von SCHAUBERGER (1955) für Hallstatt bekanntgemachte feinstratigraphische Schema von grundlegender Bedeutung. Neuerdings wurde der stratigraphische Aufbau der alpinen Salzlager und ihre Altersstellung noch weiter geklärt (SCHAUBERGER, 1979; PAK & SCHAUBERGER, 1981). Vor allem im Sedimentationsraum der Hallstätter Fazies erreichte das alpine Haselgebirge eine bemerkenswerte Anreicherung. Mechanisch und chemisch angelagerte Sedimente, autochthone Kristallite gemischt mit allochthonen Schüttungen in die Salzbecken, führten zu dem meist komplexen Salinarinhalt.

Nach SCHAUBERGER besteht die Abfolge in den zusammenhängenden Lagerstätten Hallein (Dürrenberg) – Berchtesgaden aus etwa gleichen Anteilen von Rotsalzgebirge und Grüntongebirge (beide Oberperm). Das jüngere Bunte Salztongebirge, für dessen Bildungszeit Oberskyth bis Basis Anis angenommen wird, ist nur mit 14–18 % vertreten. Die Salzlagerstätte liegt in einer nach W fallenden Mulde des Tirolikums und wurde von der hochjuvavischen Berchtesgadener Decke überschoben. Nach den heutigen Auffassungen (PLÖCHINGER seit 1974) über den tektonischen Bau des Halleiner Bereiches wird die das Salzlager Berchtesgaden–Dürrenberg beinhaltende Hallstätter Masse als intramalmische Scholleneingleitung im Rahmen einer ju-

rassischen Transversaltektonik vermutet. Als Begründung werden haselgebirgsreiche Einschaltungen in den umhüllenden Oberalmer Schichten (Tithon) und Gerölle aus dem Hallstätter Faziesraum in den Basiskonglomeraten der Oberalmer Schichten angeführt. Ausgelöst wollen die Eingleitungen von Hallstätter Schollen in mehreren Phasen durch ein von Salzdiapirismus erzwungenes Aufwölungsgebiet worden sein. Neuerdings wird im Hallein–Berchtesgadener Raum auch auf Grund der normalen Überlagerung der Bunten Hallstätterkalke durch Zlambachmergel nur mit einer Hallstätter Decke (Tiefjuvavikum) (TOLLMANN, 1976; PLÖCHINGER, 1980) und nicht wie MEDWENITSCH (1960, 1963) annimmt, mit zwei Decken gerechnet.

Der E–W-streichende und steil S-fallende diapirische Salzgebirgskörper von Hallstatt setzt sich nach SCHAUBERGERs stratigraphischen Detailergebnissen aus 24 % Rotsalzgebirge, 30 % Grüntongebirge (Oberperm) sowie aus 33 % Buntem Salztongebirge und 13 % dolomitanhydritischem Grausalzgebirge (Oberskyth–Anis-Basis) zusammen. Der zur Hallstätterzone gehörige nach N überkippte Salzrücken liegt tektonisch begrenzt zwischen zwei aus Ramsadolomit und Dachsteinkalk bestehenden muldenförmig gegeneinander geneigten Faltenflügeln der hochjuvavischen Dachsteindecke (SCHAUBERGER, 1955).

Die Salzlagerstätte von Bad Ischl besteht nach SCHAUBERGER aus überwiegend, nämlich 70 %, Rotsalzgebirge und 10 % Grüntongebirge des Oberperm, zu 30 % aus Gesteinen der jüngeren Salzfolge. Das Rotsalzgebirge ist nach SCHAUBERGER (1979) nicht so typisch wie im Altaussee Salzberg ausgebildet, nämlich nur als salzärmeres Rotes Bändersalzgebirge. Der Ischler Salzberg besteht aus zwei, durch eine Aufwölbung des tirolischen Untergrundes voneinander getrennten Salzstöcken, dem Pernecker Hauptlager und dem Lauffener Vorhauptlager, das durch den Lauffener Erbstollen aufgeschlossen wurde. Es bildet den südöstlichen Ausläufer des ersten, 1965 aufgedeckten, Trauntaler Salzlagers, das sich von Lauffen bis Bad Ischl in 280–500 m Tiefe unter dem Trauntal erstreckt.

Der Lagerstättentyp sowohl in Bad Ischl als auch in Alt Aussee fällt nach MEDWENITSCH (1958) unter den Begriff des Stirntyps im Gegensatz zu dem des Deckenüberschiebungstyps in Hallstatt und Hallein.

Die Lagerstätte Alt Aussee besteht bekanntlich zu 90 % aus dem oberpermischen Rotsalzgebirge, das hier weiter zu unterteilen ist in das schichtungslose Rote Kerngebirge und in das rote tonige Bändersalzgebirge; SCHAUBERGER (1979) spricht wegen des fast völligen Fehlens der anderen Salzgebirgsarten von einer Ausseer Salzfazies als Ergebnis einer relativ ruhigen Sedimentation in einem tieferen, küstenferneren Stillwasser eines Lagunenareals, in welchem allerdings infolge häufiger Regressionen des Eindampfungsprozesses wiederholt Zwischenschichten von Anhydrit und terrogenem Ton eingeschaltet wurden, es aber in Zwischenzeiten höherer Konzentration auch bis zur Sedimentation von Salzen der Polyhalit- und Kieserit-Region kommen konnte.

Die seit 1968 nicht mehr abgebaute Salzlagerstätte von Hall in Tirol liegt mit mittelsteilem Südfallen zwischen der tieferen Lechtaldecke und der höheren Innentaldecke (nach AMPFERER u. a.). Sie besteht zu zwei Dritteln aus dem salzarmen Grüntongebirge der älteren und zu einem Drittel aus dem dolomitanhydritischen

Grausalzgebirge der jüngeren Salzfolge. Das Rotsalzgebirge hat hier mit nur ca. 3 % den geringsten Anteil in allen alpinen Salzlagerstätten.

6. Korngefüge im alpinen Salinar

Die Salzabscheidung kann im Rahmen des Sedimentationsaktes auf verschiedene Weise vonstatten gehen (LOTZE, 1938, 1957). Die Erstausscheidungen müssen keineswegs immer an der Oberfläche der Lauge erfolgen, wie besonders von BORCHERT (1964) betont wird. Je nach T- und X-Bedingungen beginnen die Kriställchen an Kristallkeimen verschieden rasch zu wachsen, was im Sinne der Gefügekunde eine chemische Anlagerung ist. Mit der Zunahme des Gewichtes wird ein Absinken eintreten, somit ein mechanischer Anlagerungsvorgang. Schließlich kann auch ein Kristallwachstum vom Boden her, also an der freien Bauzone als chemische Externanlagerung erfolgen. Alle Umkristallisationen syn- und postdiagenetisch, alle metasomatischen Stoffaustauschprozesse, das sind nicht-freie chemische Internanlagerungen, im Gegensatz zu den Kristallisationen in verschiedensten Spalten, Haarrissen, Hohlräumen usw., was gefügekundlich als freie Internanlagerung bezeichnet wird, sind hier in vielfältigster Weise anzutreffen. Die Kenntnis dieser Begriffe ist zum Verständnis der folgenden Ausführungen vorteilhaft.

6.1. Anhydrit

Der Anhydrit gehört zu den neben Halit und Polyhalit hier am häufigsten vertretenen Mineralphasen. Die Gefügevarietäten sind sehr abwechslungsreich.

6.1.1. Idiomorphe Anhydritquader in „Ziegelsteinstapel-Struktur“

Diese Gefügevariante, die als Kennzeichen primärer Ausscheidungen gilt, wurde recht selten gefunden. Bei der dichten Lagerung der Kristalle kommt ein weitgehend idiomorphkörniges Gefüge zustande, welches als „Ziegelsteinstapel“-gefüge bekannt ist (FÜCHTBAUER & MÜLLER, 1970).

6.1.2. Granoblastische, xenomorph-mittel- bis feinkörnige Anhydritkristalle als geschlossenes Gefüge

Diese dichte Packung der Körner bedingt durch Wachstumsbehinderung ein z. T. verzahntes, xenomorphkörniges Gefüge, welches vor allem für monomineralische Lagen, also für Anhydritgesteine typisch ist. Im Kleinbereich wirkt das Korngefüge homogen. Es dürfte sich hierbei um sammelkristallisierte Anhydritaggregate handeln, die jedenfalls im Sinne SANDERS (1950) als fixkonturierte Begegnungen von Kristallen im Rahmen mobilkonturierter Kristallisationen zu beurteilen sind. Eine Umwandlung aus Gips scheint wenig wahrscheinlich, weil nirgends Relikte desselben oder Pseudomorphosen zu finden waren.

6.1.3. Hypidiomorphe Anhydritkristalle

die einen Übergang von der Ziegelsteinstapel-Struktur (6.1.1.) und dem Mosaikgefüge (6.1.2.) darstellen.

6.1.4. Anhydrittafeln eingeregelt parallel s.

Große tafelförmige Kristalle wurden bereits von CARROZZI (1960) beschrieben. Ihr auffälliger Habitus veranlaßte CARROZZI, diese Aggregate als „Bazillus-Anhydrit“ zu bezeichnen. In seinem Fall handelt es sich um

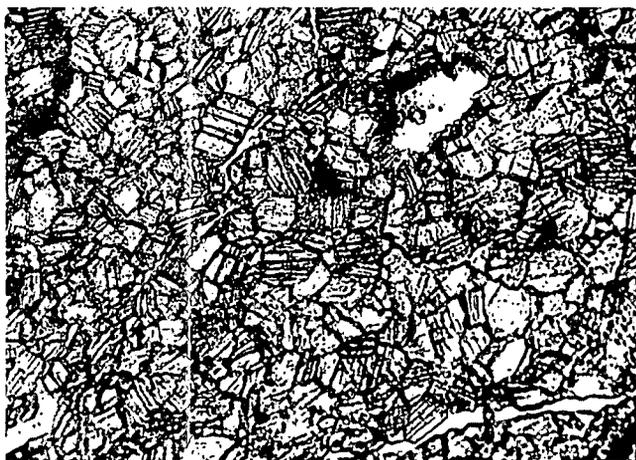


Abb. 1: Hypidiomorph-körniges Anhydritgefüge eines massigen Anhydritgesteines. Salzbergbau Hallein, Wolfdietrich-Horizont. Bildausschnitt 1,18×0,79 mm.

epigenetischen Anhydrit, welcher durch Umwandlung aus primärem oder sekundärem Gips gebildet wurde.

In den alpinen Salzlagerstätten bilden die flachen Anhydrittafeln meist ein geschlossenes Gefüge mit schichtiger Verbreitung, wobei in dieser Schicht aber kein Gips nachzuweisen ist. Wohl aber ist Gips in der angrenzenden Abfolge zu finden, die aus körnigen Anhydritaggregaten lagig aufgebaut ist.

Der heterometrische Habitus der Anhydrittafeln läßt bereits bei der Übersichtsbeobachtung des Dünnschliffes eine gestaltliche Regelung offensichtlich werden. Die s-parallele Lage der Tafeln ist wohl durch Wegsamkeitsbevorzugte Kristallisation in s, also durch Wachstumsregelung entstanden. Denn ein synsedimentäres Einkippen in die s-Fläche oder eine Einregelung durch den Setzungsdruck während der frühen Diagenese ist für diesen Befund auszuschließen, weil der Anhydrit hier, wie die vielen Umwandlungerscheinungen beweisen, sekundär entstanden ist. Meinerseits wird vermutet, daß eine Entwässerung ursprünglicher Gipsschichten keinesfalls schon beim Einsetzen der Diagenese möglich ist. Es scheint sich wohl um spät- bis postdiagenetische Ereignisse zu handeln, da erst in diesen Stadien durch den Überlagerungsdruck und ausreichende Verfestigung eine Dehydratation möglich war. Eine Tektonitregelung durch orogene Beanspruchung wäre denkbar, da zu diesem Zeitpunkt die Umwandlung von Gips in Anhydrit bereits stattfand. In diesem Fall müßte es sich also um eine Schieferung handeln, in welche die heterometrischen Kristalle rotiert und eingeregelt wurden. Die diskutierte Anhydritschicht ist jedoch durchschnittlich nur 0,5 cm dünn und ihre Liegend- und Hangendlagen bestehen aus xenomorphkörnigen Anhydritaggregaten. In diesen ist aber keinerlei Einfluß einer Schieferung oder anderer tektonischer Beanspruchung bemerkbar.

Somit bleibt als beste Erklärung der Regelung der Anhydrittafeln eine Wachstumsregelung im Sinne eines belteroporen Gefüges, wobei wahrscheinlich schon ein bereits nach dem Kornfeinbau geregeltes Anhydrit-Pflastergefüge vorhanden war. In diesem Fall läge eine Abbildungskristallisation vor. Zur Erhärtung dieser Ansicht kann nachfolgender Befund angeführt werden. Warum freilich die einen Feinlagen eine Neukristallisation erfahren, die anderen nicht, bleibt dahingestellt.

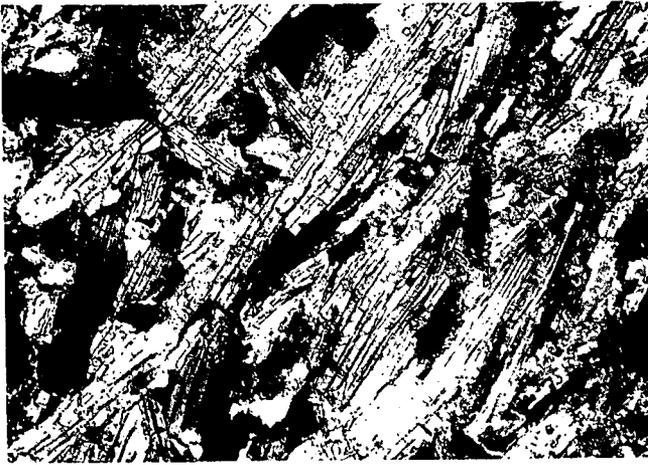


Abb. 2: Gestaltlich scharf geregeltes Anhydritgefüge, heterometrische Kristalle statistisch parallel. Salzbergbau Bad Ischl, Lauffener Erbstollen. Dünnschliff, Nicols +. Bildausschnitt 0,8×1,2 mm.

So wurden sowohl von den, von stengeligen Anhydritaggregaten aufgebauten, als auch von den, von körnigen Anhydritaggregaten aufgebauten Feinlagen Körner mittels U-Tisch eingemessen. Wie erwartet, zeigt sich bei den heterometrischen Anhydritkristallen eine gut ausgeprägte Regelung parallel zur s-Fläche. Erstaunlicherweise ergab jedoch auch das Diagramm der körnigen Anhydritkristallite ähnliche Besetzungsschwerpunkte. Da es sich hier offensichtlich um keine gestaltliche Regelung handelt, muß eine Regel nach dem Kornfeinbau stattgefunden haben.

Die Korngefügemessungen in den Schnitten senkrecht s wurden auf das orthorhombische Mineral abgestimmt und zu diesem Zwecke die Indikatrix eingemessen. Die kristallographische c-Achse wurde in den Diagrammen als Pol eingetragen, die weitere Lagefreiheit blieb unberücksichtigt. Die statistische Auszählung der Messungen zeigt ein ausgeprägtes Maximum senkrecht zur s-Fläche des Sediments.

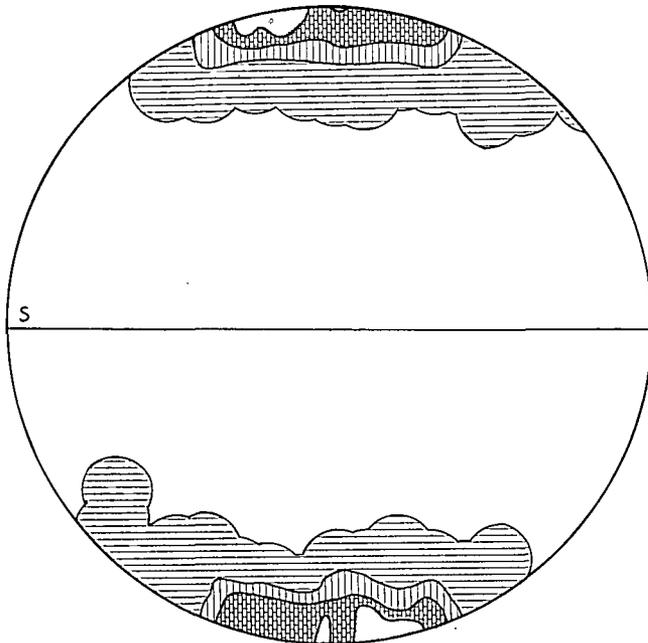


Abb. 3: Mit dem U-Tisch eingemessene c-Achsen von Anhydritkristallen in der statistischen Übersicht zeigen scharfe bzw. deutliche Regelung. Links: Messungen tafeliger Aggregate (>17 – 14 – 8 – 5 – 0 %); rechts: Messungen körniger Aggregate (>8 – 5 – 2 – 0 %). Schnitte \perp s.

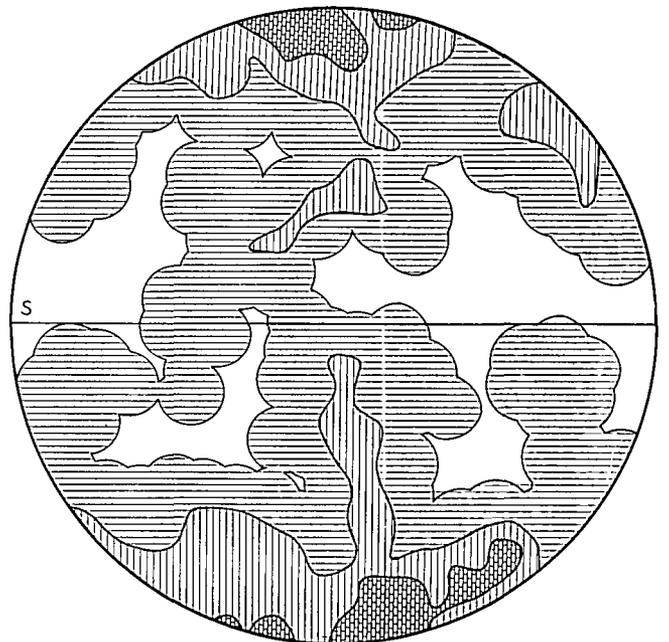
6.1.5. Anhydrittafeln mit beginnender Umwandlung in Polyhalit

Es handelt sich hierbei um große Anhydritkristalle, die frei von jeglicher Verunreinigung und Einschlüssen sind. Ihre Spaltbarkeit ist fast immer sehr deutlich sichtbar, und die Aggregate sind, falls sie nicht schon randlich in Polyhalit umgewandelt sind, idiomorph begrenzt. Dieser Polyhalitsaum kann verschieden breit sein, der Polyhalit scheint dabei den Anhydrit richtig „an- und aufzufressen“. Weiters bildet er sich auch selektiv wegsamkeitsbedingt entlang der deutlich rechtwinkelig angeordneten Spaltflächen des Anhydrits. Die Fasern des Polyhalits wachsen quer zu den Grenzflächen des Anhydrits.

Bei derartigen Anhydritkristallen handelt es sich höchstwahrscheinlich um sekundären Anhydrit, für den bei den Bergleuten die Bezeichnung Muriazit gebräuchlich ist. Er unterscheidet sich vom primär gebildeten



Abb. 4: Anhydrittafeln in einer Steinsalz-Polyhalit-Grundmasse. Die hellgraue Anhydrittafel (untere Bildhälfte) zeigt rechts die relikte Form eines Schwalbenschwanzzwillings. Salzbergbau Hallstatt, Maria Theresia-Horizont. Dünnschliff, Nicols +. Bildausschnitt 10,1×7,2 mm.



Anhydrit durch auffallend große und klare Kristalle. Dies ist verständlich, da durch Sammelkristallisation eine Kornvergrößerung und Reinigung der Kristalle erfolgt.

6.1.6. Xenomorph-feinkörnige Anhydritkristalle mit eingeschlossenen Polyhalit-Aggregaten

Es handelt sich hier um eine homogene Verteilung von uneben begrenzten Anhydritkristallen, zwischen denen manchmal kleine Reste aus Gips anzutreffen sind. Daneben tritt aber auch schon feiner Polyhalit auf.

An solchen Beispielen kann man drei Generationen von Mineralphasen erkennen: der Anhydrit hat sich aus dem zuvor vorhandenen Gips gebildet. Es ist damit aber noch nicht gesagt, daß dieser Gips primär entstanden ist. Der Anhydrit ist nun in Polyhalit umgewandelt, der seine typische faserige Struktur aufweist.

6.1.7. Tafeliger Anhydrit pseudomorph nach Gips und weiter verdrängt von Polyhalit

In tafeligen Anhydritgefügen besitzen bemerkenswerterweise manche Anhydrit-Körner die Gestalt von Schwabenschwanzwillingen. Daraus kann auf Pseudomorphosen von Anhydrit nach Gips geschlossen werden. Der Anhydrit mit der typischen Gipsform wird nun seinerseits von Polyhalit zersetzt und umgewandelt.

Abb. 4 zeigt einen Anhydritkristall in der beschriebenen Gestalt, wobei sich u. d. M. bei gekreuzten Nicols durch unterschiedliche Auslöschung eine Kern- und Randzone im Anhydritkristall zeigt. Der umgebende feinfilzige Polyhalit beginnt sich randlich in den Polyhalitsaum „hineinzufressen“.

6.1.8. Linsenförmige Anhydritkristallaggregate

Sie liegen in einer tonigen Grundmasse mit sehr unterschiedlicher Größe: von $0,21 \times 0,126$ bis $0,315 \times 0,1155$ mm Querschnitt. Die Querschnitte der Anhydritkristalle sind abhängig von der Linsengröße. Sie betragen in kleinen Linsen $0,063 \times 0,042$ mm bis $0,084 \times 0,084$ mm, in größeren Linsen $0,0945 \times 0,084$ mm bis $0,1575 \times 0,084$ mm.

Die Linsen liegen parallel dem sedimentären s, doch gibt es keine Gradierung oder Anlagerung der Linsen nach bestimmter Größe.

Auch CAROZZI (1960) hat diese Ausbildung beschrieben, gab jedoch keine Erklärung dafür.

HOLSER (1966) erwähnt die Möglichkeit einer Umwandlung von Calcit in Anhydrit und das dadurch wahrscheinliche Auftreten von Pseudomorphosen von Anhydrit nach Fossilien oder auch nur Fossilresten. Die von mir beobachteten linsenartigen Anhydritstrukturen könnten demnach Abbildungen von Fossilien, eventuell von Schalenresten sein. Doch auch die Entstehung der Strukturen durch Konkretion wäre denkbar.

6.2. Polyhalit

6.2.1. Feinfilzige Aggregate

Diese Ausbildungsart tritt hauptsächlich in reinem, massigen Polyhalitgestein auf, also dort, wo makroskopisch keine Wechsellagerung bzw. Feinschichtung mit anderen Salzmineralen oder Tonen sichtbar ist und die Probe als ein homogenes, rötlichgefärbtes Gestein bezeichnet werden kann. In manchen Fällen kann man bei stärkerer Vergrößerung turbulenzartige, wirre Anordnungen mancher feiner Stengelgruppen bemerken. Diese eigenartige Struktur ist aber weder an eine bestimmte Schicht gebunden noch von einer tektonischen Bean-

spruchung ableitbar. Filzige Aggregate können aber in Ausnahmefällen in Wechsellagerung mit feinen Ton-schichten auftreten. Die Tonlagen sind extrem dünn-lagig meist um 1–2 mm, die Polyhalitschichten dagegen dicker (um 5 mm) und der Lagenwechsel ist raumrhyth-misch. In vielen Fällen ist die Toneinschaltung gefältelt. Von diesen Lagen ausgehend kann man eine entspre-chende Verformung auch in die Polyhalitschicht weiter-verfolgen. Der Zeitpunkt der Deformation in bezug auf die Kristallisation ist in einigen Fällen feststellbar und wird später eigens behandelt.

6.2.2. Feinkörnige Grundmasse

Manchmal kann ein Polyhalitgestein auch ausschließlich aus feinkörnigen Mineralaggregaten bestehen. Die Körner sind nie eben begrenzt oder ideal ausgebildet, sondern xenomorph.

6.2.3. Zwillingsbildung in der Polyhalitgrundmasse und in Anhydritporphyroblasten

Große Polyhalitzwillinge konnten fast ausschließlich in reiner Polyhalitgrundmasse festgestellt werden. In einem einzigen Fall wuchsen die Zwillinge ohne Rege-lung inmitten großer Anhydrittafeln.

Die Polyhalitzwillinge sind an keine Schichtung ge-bunden, sondern scheinen willkürlich angeordnet zu sein. In den meisten Fällen jedoch treten sie nesterfö-rmig angehäuft auf. Die Zwillinge berühren sich gegen-seitig nur in Ausnahmefällen.

Die Zwillinge zeigen eine ungewöhnliche, seltene Er-scheinung: und zwar ist hier ein deutliches Wachsen der feinfilzigen Grundmasse auf Kosten der großen Kri-stalle gegeben. Dies ist deshalb ungewöhnlich, da in der Regel die großen Aggregate auf Kosten der klei-neren wachsen. Es scheint also hier der Hinweis auf eine Rekristallisation gegeben zu sein.

Die Begrenzungsflächen der Zwillinge sind völlig un-regelmäßig ausgebildet. Bei stärkerer Vergrößerung kann man das Hineinwachsen feiner Polyhalitstengel in die Zwillinge erkennen. Vielfach sind die Zwillinge nicht mehr vollständig ausgebildet, meistens ist bereits die eine Hälfte durch den feinen Filz der umgebenden Poly-halitmasse ersetzt worden. Beobachtungen im Durch-licht, wonach die feinkörnigen Polyhalitaggregate subtil rötlich pigmentiert sind, die großen Aggregate bzw. Zwillingen hingegen nicht, könnten ein Korngrößenef-ekt sein.

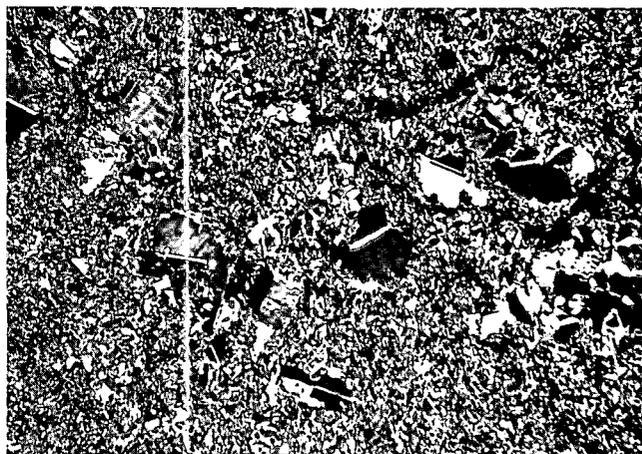


Abb. 5: In filziger Polyhalitgrundmasse liegen unregelmäßig angeordnet Polyhalitzwillinge. Salzbergbau Hallstatt. Nicols +. Bildausschnitt $4,7 \times 3,3$ mm.

Bei der Umwandlung von Anhydrit in Polyhalit bildet sich der Polyhalitsaum immer feinfilzig-nadelig aus. Es konnten niemals saumbildende Polyhalitzwillinge beobachtet werden. Es wäre nun denkbar, daß die durch filzigen Polyhalit verdrängten Polyhalitzwillinge einer früheren, eventuell primären Entstehung zuzuschreiben sind.

6.2.4. Polyhalit als filziger Umwandlungssaum um Anhydrit

Dieser Gefügetyp wurde schon im Kapitel über das Gefüge des Anhydrits behandelt. Es liegt hier eine deutliche Umwandlung von Anhydrit in Polyhalit vor. Der Polyhalit beginnt vom Rand aus und entlang von Spaltrissen in den Anhydrit hineinzuwachsen. In diesen Fällen ist er faserig bis filzig ausgebildet. Seine Aggregate wachsen bevorzugt normal zu den Kristallflächen des Anhydrits.

6.3. Steinsalz

Steinsalz zeigt keine solche Gefügevielfalt, wie dies bei Anhydrit oder Polyhalit der Fall ist. Nach den mir vorliegenden Präparaten sind die Kristallkörner in den Halitaggregaten xenomorph ausgebildet. Bei bevorzugtem Richtungswachstum wie z. B. bei Faserhalit, ist eine Wachstumsregelung mit Längung der Kristalle zu bemerken.

Der würfelige Habitus kommt hauptsächlich in den Idioblasten, wie etwa im Tonwürfelsalz vor. Eine Wechsellagerung von unterschiedlichen Strukturtypen des Steinsalzes konnte nicht festgestellt werden. Wechsellagerungen mit anderen Mineralphasen, insbesondere mit Ton, sind z. B. im Liniensalz zu beobachten. In tonig beeinflussten Steinsalzzügen scheint der Ton bevorzugt entlang der xenomorphen Korngrenzen also in den Intergranularen angelagert zu sein. Toneinlagerungen parallel zu den Wachstumsflächen von Würfeln zeigen stationäres Wachstum an. Anhydrit- und Polyhalitkristalle sind vereinzelt als Einsprenglinge oder in kleineren Gruppen im Salzgestein anzutreffen.

Viele Halitproben weisen Laugeneinschlüsse auf, die mit einer einzigen Ausnahmen inhomogen, sonst scheinbar wirt angeordnet, verteilt sind. Es handelt sich meistens um rechteckige Flüssigkeitseinschlüsse, in denen sich noch kleine Gasblasen befinden. In einem speziellen Fall war im Laugeneinschluß selbst noch ein Mineral mit stengeligem Habitus, Gips oder Anhydrit, zu finden, mit einer Länge von 0,2 mm.

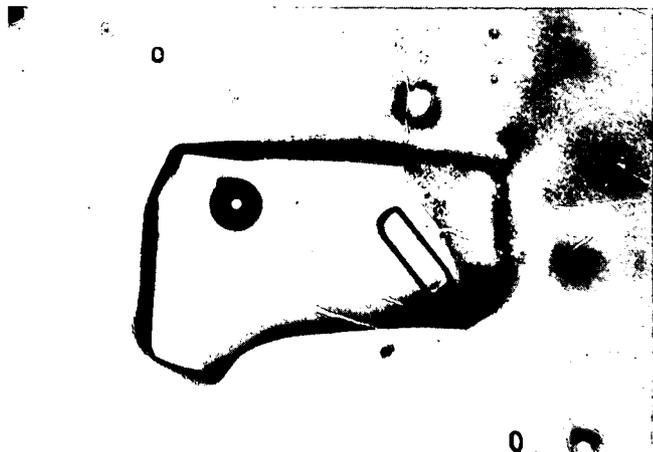


Abb. 6: Flüssigkeitseinschluß im Steinsalz, ein Mineral beinhaltend. Salzbergbau Hallstatt, Maria Theresia-Horizont. Dünnschliff, Nicols ||. Bildausschnitt 1,25×0,83 mm.

7. Typische primäre Anlagerungsgefüge

Hier sollen die noch erhaltenen Relikte der chemischen und mechanischen Anlagerung des Haselgebirges aufgezeigt und ihre Gefügemerkmale beschreiben werden.

7.1. Schichtung und Feinschichtung

Die Schichtung im Salinar beschäftigt seit Jahrzehnten hinsichtlich der Erscheinungen und deren Ursachen viele Autoren. Insbesondere werden auch zeitrhythmische Ursachen diskutiert.

Im Rahmen einer gefügekundlichen Betrachtung spielt die mechanische Anlagerung als „typisch sedimentär“ eine ganz wesentliche Rolle: sie liefert authigenen Detritus und die in der Lauge schwebend ausgefallenen Kriställchen an die Sedimentbauzonen. Natürlich wird dazu der milieubedingten chemischen Anlagerung mit der Ausfällung der schwebenden Kristallite und dem direkten Wachsen der Kristalle und Kristallkrusten an den Bauzonen ebenfalls Aufmerksamkeit zu schenken sein. Die Gliederung des Gesteins in Schichten ist am häufigsten durch den Wechsel im Mineralbestand bedingt, kommt aber auch durch Korngrößenwechsel oder Änderung des Korngefüges zur Geltung.

Trotz Diapirismus und Tektonik kann man in den alpinen Salzlagerstätten oft die Anlage primärer Schichtgefüge erhalten vorfinden. Der Nachweis der Schichtung bildet die Grundlage für stratigraphische und tektonische Betrachtungen.

Folgende Wechsellagerungen konnten in den Gesteinen unserer Salzlagerstätten, abgesehen von den Dolomitgesteinen und ihren Variationen, die Schichtung hervorrufen: Anhydrit und Ton, Polyhalit und Ton, unterschiedliches toniges Material, Ton, Anhydrit und Polyhalit, Anhydrit und Anhydrit, Salz und Ton, Lagen mit Pyritanreicherung.

7.1.1. Anhydrit und Ton

Diese Schichtung, durch Materialwechsel bedingt, kann wie bei allen anderen Arten von Wechsellagerung in sehr unterschiedlichen Formen und Mächtigkeiten vorkommen. Mächtigere Lagen aus Anhydrit zeigen einen höheren Eindunstungsgrad der Lauge an, während die Tonlagen einen verstärkten Süßwasserzufluß oder bzw. und Materialeinschwemmung vom Land bedeuten (SCHAUBERGER, 1955; LOTZE, 1957).

Es kommen aber in diesem Gestein nicht nur ungestörte parallel angelagerte Schichten aus diesen zwei Mineralarten vor, sondern insbesondere die Tonlagen sind häufig von mechanischen Einflüssen synsedimentär i. w. S. und postdiagenetisch geprägt worden. Kleine Mulden, die u. a. während der Diagenese durch Einsinken des noch plastischen Schlammes entstanden sein könnten, sind zu beobachten. Die darüberliegenden Sedimente füllen das Relief aus und bilden dann eine ebene Schichtfläche.

Reine Tonlagen sind eher selten und meistens geringmächtig. Oft handelt es sich um mehr oder weniger durch Ton stark verschmutzten Anhydrit. Der lagenweise unterschiedliche Verunreinigungsgrad macht die Schichtung sichtbar. Vollkommenes Aussetzen der Anhydritsedimentation ist seltener.

Da Verunreinigungen eine Sammelkristallisation hemmen, sind derart verschmutzte Anhydritaggregate sehr feinkörnig erhalten. Sie heben sich also durch ihre Korngröße und durch ihre Verunreinigung von den rei-

nen Anhydritlagen ab und verleihen dem Gestein das schichtige Aussehen. Makroskopisch ist dieser Wechsel meist durch den Farbwechsel von hellen, milchigweißen bis sogar klaren Anhydritlagen und graubraunen tonig imprägnierten verdeutlicht. Manchmal keilen die feinen Tonschichten federnartig in die Anhydritlagen aus. Dies erweckt den Eindruck eines schönen Fließgefüges. In anderen Fällen sind mächtigere Tonlagen zerbrochen und entstandene Spalten mit Anhydrit auskristallisiert.

7.1.2. Polyhalit und Ton

In diesem Fall sind dünne, feine Tonlagen in filziges Polyhalitgestein eingeschaltet. Manchmal ist das ganze Schichtpaket verfaultet worden. Dabei zeigt sich eine plastische Verformung der Tonlagen, die nicht aus ihrem Verband gerissen wurden. Die sehr hohe Teilbeweglichkeit von Tonaggregaten und eine eventuell sehr langsame Deformationsgeschwindigkeit verursachen freilich auch im „fertig“ diagenetisch verfestigten Gesteinsverband plastische Verformung. Darüber hinaus scheint die Teilbeweglichkeit des Tones durch die Gefügepartner der Paragenesen, besonders durch feinverteiltes Steinsalz noch gefördert zu sein. Auch die filzigen Polyhalitnadelchen sind meist verformt worden. Ton- und Polyhalitlagen keilen oft aus und greifen ineinander. Die Polyhalitschicht ist in den mir bekanntgewordenen Fällen in ihrer Mächtigkeit und ihrem Auftreten gegenüber den Tonlagen vorherrschend. Ein rhythmischer Wechsel beider Lagen kommt eher selten vor. Es treten jedoch mitunter vollkommen regelmäßige Wechsellagerungen beider Mineralaggregate auf.

Zuweilen sind klastische Toneinlagerungen mit arenitischen Korngrößen bis zu Tonklumpen anzutreffen. Es handelt sich entweder um diagenetisch zerbrochene Tonlagen oder um resedimentierte Bruchstücke einer ehemaligen Tonschicht (weitere Erörterung in Kapitel 9.1.).

7.1.3. Unterschiedliches toniges Material

Es handelt sich hier um Tonlagen, die durch ihre unterschiedliche Farbe und Ausbildungsform als inhomogenes Parallelgefüge mit abwechselnder Mächtigkeit auffallen. Zwischen reinen Tonlagen, die durch dunklere Färbung gekennzeichnet sind, liegen etwas hellere tonige Lagen. Letztgenannte bestehen aus extrem feinkörnigen, durch Ton grundsätzlich verunreinigten Mineralaggregaten. Eine Bestimmung derselben ist wegen der Feinkörnigkeit nur schwer möglich. Doch kann man, infolge von Zerrspaltenfüllungen in solchen tonigen Lagen, vermuten, daß es sich hier hauptsächlich um Anhydrit oder Gips handelt. Die farbliche Wechsellagerung kann durch rötliche und grüne Färbung sowie durch verschiedene Braun- und Grautöne der Lagen zur Geltung kommen, wobei alle Ausbildungsarten miteinander in Wechsellagerung treten können. Vorherrschend sind graue bis grünliche Farben. Rötlich gefärbte Tonschichten sind seltener, zeigen lokal aber die gleiche Mächtigkeit und Ausbildung wie die übrigen. Die Farbgebung geht größtenteils auf eine Pigmentierung des Tones durch Eisenhydroxide, Eisenoxide und Eisensulfide zurück.

7.1.4. Ton, Anhydrit und Polyhalit

Auffallend an diesen Gesteinen ist die schöne Feinschichtung. Es wechseln rötliche Polyhalit-, helle Anhydrit- und dunkle Tonschichten ab. Sie liegen in den beobachteten Fällen völlig ungestört, mit ungefähr glei-

cher Mächtigkeit von wenigen Zentimetern zueinander parallel.

7.1.5. Anhydrit und Anhydrit

Auch monomineralisches Anhydritgestein kann eine Schichtung erkennen lassen. Der Anhydrit tritt zwar meist hellgrau auf, erhält aber bei Imprägnation durch Ton eine dunkle Farbe. Eine abwechselnde Folge grob- und feinkörniger Anhydritlagen erzeugt ebenfalls eine Schichtung wobei dieser Farbwechsel meist durch Verunreinigung in bestimmten Schichten unterstützt wird.

Auch kann ein lagiger Wechsel der Korngestalt von Anhydritkristallen ein schichtiges Aussehen bedingen.

7.1.6. Salz und Ton, Liniensalz

Ein eindrucksvolles Beispiel einer Schichtung kann an Hand des Liniensalzes erbracht werden. Diese Salzvarietät kommt bei uns im alpinen Salinar hauptsächlich im Grüntongebirge vor (SCHAUBERGER, 1959), ist aber auch in den deutschen Zechsteinsalzlagerstätten weit verbreitet.



Abb. 7: Liniensalzaufschluß mit größeren klastischen Toneinschlaltungen. Salzbergbau Hallstatt, Maria Theresia-Horizont, Grubenaufschluß.

Die Schichtung im alpinen Liniensalz wird durch den Wechsel von grünlichen Tonlagen mit hellem, meist milchig weißem Salz hervorgehoben. Die Abfolge ist meist arhythmisch. Der unregelmäßige Wechsel setzt sich deutlich bis in den Kleinbereich der Handstücke fort, sodaß man hier bereits von einer Feinschichtung sprechen kann. Die Mächtigkeit der Tonlagen beträgt im Durchschnitt 1–4 mm, die der Salzlagen 5 mm–2 cm und darüber.

Die Tonlagen sind also gegenüber den Salzlagen geringmächtiger. Sie bestehen nicht nur aus gehäuften feinen Tonmineralen, die wie einheitliche dunkle Streifen wirken, sondern auch aus geröllförmigen Tonbrocken, die lagig angereichert sind. Größere quaderförmige Tonkomponenten liegen mit ihrer Längsseite parallel der Schichtung eingeregelt. Die Mächtigkeit der Salz- und Tonschichten ist nicht konstant. Es ist auch häufig ein Aussetzen der Tonsedimentation über cm- und dm-Bereiche festzustellen. Der rhythmische bzw. arhythmische Wechsel der Schichten ist als Abbild von geochemischen und klimatologischen Veränderungen zu sehen. Ein völliges Aussetzen der Steinsalzsedimentation und der Beginn der Tonablagerung zeigt eine Verdünnung und Verschmutzung der Lauge an.

Falls jedoch bei fortlaufender Salzablagerung Ton angelagert wurde, war dies natürlich nicht auf eine Ände-

rung der Laugenkonzentration zurückzuführen. Die Tonminerale können, z. B. vom Land stammend, durch das hohe spezifische Gewicht der Lauge weit ins Salinarbecken hinausgetragen werden. Die Ablagerung hat sich in diesem Fall geändert, die zuvor rein angelagerten Salzkristalle wurden nun durch den Ton verunreinigt und dadurch ihr Größenwachstum behindert, was in der Körnung auffällt. Falls jedoch die Salzbildung völlig aussetzte und von einer Tonsedimentation abgelöst wurde, so lag die neugebildete Tonschicht noch unverfestigt auf der vorher gebildeten Salzschieferung. Durch Belastung der darüberfolgenden Sedimente konnte der Ton in die diagenetisch noch lockere Salzschieferung entlang deren Korngrenzen eindringen. Dieser Fall kann in Dünnschliffen nachgewiesen werden, schließt aber eine Einstreuung von Ton während der Steinsalzbildung nicht aus.

Daß die Tonlagen sedimentärer Herkunft sind und nicht tektonisch durch Verschmieren von Ton entlang einer Scherfläche entstanden sind, beweisen die größeren Tonkomponenten, die häufig in Tonlagen unverletzt mitgehalten sind. Ihre fallweise gestaltliche Einregelung parallel zu einer Schichtoberfläche kann als Hinweis auf ein geopetales Gefüge gelten.

Das Liniensalz ist häufig auch stark verfaultet, wobei der Typ der Biegscherfalte vorherrscht. Charakteristisch ist eine Auswulzung der Faltschenkel und eine Verdickung des Faltscheitels. In manchen Fällen zeigen die dünnen Tonlagen zusätzliche Kleinfältelung. An ihnen kommt die Zergleitung in Schieferungslaminae besonders deutlich zur Geltung.

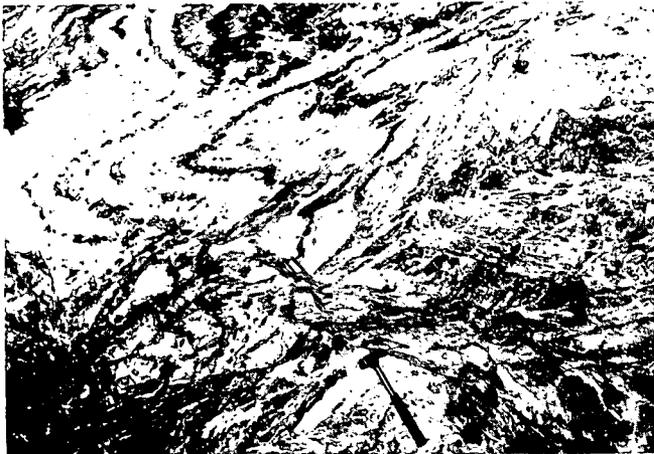


Abb. 8: Biegscherfaltung im Liniensalz, erkennbar durch gefaltete und zerscherte dunkle Tonzwischenlagen im hellen Steinsalz. Salzbergbau Hallstatt, Maria Theresia-Horizont, Grubenaufschluß.

7.1.7. Lagen mit Pyritanreicherung

Pyrit ist das in den alpinen Salzlagerstätten am häufigsten auftretende Erzmineral. In der sulfatreichen Salzlauge werden durch Schlamm oder Strömungen Mikroorganismen eingeschwämmt, die eine Reduktion des Sulfates veranlassen. Das sich dabei bildende H_2S fällt das in geringen Mengen vorhandene Eisen als Pyrit aus, wobei schon die kleinsten Mengen an reduzierenden Substanzen genügen. Derartige Bildungen konnten an rezenten Salzseen in Rußland und Nordamerika beobachtet werden (LOTZE, 1938, 1957).

Im Haselgebirge trifft man Pyrit vor allem in Gesellschaft mit toniger Substanz an. Beispiele dafür sind an-

hydritreiche Gesteine mit mehr oder weniger mächtigen Tonlagen. In den meisten Fällen liegen die Pyritaggregate inhomogen im Salzton oder umliegenden Gestein verteilt und sind fast immer gut kristallisiert und häufig idiomorph.

7.2. Schrägschichtung, Kreuzschichtung

Nichtparallele Anlagerung liefert oft deutliche Hinweise auf ursprüngliche Lagerungsverhältnisse und kann in günstigen Fällen durch geopetale Gefüge zur Identifizierung von „Oben“ und „Unten“ im Sediment dienen.

Reliefbildungen jeder Größenordnung sind im alpinen Salinar oft nachweisbar. Bevorzugte Studienobjekte sind Anhydrit-Ton- und Polyhalit-Ton-Wechselagerungen. Bei monomineralischen Sedimentationslagen ist durch den gleichbleibenden Mineralbestand ein Relief schwer zu erkennen, es sei denn, die primäre Schichtenfolge ist durch unterschiedliche Pigmentierung gekennzeichnet. Tonlagen schließen häufig mit unregelmäßigen Schichtoberflächen ab. Die nachfolgende Anhydrit-, Polyhalit-, oder auch weitere Tonsedimentation füllt das Relief aus. Derartige Beobachtungen wurden vorwiegend mittels Dünnschliffen, Anschliffen und Polituren gemacht. Es handelt sich dabei um wichtige Befunde, welche die gelegentliche Erhaltung von Primärgefügen beweisen.



Abb. 9: Kreuzschichten in Ton-Anhydrit-Feinschichten, links oben diskordante Anlagerung auf Erosionsfläche. Salzbergbau Hallstatt, Maria Theresia-Horizont, Ott-Kehr. Dünnschliff, ohne Nicols. Bildausschnitt 7,25x5,1 mm.

Schrägschichtung ist besonders häufig im tonigen Milieu, in Wechselagerungen von Ton- und Salzlagen zu beobachten. Auch dies bedeutet, daß einzelne kleinere Bereiche der ursprünglichen Salinarabfolge durch tektonische Vorgänge bzw. durch Umkristallisation kaum verändert wurden.

7.3. Geopetale Gefüge

Sie sind vom Aufschluß bis in den mikroskopischen Bereich anzutreffen und vervollständigen die wichtigen Befunde über die gelegentlichen Gefügerelikte aus primären Anlagerungsstudien.

Mechanische Internanlagerungen in Hohlräumen, wie Kleinhöhlen, Fugennetzen u. a. konnten in den Salinarablagerungen nicht gefunden werden. Das hängt mit der enormen Plastizität des Salzgesteins zusammen.

Die aus den deutschen Kalisalzlagern zu beobachtenden „Gekrösefalten“ von Gipszwischenlagen

mit polarer Ausbildung von Biegefalten sind mir in den alpinen Salzlagerstätten nicht aufgefallen. Wo in unserem alpinen salinaren Gestein Gipszwischenlagen vorkommen, ist die Möglichkeit dieser Ausbildung aber durchaus gegeben.



Abb. 10: Polare, klastische Anlagerung von Tondetritus in einer Ton-Polyhalit-Wechselagerung. Salzbergbau Bad Ischl, Lauffener Erbstollen. Dünnschliff, ohne Nicols. Bildausschnitt 7,6x5,5 mm.

Der Fall mechanisch polar angelagerter Körner und Komponenten auf einer definierbaren Sedimentationsoberfläche liefert bei genügender Eindeutigkeit auch ein polares Gefüge. Beispiele solcher „sedimentärer Brekzien“ bietet unter anderem das Liniensalz, in dem feine Horizonte aus Tonbruchstücken eingeschaltet sind. Falls die Komponenten eine quaderförmige Form besitzen, lagern sie sich mit ihrer Längsseite geregelt zur Schichtoberfläche an. Diese Orientierung ist aber nicht nur im Liniensalz an den Tonlagen zu finden, sondern kann überall dort vorkommen, wo eine Reihe von gröberklastischen Gesteinskomponenten mechanisch angelagert wurde. Derartige Befunde sind vom Grubenaufschluß bis in den mikroskopischen Verteilungsbereich nachweisbar, wobei es sich dann um zwischengeschaltete Komponenten arenitischer Kornfraktion handelt. Der Habitus der Körner, ihre ungleiche Größe, aber die gleiche Anlagerungsebene, bestätigen im Idealfall die Entstehung solcher klastischer Zwischenlagen durch einen mechanischen Anlagerungsvorgang.

Der Fall „gradierte Schichtung als Oben-Unten-Kriterium“ mit schichtiger Wiederholung ist im Haselgebirgsmilieu in eher seltenen Fällen zu beobachten, u. zw. dann, wenn klastische Schüttung wie etwa bei Resedimentation von Tonkomponenten vorkommt.

Reliefbildungen, wie muldenförmige Schichtoberflächen, können eine Voraussetzung für die Bildung einer Schrägschichtung sein und wurden unter diesem Begriff auch schon behandelt. Syndiagenetische Verformungen, ausgelöst durch Faltungen, Zergleitungen, Rutschungen an geneigten Hängen können durch die Symmetrieeigenschaften der Teilbewegungen als Orientierungshinweis im Sediment dienen. Charakteristisch sind mehr oder weniger eng zusammengeschobene monoklinsymmetrische Falten. Ihre Vergenz zeigt die Richtung der becken tieferen Stelle an. Faltenbilder werden noch in einem eigenen Kapitel behandelt.

8. Untypisch-sedimentäre, syn- und postdiagenetische Salzgefüge

8.1. Deformationsbrekzie

Unter Deformationsbrekzie versteht man nach SANDER (1936, 1950) alle Fälle, in welchen die „Umgranzung der Komponenten einer Brekzie mechanisch (durch Rupturen, Abscheuerung) aus zusammenhängenden Bereichen innerhalb eines Gesteins oder seines Vorstadiums nach erfolgter Anlagerung zustande kamen.“



Abb. 11: Einseitig rupturale Deformation eines Tonbrockens (schwarzgrau) im Haselgebirge. Rupturenbildung im Block, z. T. noch korrespondierende Fragmentgrenzen und Wegdriften der Bruchstücke machen die Entstehung einer Deformationsbrekzie deutlich. Salzbergbau Hallstatt, Elisabeth-Horizont, Schraml-Kehr, Grubenaufschluß.

Im salinaren Gestein liegen oft die dickeren Tonlagen zerbrochen vor. Manchmal kann ein Zweifel bestehen, ob es sich wirklich um eine Deformationsbrekzie handelt oder ob hier eine sedimentäre Brekzie vorliegt. Erstgenannte erkennt man an den Umrissen der einzelnen Tonkomponenten, wenn z. B. im Idealfall die Ränder der Brekzierteile miteinander korrespondieren. Die einzelnen Komponenten können freilich auch auseinanderdriften, sich drehen und quer zur Schichtung stellen. Gerade in Salzgesteinen, die durch ihre Fluidaltektonik geprägt sind, ist ein Wegdriften der Brekzienfragmente keine Seltenheit und sind die rupturellen Verformungsstadien schrittweise zu verfolgen.

In die durch die rupturale Beanspruchung entstandenen Risse ist umliegendes Material mechanisch – das Salz z. B. durch plastisches Fließen – eingedrungen. Oder aber fugenverheilende Mineralaggregate sind durch Lösungsumlagerung neu auskristallisiert und unterscheiden sich von den primär gebildeten durch ihre Klarheit und Größe.

Die Ausbildung einer Deformationsbrekzie ist aber nicht nur auf Tonlagen beschränkt. Lagen und Schichten aus sämtlichen salinaren Gesteinen können zerbrochen und verschoben werden. Häufig ist dies bei Anhydrit- und Polyhalitbänken zu beobachten, denn beide reagieren auf Beanspruchung relativ spröde.

Abb. 12 zeigt eine Tonlage, die gefaltet und zerbrochen ist. Manche Teile hängen noch zusammen, einige sind aber nach dem Zerbrechen bereits verstellt und verschoben worden. Das umliegende Salz zeigt überhaupt keine sichtbare Deformationserscheinung, hat also auf diese Beanspruchung offensichtlich durch inter- und intragranulare Teilbewegungen reagiert.



Abb. 12: Faltung und Zerbrechung einer Tonzwischenlage in einem „Mürbsalzzug“. Salzbergbau Hallstatt, Maria Theresia-Horizont, Colloredo-Kehr, Grubenaufschluß.

8.2. Kluffmineralisation

Ein spezieller Fall, der in Salzgesteinen und Salztonen häufig auftritt, ist das Faserwachstum der Minerale in Haarrissen und Klüften. Steinsalz, Gips und Polyhalit neigen im besonderen dazu, ihre Aggregate in Form von Fasern auszubilden. Das Wachstum derselben findet nach KÜHN (1971) bei Gips in manchen Fällen an der Basis der Faser statt. Beim Wachsen bewegen sich demnach die faserigen Kristalle von der Kluffwand weg, sodaß die erstausgeschiedenen schließlich in der Mitte der Kluff, die zuletzt gebildet wurden sich an der Kluffwand befinden. In der Kluffmitte treffen sich die von beiden Wänden wegwachsenden Kristallaggregate frontal und bilden, interpretiert nach KÜHN, durch mobilkonturiertes neuerliches Wachsen, also offenbar durch Sammelkristallisation an der Kontaktfläche, eine auffallend gröberkristalline Zone, eine Art Mittelnaht. Derartige Beobachtungen sind mir bei Gipsfaseraggregaten nicht gelungen. Dieser eben für Gips beschriebene Wachstumsvorgang trifft aber sicher nicht für alle faserig ausgebildeten Salzminerale zu.

Bei Faserpolyhalit wäre dieses Wachstum jedoch denkbar, zumal in Dünnschliffen meines Arbeitsmaterials eine ähnliche wie von KÜHN (1971) für Gips beschriebene Ausbildung nachzuweisen ist. In einem speziellen Fall kann die faserige Ausbildung von Polyhalit zwischen zwei Tonkomponenten gut beobachtet werden. Auch die Mittelnaht ist deutlich zu sehen und ist hier gekennzeichnet durch eine stärkere Tonanreicherung. Es entsteht somit der Eindruck, daß die nach „innen“ aufeinanderwachsenden Fasern die Tonaggregate „vor sich hergeschoben“ hätten. In den meisten Fällen aber fehlt diese Mittelnaht, es liegt lediglich ein geschlossenes Fasergefüge vor.

Demnach ist eine vollständige Beweisführung für das Wachstum von Faserkristallen von der Basis her bei der Mehrzahl der beobachteten Fälle nicht gegeben.

Fasersteinsalz zeigt keinen derartigen Befund. Es handelt sich nur um formanisotrope, xenomorphe Kristalle, die im Querschnitt betrachtet mit ihrer längeren Achse parallel zur Faserrichtung liegen. Die eher selten beobachtete Spaltbarkeit in diesen langgezogenen Kristallen läßt auf keine exakte Gleichorientierung der kristallographischen Achsen schließen. Tonverunreinigungen treten in den Interngranularen in Form von feinen,

untereinander parallelen Blättchen auf. Dies fällt im Durchlicht durch Aggregatpolarisation auf. Hin und wieder sind intragranular Fremdminerale wie z. B. Polyhalit- oder Anhydritkriställchen, zu bemerken. Nach den Beobachtungen scheint bei Steinsalz ein Wachstum von der Basis her, wenn schon nicht auszuschließen, so doch wenig auffallend zu sein.

Man kann also behaupten, daß das Wachstum von faserigen Kristallen verschiedenartig sein kann. Sowohl das Wachsen von der Basis her als auch die Anlage von Kristall an Kristall ist möglich.

Klufffüllungen heben sich oft durch die besondere Größe, Reinheit und Klarheit ihrer Kristalle vom umgebenden Gestein ab. Dies ist unter anderem im Mikrobereich an Anhydritfüllungen in Zerrfugen innerhalb von Tonschichten oft zu bemerken.

8.3. Blättersalz

Das Blättersalz tritt nicht nur lokal an bestimmten Stellen im Salzgebirge auf, sondern es bildet als Blättersalzgebirge auch einen stratigraphisch abgrenzbaren Körper. Es zeigt eine ausgesprochene Brekzienstruktur (SCHAUBERGER, 1949) und besteht aus einer tonigen Grundmasse, die in lauter Stücke zerbrochen zu sein scheint. Die dabei entstandenen Fugen sind mit Blättersalz und anderen Kluffmineralen auskristallisiert.

8.4. Tonwürfelsalz

Als Tonwürfelsalz bezeichnet man in den alpinen Salzlagerstätten auftretende Salzkristalle innerhalb von Tonhorizonten. Sie haben eine ungewöhnliche kissenartige Form. Ähnliche Gebilde wurden auch in den nitchalpinen deutschen Salzlagerstätten des Zechsteins gefunden (GÖRGEY, 1912). Schon NÖGGERATH (1846) und HAIDINGER (1847) beschreiben diese eigentümliche Salzausbildung, wobei letzterer seine Beobachtungen in Alt Aussee, Hallstatt und Hallein machte. HAIDINGER behauptete schon damals, daß die Salzwürfel in einen noch ziemlich weichen Ton eingewachsen seien und bei der diagenetischen Verfestigung des Sedimentes deformiert wurden.



Abb. 13: Im Haselgebirge eingeschlossener Tonblock, der Salzfeinschichten und „Tonwürfelsalz“ enthält. Salzbergbau Hallstatt, Maria Theresia-Horizont, Ott-Kehr, Grubenaufschluß.

Die Tonwürfelsalz-führenden Toneinlagerungen treten zum Teil als Schollen unterschiedlicher Größe im Haselgebirge auf (Abb. 13). Es gibt aber auch geschlossene, sich über größere Entfernung erstreckende

Tonhorizonte mit solchen sonderbaren Salzkristallen. Die einzelnen Salzwürfel liegen teilweise in s, viele andere aber auch quer zu s angeordnet. In der Drehlage der Würfel ist keine statistische Bevorzugung erkennbar. Die Form der Kristalle ist in den seltensten Fällen wirklich würfelförmig, aber meistens quaderförmig. Ihre Größe ist verschieden, wobei aber relativ große Kristalle eher selten auftreten. Am häufigsten sind Größen zwischen 23×14×9 mm und 13×10×9 mm vertreten. Als besonders groß gilt Würfelsalz mit den Ausmaßen 45×40×28 mm.

Die Ecken der Kristalle sind oft kissenförmig in die Länge gezogen; die Kanten bilden manchmal kammartige Fortsätze und Wülste. Die Würfelflächen sind zusätzlich konkav gekrümmt, sodaß sie in einem Winkel kleiner als 90° zusammenstoßen. Nach Winkelmessungen an den (100)-Flächen der Würfel können als durchschnittliche Winkel 35° bis 82° angegeben werden. 90° ist selten (Abb. 14). Die Spaltflächen der Kristalle zeigen u. d. M. meist Toneinschlüsse.

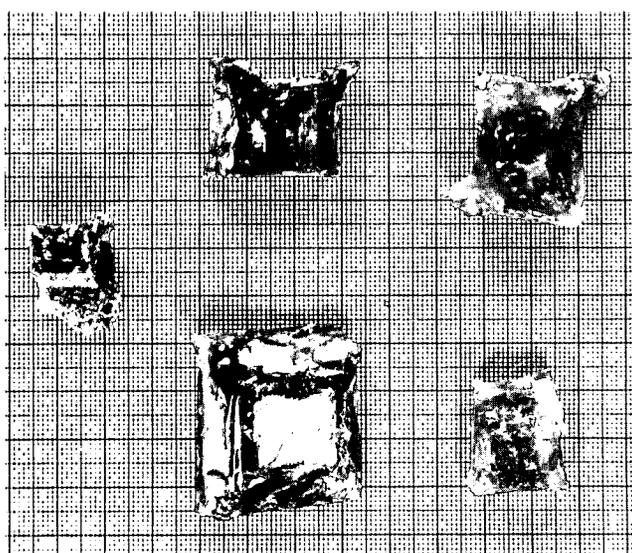


Abb. 14: Aus dem Ton isolierte, herausgearbeitete Salzwürfel. Im größten Würfel erkennt man einen zentralen, massiven Tonkern (hellgrau), der darüberliegende Würfel ist relativ klar, transparent und läßt das darunterliegende Millimeterpapier durchscheinen. Würfel aus den Salzbergbauen Hallstatt und Alt Aussee.

Die Begrenzungsflächen der verformten Kristalle liegen auf Grund der abnormalen Form natürlich nicht parallel zu den Spaltflächen. Die Oberfläche des Tonwürfelsalzes ist häufig rau und wirkt oft wie angeätzt. Die aus dem Ton entnommenen Kristalle sind in manchen Fällen stellenweise glatt und rein. Die Grenzflächen sind in den seltensten Fällen eben.

Die Färbung des Tonwürfelsalzes ist gewöhnlich orangerot bis bräunlich. Sie erscheint meistens ungleichmäßig, wobei eine intensivere Färbung entlang von Toneinschlüssen auffällt. Man kann beinahe von einem roten Hof um diese Einlagerungen sprechen. Diese Pigmentierung ist mehr oder weniger intensiv und reicht unterschiedlich weit von den Toneinlagerungen ausgehend in das Steinsalz hinein. Es gibt auch farblos klare Würfel, die dennoch eine schwache Rotfärbung entlang der Tonlagen aufweisen. Es war auch festzustellen, daß äußerlich homogen orange gefärbte Würfel meistens nur in ihren randlichen Partien gefärbt sind, was aber das Farbbild des gesamten Würfels beeinflusst. Somit ergibt sich, daß die Rotfärbung der Ton-

würfelsalze vom eingelagerten oder umhüllenden Ton ausgeht.

Wie noch an anderer Stelle erwähnt wird, befinden sich häufig Hämatitkristalle im Tonwürfelsalz eingelagert. Toneinschlüsse sind in den Salzwürfeln massenhaft zu finden. Diese lagern nicht nur entlang von Spaltflächen in Zonen an, sondern überziehen den Würfel auch außen teilweise mit einer Haut. Toneinschlüsse als si-Interngefüge sind nicht festzustellen. Stellenweise ist der Ton als dichte Masse in der Mitte der Würfel konzentriert, sodaß man von einem Tonkern sprechen kann. Um diesen ist dann das Salz als Saum gewachsen.

Das Tonwürfelsalz als Kristall beinhaltet neben Ton auch eine Reihe anderer Einschlüsse. Schon durch Beobachtungen mit der Stereolupe sind glänzende dunkle, opake Aggregate an der Oberfläche der Würfel bemerkbar. Nach Auflösen des Salzkristalles konnten im Rückstand zum Großteil idiomorph ausgebildete Hämatitkriställchen identifiziert werden, was auch durch ein Röntgendiffraktogramm bestätigt wurde. Ebenso befanden sich im Rückstand der Salzlösung etliche idiomorphe Quarze in lang- bis kurzprismatischer Ausbildung, mit maximal 1 mm lang. Es handelt sich um authigene Bildungen von Einzelkristallen oder um Verwachsungen mehrerer Individuen.

8.5. Augensalz

Das Problem der Augensalzbildung ist schon von vielen Autoren aufgegriffen worden. Das Augensalz ist meist ein fein- bis mittelkörniges Steinsalz von lockergrißiger Beschaffenheit, von SCHAUBERGER & KÜHN (1959) als „Mürbsalz“ bezeichnet, in dem Einsprenglinge von linsen-, ei-, disken- bis augenförmigen Salzkristallen eingelagert sind (SCHAUBERGER & KÜHN, 1959). Sie stechen aus der kristallinen Grundmasse durch ihre Größe, Färbung und Widerstandsfähigkeit hervor. Ihre Farbe kann intensiver und dunkler, aber auch heller als das umliegende Kristallit sein. Zum Großteil wirken die Salzaugen daher klarer als die feinkörnige Salzgrundmasse, was in ihrer Ausbildung begründet zu liegen scheint, denn die Augen bestehen aus großen Einkristallen. An augensalzreichen Ulmen, die einer starken Bewitterung ausgesetzt sind, verwittert die feinkörnige Salzgrundmasse stärker, und die Salzaugen bleiben reliefbildend besser erhalten. Die Salzaugen sind somit schwerer löslich als die Grundmasse.

Trotzdem es sich bei diesen Salzeinsprenglingen um große Einzelkristalle handelt, besitzen sie doch nie ihre typische, würfelige Kristallform, sondern sind meistens stromlinienförmig ausgebildet. Die Salzaugen liegen überwiegend regellos in der Salzgrundmasse verteilt, in besonderen Fällen aber auch schichtgebunden in bestimmten Schichtpaketen. Auffällig ist, daß die Augen oft durch eine Strömung gestaltlich geregelt zu sein scheinen, indem sie mit ihrer „Spitze“ zum gedachten Strömungslee zeigen. Oft gibt es auch eine Ansammlung von gleich orientierten, aber nicht in einer Ebene liegenden Salzaugen.

Die Wissenschaftler sind sich über die Entstehung dieser Salzaugen keineswegs einig. Auch die in den deutschen Kalisalzvorkommen auftretenden Salzaugen konnten genetisch nicht einwandfrei erklärt werden. Im großen und ganzen gibt es zwei Möglichkeiten der Entstehung: nämlich Umkristallisation bzw. Sammelkristallisation oder Salzaugen als resedimentierte Gerölle

eines ehemaligen Salzhorizontes. Die Vertreter der letzten Theorie berufen sich auf die unterschiedlichen Bromwerte zwischen den Salzaugen und der Salzgrundmasse.

Da es eine direkte Beziehung zwischen dem Bromgehalt der salinaren Gesteine und dem ursprünglichen Eindunstungsgrad der Salzlauge gibt (SCHAUBERGER & KÜHN, 1959; REINHOLD, 1965), kann man feststellen, daß der höhere Bromgehalt in den Salzaugen einem höheren Eindunstungsgrad der Mutterlauge entspricht.

Für diesen Fall würde die Grundmasse des Augensalzes noch in der Anhydritregion ausgeschieden worden sein, während die bromreichen Salzaugen selbst aber eine Bildung der oberen Anhydritregion bis zur Carnallitregion darstellen würden (SCHAUBERGER & KÜHN, 1959). Die Salzaugen wären demnach ein Relikt aus einem Salzhorizont mit höherem Eindunstungsgrad, welcher vielleicht durch mechanische Vorgänge, vielleicht klimatologisch verursacht, zerbrochen und umgelagert ist. Die einzelnen Schollen wären nach dieser Vorstellung zu einem Geröll abgerundet worden und in der Salzlauge abgesunken. Auffällig ist nur, daß alle Salzaugen aus Einkristallen bestehen. War die zerstörte Salzlage so grobkristallin? Und ist es möglich, daß dieses Salz als sedimentäre Schicht so rein auskristallisiert ist? Denn in den Augen sind ja makroskopisch keine Toneinschlüsse feststellbar. Daß die Augen während des Transportes nicht völlig aufgelöst worden sind, wäre durch die gesättigte Salzkonzentration der Lauge erklärbar. Die abgerundeten, stromlinienförmig ausgebildeten „Augenkristalle“ sprechen ebenfalls für einen Transport über eine gewisse Strecke. Nach solchen Beobachtungen sind SCHAUBERGER & KÜHN (1959) der Meinung, daß es sich bei dem Phänomen des Augensalzes um eine „deszendente Bildung“, bzw. um ein resedimentiertes Erosionsrelikt handle.



Abb. 15: Mürbsalz mit Salzaugen, die besonders im Mittelteil angereichert sind. Am Beispiel der großen Salzkomponente ist die ei- bis stromlinienförmige Gestalt erkennbar. Salzbergbau Hallstatt, Maria Theresia-Horizont, Grubenaufschluß.

Wie erwähnt, ist dies nicht die einzige Deutung für das Vorhandensein der Salzaugen. Wie aus kristallinen Gesteinen bekannt ist, kann durch Sammelkristallisation und Metamorphose porphyroblastisches Gefüge entstehen. Eine Kornvergrößerung durch sekundäre Kristallisation kann man z. B. im deutschen Muschelkalksalz von Kochendorf beobachten. Hier sind im massigen, meist hellen Steinsalz große Salzwürfel eingelagert. Sie sind, wie erwartet, abgesehen von Laugenein-

schlüssen, ziemlich klar und besitzen auch meistens, ihrer Kristallisationsklasse entsprechend, einen würfelförmigen Habitus. Für Sammelkristallisation in unserem Falle würde die Klarheit und die Ausbildung als Einkristalle entsprechen. Falls jedoch ein Wachsen von Porphyroblasten in der nun vorhandenen Salzgrundmasse stattgefunden hätte, müßte zumindestens ein Großteil der Salzaugen würfelförmigen Habitus aufweisen. Freilich könnte es sich hier um frühdiagenetische Umkristallisation mit nachträglicher Resedimentation handeln. Auf diese Art wäre dann sowohl die linsenartige Form und Anlagerung der Augen als auch Klarheit erklärbar. Auch an Lösungserscheinungen an den Kanten und Verformungen im Zuge mechanischer Durchbewegung ist zu denken.

SCHWERDTNER (1959, 1962) befaßte sich mit dem Problem der Salzaugen im deutschen Zechstein. Auch er geht, wie SCHAUBERGER & KÜHN (1959) von der Möglichkeit einer „deszendenten Entstehung“ der Augen aus. Er beruft sich hauptsächlich auf die Bromanalysen, die ähnliche Ergebnisse wie die von KÜHN (1959) erbrachten.

Überlegungen von SCHWERDTNER (1962) beruhen nicht nur auf Bromanalysen, sondern auch auf der Verteilung der Augen in bestimmten stratigraphischen Horizonten. Sie scheinen auf den alpinen Bereich übertragbar zu sein. Wesentlich erscheint mir, daß sowohl Resedimentation als auch Sammelkristallisation als Genese in Betrachtung gezogen wurden, zwei genetische Deutungen, die auch hier nebeneinander möglich bzw. wahrscheinlich wären.

Schließlich wäre noch eine weitere Möglichkeit diskutabel. Aus meinen Beobachtungen in Dünnschliffen und Polituren geht hervor, daß vor allem die Salzaugen voll von Laugeneinschlüssen sind. In den meisten Fällen kann man sogar diese Einschlüsse als Charakteristikum für die Salzaugen bezeichnen.

DELLWIG (1955) beschrieb ausführlich solche Phänomene aus der Salzlagerstätte von Michigan. Unter anderen Autoren behauptet auch er, daß ein typisches, aber nicht ausschließliches Merkmal von „Hopperkristallen“ die häufigen, manchmal zonar auftretenden Laugeneinschlüsse sind. Hopperkristalle sind Salzkristalle, die an der Laugenoberfläche als Einkristalle wachsen. Während ihres Wachstums beginnen die ursprünglichen Würfel nach unten zu sinken, können aber wegen der großen Oberflächenspannung nicht sofort völlig absinken. Weil nur vorwiegend eine Fläche mit der dünnen, hochkonzentrierten oberflächennahen Sole in Berührung kommt, findet das Wachstum nur an den Kanten statt. Dies führt bei ständigem Absinken und Weiterwachsen der Kanten zu der Form einer Pyramide, deren Spitze nach unten zeigt.

In ruhigen und geschützten Beckenbereichen können solche Kristalle relativ groß werden, bis die Schwerkraft selbst oder auch Einflüsse von außen, wie Wellenschlag, ein Absinken bewirken. Während des Absinkens können die Kristalle wieder z. T. angelöst werden und durch ihr isotropes Lösungsverhalten kugelige bis ooidähnliche Formen erhalten. Am Boden werden die Kristalle in die fein- bis mittelkörnige Salzgrundmasse sedimentiert. Auf diese Art wäre auch das Auftreten unserer Salzaugen als Einkristalle zu erklären. Ein markanter Unterschied zwischen den Salzaugen und der Salzgrundmasse ist jedoch auch der erhöhte Bromgehalt der Augen (SCHAUBERGER & KÜHN, 1959). Die an der Laugenoberfläche wachsenden Hopperkristalle befin-

den sich unmittelbar in einem Bereich mit erhöhter Laugenkonzentration und damit verbundenen höheren Bromwerten. Dies wäre eine weitere Bestätigung dieser Theorie. Hopperkristalle können rezent in großen Mengen, unterschiedlicher Ausbildung und Größe beobachtet werden (z. B. Saline, bzw. Salzgewinnungsanlage Porto Vecchio, Korsika).

8.6. Basalte und Tuffe im Salzverband

Die Effusivgesteine sind als weitgehend durchgehende Horizonte im Bunten Salztongebirge der Lagerstätten Hallstatt und Bad Ischl durch SCHAUBERGER bekanntgemacht und im Rahmen der Bearbeitung von sedimentären Schichtfolgen stratigraphisch verwertet worden. Auf petrographische Einzelheiten einzugehen, ist nicht Ziel meiner Arbeit. Es gibt darüber schon reichlich Literatur. Bemerkenswert aber sind in diesen vulkanisch beeinflussten Lagen des Salzsedimentes die rupturellen Verformungen und die Entstehung von Deformationsbreccien in gewissen Abschnitten.

Vor allem die „Melaphyrbank“ enthält zahlreiche Spalten. Als Fugenfüllungen findet man Chlorit, Quarz, Anhydrit und Steinsalz. Den weitgehend auf Kilometer zusammenhängenden Verlauf von Basalt samt Tuffiten nützt SCHAUBERGER (1955) u. a. als wichtigen Beweis für die sedimentäre Natur des Haselgebirges, welche in großen Arealen noch heute erhalten ist.

9. Mechanische Verformungen im Haselgebirge

9.1. Falten und Rupturen

9.1.1. Falten

Der Grad der Teilbeweglichkeit und die Zeitdauer der Beanspruchung bestimmen das mechanische Verhalten eines Gesteinsbereiches. Die Wirkung des Teilbeweglichkeitsgrades auf den Ablauf der Formung und auf die Gefügestalt ist sehr wesentlich (KARL, 1964, S. 58). Prinzipiell haben wir zwischen Biegefalten und Scherfalten zu unterscheiden (SANDER, 1948, 1950).

Im salinaren Milieu kommt es speziell im Salzgebirge wegen dessen hoher Teilbeweglichkeit zu Faltenbildern von unterschiedlichster Art und Dimension. Eine gute Betrachtung dieser Falten lassen insbesondere Wechsellagerungen von unterschiedlich pigmentiertem Salz oder von Salz und tonig beeinflussten Schichten zu. Dies trifft für das rote Kerngebirge, das in allen Salzbergbauen, als größeres Vorkommen besonders in Alt-Aussee, entwickelt ist, aber auch für das Liniensalz, das vor allem in Hallstatt beobachtet wird, bestens zu. Es handelt sich fast ausschließlich um nichtaffine Teilbewegungsformen und hier wiederum neben Biegegleitfalten häufig um Scherfaltentypen. Die Falten sind überwiegend monoklin in bezug auf ihre Symmetrie. Das Gesetz der Stauchfaltengröße ist häufig verwirklicht, d. h. geringmächtigere Lagen, wie z. B. durch Ton stark pigmentierte Salzlagen, werden bei der Faltung in engere, dagegen mächtigere Lagen, wie z. B. die reinen Salzlagen, in weitere, einfachere Falten gelegt. Verdickung des Faltscheitels durch Materialtransport zum Scharnier und dementsprechendes Ausdünnen der Faltenflügel werden oft beobachtet. Die Varianten der Faltenbildungen kennen an Vielfältigkeit und Komplexiertheit keine Grenzen.

Neben rein tektonischen Verformungen ist gerade auch in diesem salinaren Milieu mit syndiagenetischen, subaquatischen Bewegungen, mit Verfaltungen und Zergleitionen zu rechnen. Der sicheren Bestimmung derartiger Deformationen sind allerdings Grenzen gesetzt. Man bedenke, daß die heute noch hohe Teilbeweglichkeit der Salz- und Tongesteine eine Vortäuschung submariner Bewegungen bringen kann. Als auslösende Ursachen können auch nur schwach geneigte Hänge, Erschütterungen durch Seebeben, auch Konzentrationsänderungen der Lauge (unterschiedliches spezifisches Gewicht!), T-Änderungen u. a. gelten. Subaquatische, externe Gleitungen können in jenen Idealfällen nachgewiesen werden, in denen das durch die Fältelung entstandene Miniaturrelief geopetal durch relieffüllendes, mechanisch angelagertes Sediment überlagert wird.

Im Salzbergbau Hallstatt konnte im Maria-Theresia-Horizont in der Firste am Anfang der Baumgartner Kehr eine Scholle aus gefaltetem Polyhalit, begrenzt von ebenen Anhydritschichten, beobachtet werden. Es handelt sich um eine isolierte Scholle, die in den Stollen hineinragt, sodaß kein Zusammenhang über einen großen Aufschlußbereich gesehen werden konnte. Die Begrenzung der Falte durch ebene Schichtflächen, die einheitliche Vergenz und die Ausbildung der Falte deuten auf eine subaquatische Gleitfaltung hin.



Abb. 16: Subaquatische Gleitfaltung einer Polyhalitlage (Bildmitte, hellgrau), eingeschaltet in Anhydritfeinschichten (dunkelgrau bis hellgrau). Salzbergbau Hallstatt, Maria Theresia-Horizont, bei Baumgartner-Kehr, Grubenaufschluß.

9.1.2. Rupturen

„Feste Körper“ reagieren bekanntlich bei Belastung nach Überschreiten der Plastizitätsgrenze mit Bruch. Zwei wesentliche Faktoren spielen dabei eine Rolle:

1. die Druck- und Temperaturverhältnisse und
2. die Geschwindigkeit der Verformung. Je größer die Formänderungsgeschwindigkeit ist, desto eher reagiert der Körper auf rupturelle Verformung.

Zerschörungen größeren, über den Aufschlußbereich gehenden Ausmaßes werden in den Salzlagerstätten wegen der Plastizität der meisten Salzgesteine relativ selten beobachtet. Doch vom Aufschlußbereich bis in den Mikrobereich sind rupturelle Veränderungen, vor allem in relativ spröde reagierenden Gesteinsschichten, anzutreffen, vor allem in Anhydrit- und Polyhalitlagern, aber auch in Tonschichten ab einer gewissen Mächtigkeit; natürlich auch in den im Randbereich der Salzla-

gerstätten auftretenden Kalken und Dolomiten. Die Klüfte durchsetzen vorwiegend nur eine petrographisch einheitliche Gesteinsbank und hören an deren Schichtgrenzen auf. In seltenen Fällen verlaufen sie, nach Versetzung an Schichtfugen, in anderen Gesteinsschichten weiter.

Die Trennflächen werden im Salinar so gut wie immer von Mineralaggregaten verheilt. Diese Mineralisation ist weitgehend von der benachbarten Schicht abhängig. Zum Beispiel werden in Ton-Anhydrit-Wechselagerungen Klüfte auch in Tonabschnitten mit Anhydritkristalliten gefüllt, bei Wechselagerung mit Salz wird dieses als Kluffmineralisation auftreten.

Neben diskordanten kommen auch sehr zahlreich schichtkonkordante Spaltenfüllungen im Schichtgefüge vor. Oft liegen schöne Beispiele für Lateralsekretion vor.

Die Sedimentlagen mit Ton, Anhydrit oder Polyhalit sind u. a. normal zerschert und um einen gewissen Betrag verschoben. Im Gegensatz dazu sind die plastischen Salzlagen bei geringer Verschiebung im Kluffbereich verschleppt und es ist auf diese Weise eine Verbindung mit den verstellten Schichtflächen gegeben. Bei Verwerfungen um höhere Beträge reißt jedoch auch die Verbindung der Salzsichten ab. Diese Beobachtung, meinerseits oftmals gemacht und in Abb. 17 verdeutlicht, steht im Gegensatz zu den folgenden Aussagen DREYERS aus seinem Buch über „Gebirgsmechanik im Salz“ (1974, S. 52): „Plastische Reaktionen des Salzgebirges bewirken, daß im Salz keine Sprünge entstehen können. Das Salz überbrückt Sprünge des Nebengesteins oder des Untergrundes durch flexurartige Faltung, wobei der Zusammenhalt der einzelnen Salzsichten nicht verloren geht. So ist das Salzgestein auch nicht imstande, bei unterschiedlicher Beanspruchung Verwerfungen zu bilden.“

Es gibt aber sowohl im Aufschlußbereich wie im Mikrobereich noch viele weitere Befunde rupturer und plastischer Verformung.



Abb. 17: Zerschierung einer Schichtfolge mit Steinsalz (grauweiß) und ton (dunkelgrau). Die Schleppung an der Kluff läßt den Relativsinn des Verwurfes annähernd erkennen. Scharen von kurzen, s-diskordanten Zerrfugen sind sekundär mit Steinsalz auskristallisiert. Salzbergbau Hallstatt, Maria Theresia-Horizont, Colloredo-Kehr, Grubenaufschluß.

9.2. Kristallisation – Deformation

Die Frage, wann eine Kristallisation stattgefunden hat, ist insbesondere bei intern, sekundär ausgeschiedenen Mineralen nicht unbedeutend. Denn falls der

Zeitpunkt einer Teilbewegung, Deformation oder Kristallisation bekannt ist, kann auf das andere Ereignis relativ geschlossen werden, was uns einer genetischen Deutung näher bringt.

Ideal für solche Untersuchungen sind z. B. formanisotrope Minerale und Aggregate, die eventuelle Verformungen deutlich anzeigen. Im Salinar besitzen die Polyhalitkriställchen ausgeprägt feinstengelige Gestalt und bilden ausgezeichnete Untersuchungsobjekte. Um die z. T. verworrenen und schwer deutbaren Gefüge für die Untersuchung zu erhalten, wurde versucht, aussagekräftige Probestücke im Anstehenden zu gewinnen.

In einem speziellen Fall liegt eine Wechselagerung von durchschnittlich 2–4 mm mächtigen Polyhalitlagen mit sehr feinen Tonschichten vor. Die feingefalteten Tonlagen können schon makroskopisch gut beobachtet werden, bei den Polyhalitlagen ist dazu eine mikroskopische Betrachtung notwendig. Vor allem in Durchlicht erkennt man, daß auch der Polyhalit gefaltet ist. Der Großteil der nadeligen Aggregate wird von dieser Formung erfaßt, einige Kriställchen stehen jedoch ungestört sperrig im filzigen Gefüge. Würden letztere fehlen, könnte man einwandfrei auf eine präkinematische Kristallisation schließen. Da jedoch offensichtlich einzelne Aggregate bzw. Kriställchen nicht mitgebogen wurden, muß man eine z. T. synkristalline Deformation im Sinne von SANDER (1930, 1948, 1950) annehmen. In unserem besprochenen Fall bedeutet dies also, daß die Deformation im wesentlichen fertige Polyhalitaggregate angetroffen hat, während jedoch noch neue Kristallite entstanden sind.

Analoge Befunde sind natürlich auch in den übrigen Salzgesteinen nachzuweisen.



Abb. 18: Verfältelung von filzigen Aggregaten einer Polyhalitschicht (weiß), in der Toneinlagen (schwarz) zwischengelagert sind. Salzbergbau Hallstatt, Maria Theresia-Horizont. Dünnschliff, Nicols +. Bildausschnitt 6,5×4,8 mm.

9.3. Unterschiedliches mechanisches Verhalten im Teilgefüge

In unseren alpinen Salzlagerstätten treffen wir oft auf ein chaotisches Nebeneinander der verschiedensten, zum salinaren Zyklus gehörigen Komponenten. Die einzelnen Gesteinslagen und Brocken reagieren nicht alle in gleicher Weise auf mechanische Beanspruchung.

Um ihr Verhalten zu erklären, gebrauchte schon SANDER (1930, 1948, 1950) den Begriff der Teilbeweglichkeit. Auch Salzfachleute übernahmen diesen Terminus und übertrugen ihn auf die im salinaren Milieu auftre-

tenden Gesteinsarten. SCHAUBERGER (1931) verwendete den Ausdruck der „relativen Plastizität“ und verstand darunter die Änderung der Plastizität der jeweiligen Salzminerale und der im Salinar auftretenden Gesteine. Er stellte folgende Reihenfolge mit zunehmender Plastizität innerhalb der in den alpinen Salzlagerstätten auftretenden Gesteine bzw. Schichten auf: Anhydrit, Tonmergel, Ton, armes Haselgebirge, Kernsalz, reiches Haselgebirge. Demnach besitzt das Kernsalz eine hohe Teilbeweglichkeit, die schon an Hand der bereits besprochenen Faltenbildungen bestens zu beobachten ist. Die plastische Verformbarkeit des Steinsalzes ist hinlänglich bekannt; man denke z. B. an die Diapirbildung beim Salzaufstieg.

Die Mächtigkeit der betreffenden Gesteinslagen ist jedoch von großer Wichtigkeit. Denn dünnere Lagen aus Ton und Anhydrit können ohne weiteres bruchlos mitgefaltet werden, hingegen zerbrechen mächtigere Lagen aus demselben Material mit größter Wahrscheinlichkeit. Der Salzton wird in ein brekziöses Gemenge umgewandelt.

Auch der Anhydrit weist syn- bis postdiagenetische Brekzienbildung auf. Bei mechanischer Durchbewegung können einzelne Anhydritschollen in das Salz eingeschleppt werden und dort als isolierte Komponenten vorliegen.

Steinsalz vermag bis zu einer gewissen Grenze auf mechanische Belastung durch Translation mit plastischem Fließen zu reagieren. Spröde Teilbereiche, wie die schon erwähnten Ton- und Anhydritlagen, werden hingegen zerbrechen und Fugen bilden.

In manchen Fällen bilden feine Tonlagen einen Inhomogenitätsbereich, entlang welchem das Gestein beim Auftreten von scherenden Kräften bevorzugt zergleitet. Der Ton stellt somit einen höher teilbeweglichen Bereich dar.



Abb. 19: Mit sekundärem Anhydrit (grauweiß) auskristallisierte Zerrfugen sind entlang einer Tonfeinlage (schwarz) versetzt. Grundmasse aus tonigem Anhydrit. Salzbergbau Bad Ischl, Lauffener Erbstollen. Dünnschliff, ohne Nicols, Bildausschnitt 9,8×7,8 mm.

10. Rotfärbung von Salzmineralen

Rotfärbung konnte im Zusammenhang mit den vereinzelt auftretenden Hämatitkristallen nicht festgestellt werden, vielmehr ist das Salz durch eine schleierartige inhomogene Rötung gefärbt. Um die Rotfärbung näher zu definieren, ob diese vielleicht durch feinverteilten Hämatit oder andere oxidische oder hydroxidische Ei-

senverbindungen verursacht wird, wurden einige rotgefärbte Steinsalzproben in praktisch ionenfreiem, bidestilliertem Wasser unter CO_2 -Atmosphäre aufgelöst. Folgender Lösungsvorgang wurde beobachtet: Schlierige, rote Massen ohne erkennbare Korngrößen steigen nach kurzer Zeit an die Wasseroberfläche. Durch Abdekantieren und anschließendes Waschen dieser roten Masse in einem feinporigen Filter, konnten Konzentrate des roten, extrem feinkörnigen Mineralstaubes gewonnen werden. Diese wurden röntgenographisch untersucht. Da sowohl mit $\text{Cu-K}\alpha$ -Strahlung als auch mit $\text{Fe-K}\alpha$ -Strahlung bei den Diffraktometeraufnahmen keine gut ausgebildeten Peaks erzielt wurden, muß es sich um weitgehend röntgenamorphe Substanzen handeln. Damit schieden submikroskopisch kleine Hämatitkriställchen als Verursacher der Rotfärbung aus. Die Peaks sprechen mehr für schlecht geordnete Eisenhydroxidverbindungen. Da der Lösungsvorgang keine Änderung im Oxidationszustand des Eisens dieser Minerale bedingen konnte (CO_2 -Atmosphäre), muß die Färbung des roten Steinsalzes in den untersuchten roten Steinsalzproben durch diese schlechtkristallisierten Eisenhydroxide verursacht werden. Hämatit spielt demnach in den untersuchten Proben offenbar eine untergeordnete Rolle, da im unlöslichen Rückstand nur vereinzelt Hämatite auftraten (4–10 Individuen pro g NaCl). Das Mengenverhältnis von röntgenamorphen Massen zu gut kristallinen Hämatitindividuen weist einen Faktor von ca. 500–1000 zugunsten der dichten roten Masse auf. Diese Beobachtung konnte auch bei Dünnschliff- bzw. Anschliffuntersuchungen bestätigt werden. Lokal tritt eine Anreicherung von Hämatit an den Korngrenzen des Steinsalzes zu den benachbarten Mineralen der Salzparagenese und auch bevorzugt am Rand von Toneinschlüssen auf. Daraus geht hervor, daß die Rotfärbung des Steinsalzes durch die submikroskopisch feine rote Masse verursacht wird und der sporadisch auftretende Hämatit in Form einzelner, tafeliger Individuen keine wesentliche Rolle als Pigment bei der Rotfärbung des Steinsalzes spielt, da keine Abhängigkeit der Rotfärbung vom Mengenverhältnis dieser Hämatitafeln festgestellt wurde.

Eine weitere, im alpinen Haselgebirge rotgefärbte Mineralphase der Salzparagenese ist der Polyhalit. Die Untersuchung dieser Färbung ist insofern nicht einfach, als dieses Mineral im Wasser unlöslich, in Salzsäure kaum löslich ist und keine Gewähr besteht, daß es nicht zur Umwandlung der vorliegenden Eisenphase in Eisenchloride kommt. Man ist daher auf Auflicht- und Durchlichtuntersuchungen angewiesen. Hämatit und Lepidokrokit sind optisch hier häufiger als im Steinsalz nachweisbar. Jedoch ist im Durchlicht dieselbe schleierartige Rotfärbung wie im Halit zu beobachten. Ein direkter Zusammenhang zu den tafeligen Hämatitindividuen und der Rotfärbung des Gesteins läßt sich aus den Dünnschliffuntersuchungen nicht ableiten. Vermutlich verursachen auch hier submikroskopisch kleine Eisenoxide bzw. -hydroxide neben den mikroskopisch erkennbaren, mengenmäßig untergeordneten Hämatitafeln die Rotfärbung des Polyhalits. Untersuchungen polierter Anschliffe bestätigen das Vorkommen von Hämatit- und Lepidokrokitindividuen. Hier kann auch bei feinsten Kristalliten durch die Reflexionswerte und Innenreflexe zwischen Hämatit und Lepidokrokit unterschieden werden. Die schleierartige Rotfärbung, wie sie in den betreffenden Dünnschliffen festgestellt wird, konnte in den Polituren nicht weiterverfolgt werden.

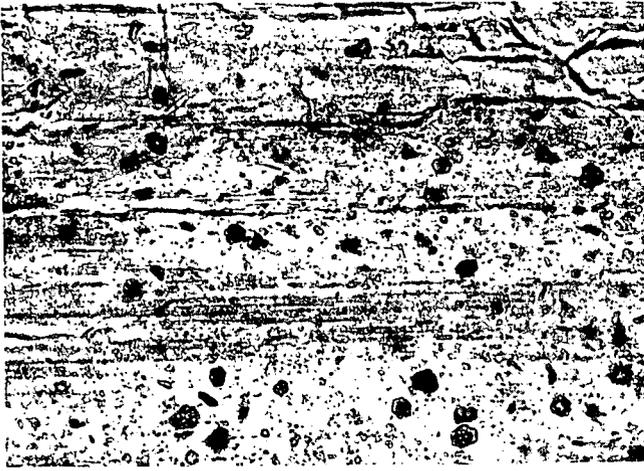


Abb. 20: Pseudohexagonale Lepidokrokitblättchen (schwarzgrau) in Faserpolyhalit (weißgrau). Salzbergbau Hallstatt, Maria Theresia-Horizont. Dünnschliff, Nicols ||. Bildausschnitt 3,7×2,6 mm.

11. Diskussion der Ergebnisse

Die alpinen Salzlagerstätten sind nach paläogeographischen Studien (ERKAN, 1977) und isotopengeochemischen Untersuchungen (PAK & SCHAUBERGER, 1981) in Lagunenräumen vom Oberperm bis in das obere Skyth entstanden. Diese Lagerstätten des juvavischen Deckensystems liegen heute in einem Rahmen mit zahlreichen Anhydrit-Gipslagerstätten und sind nach diesen Vorstellungen „im östlichen bzw. westlichen Abschnitt des sich in E–W-Richtung erstreckenden, nach E offenen Lagunensystems konzentriert“ (ERKAN, 1977, S. 392). Sie liegen in einem als Gips-Ton-Sandstein-Fazies bezeichneten Ablagerungsraum, für welchen auch basische Vulkanite und Tuffe des Oberperms charakteristisch sind. Demnach muß sich die alpine salinare Sedimentation in einer langgestreckten Flachsee mit einzelnen tieferen Rinnen und Wannern vollzogen haben (SCHAUBERGER, 1979, S. 458). Nach SCHAUBERGER (1979) deutet das überwiegende Vorkommen von Rotsalzgebirge der Salzlagerstätten von Alt Aussee und Ischl auf Ablagerungen „im tieferen, wenig durchlüfteten Stillwasser küstenferner Lagunenbezirke“ hin, während die Salzlagerstätten von Hallein und Hallstatt durch das Auftreten gleich großer Anteile von Rotsalz- und Grüntongebirge eine küstennähere Sedimentation vermuten lassen. Diese Vermutung ist allerdings nicht recht verständlich, weil ja die farbgebenden roten Pigmente aus Mineralphasen mit Fe^{3+} bestehen, was bekanntlich für ein Oxidationspotential sprechen würde. Das für die Grünfärbung maßgebliche Fe-Bisulfid wird vor allem unter reduzierenden Bedingungen gebildet. Dies alles auf eine paläogeographische Deutung der Salztypen übertragen heißt, daß die Rotfärbung mehr für landnahe, die grünen Farbtöne eher für landferne, becken tiefere Bereiche sprechen.

In diesem für die Entstehung mariner Salzlagerstätten offenbar morphologisch, klimatologisch und geochemisch prädestinierten Milieu wurden nun, unter fast fortlaufender Beeinflussung durch die schon bisher herrschenden Sedimentationsbedingungen mit detritischer Sand- und Tonschüttung, jene für das alpine Haselgebirge charakteristischen Salz-Ton-Sedimente abgelagert, die in der nachfolgenden Entwicklung für eine Fülle von Besonderheiten im Hinblick auf die Großtekto-

nik und im kleinen auf die mechanische Durchbewegung und mit dieser z. T. verbundenen Neukristallisationen Anlaß gaben. Jedoch schon ohne orogene Einflüsse stellen salinare Ablagerungen bekanntlich ausgesprochen empfindliche Sedimente dar, die neben der enormen Verformungsbereitschaft auch eine hohe chemische Reaktionsbereitschaft aufweisen.

Durch die Gefügestudien wurden hier gefügebildende Teilbewegungen verschiedener Größenordnung, betreffend Kristallisation und Verformungen im Sinne SANDERS studiert, um davon ausgehend aus dem in vielen Punkten umstrittenen Haselgebirge einige Wege zur Beurteilung genetischer Gesichtspunkte aufzuzeigen.

Naturgemäß bringen die alpinen Salzlagerstätten sowohl auf den Gebieten der Anlagerungsgefüge als auch der Korngefüge ideale Beispiele für das Studium der Schichtabfolgen, ihrer syndiagenetischen Umwandlungen und Verformungen, für Deformation an Einzelkörnern, Aggregaten und Gesteinen, für Tektonitbildung, für Lösungsumsätze und nachfolgende Kristallisationen und Metasomaten. Das unterschiedliche mechanische Verhalten verschiedener salinärer Gesteine im Verband mit Nebengesteinen lieferte weitere wichtige Befunde.

Trotz oft sehr starker tektonischer Beanspruchung und Mineralumwandlungen ist es tatsächlich möglich, in den alpinen Salzlagerstätten reichlich Relikte von sedimentären Gefügen zu erkennen. Anhydrit, Gips und Polyhalit sind neben Steinsalz die am häufigsten vertretenen Mineralphasen. Schöne und verständliche Beispiele für Mineralumwandlungen liefern die Gips- und Anhydritkörper. Neben den körnigen und tafeligen Anhydritkorngefügen sind große Anhydritkristalle hervorzuheben, welche die Form von Schwalbenschwanzwillingen aufweisen, die üblicherweise eine charakteristische Ausbildung von Gips darstellen. Es liegt hier augenscheinlich eine Umwandlungspseudomorphose von Anhydrit nach Gips vor. Gipsreste sind in den Pseudomorphosen oder in deren Nahbereich allerdings nicht festzustellen. Diese Anhydritausbildungen sind relativ häufig zu beobachten und geben einen klaren Beweis, daß der Anhydrit in diesem Fall als sekundäres Mineral vorliegt.

Ein bemerkenswertes Gefügedetail stellt die Wechsellagerung von hypidiomorphkörnigen Anhydritaggregaten und tafeligen, beinahe idiomorphen Anhydritkristallen vor. Während in den tafeligen Anhydritschichten keine Gipsaggregate feststellbar waren, ist jedoch Gips in Intergranularen und Gesteinsfugen in den körnigen Anhydritpartien vorhanden. Als wahrscheinlichste Erklärung der tafeligen Anhydritaggregate, die gestaltlich in s eingeregelt vorliegend, läßt sich eine belteropore Wachstumsregelung vermuten, wobei es sich um ein sekundäres Gefüge handeln wird, das ein im Kornfeinbau bereits geregeltes Anhydrit-Pflastergefüge im Rahmen einer Abbildungskristallisation ersetzt.

Der Polyhalit bildet in den alpinen Salzlagerstätten körnige, filzige und bisweilen verzwilligte Kristalle. Die feinkörnig-xenomorphen Aggregate bilden eine homogene Masse, in der manchmal Polyhalitzwillinge eingestreut liegen. Die filzigen Aggregate stellen entweder Umwandlungsräume um Anhydritkristalle dar oder bilden ähnlich wie die körnige Varietät eine in sich homogene Masse. Feinschichtige Polyhalitlagen bestehen überwiegend aus diesen filzig-faserigen Gefügen.

Polyhalit soll nach Aussagen von SCHAUBERGER (freundl. Mitt.) im alpinen Salinar als sekundäre Mine-

ralbildung vorliegen. Dies wird meinerseits an Hand von Dünnschliffbeobachtungen durch Umwandlungssäume von Polyhalit um Anhydritkrisallite vielfach bestätigt. Es konnte jedoch in keinem Fall nachgewiesen werden, daß auch die körnige Polyhalitusbildung sekundär ist. Diese Kornart tritt nirgends als identifizierbares Umwandlungsprodukt auf und es gibt auch keine Hinweise dafür, daß die filzigen Polyhalitaggregate nachträglich in körnige umkristallisiert sind. Als einzige Reaktion von körnigen Kristallen fielen in vereinzelt Fällen Umwandlungen von großen Polyhalitzwillingen in körnige Aggregate auf. Es liegt eine körnige Grundmasse vor, in der Polyhalitzwillinge lokal gehäuft auftreten. Diese Zwillinge werden randlich durch die feinkörnigen Kristalle ersetzt, die sich von der übrigen feinkörnigen Matrix in ihrer Ausbildung nicht unterscheiden. Man könnte demnach das vorliegende Polyhalitgestein als ein durch Rekristallisation mit Kornverfeinerung entstandenes Gefüge auffassen, welches aus einem grobkörnigen, aus reichlich Zwillingen aufgebauten Gefüge entstanden ist. Diese Beispiele können jedoch keinen Beweis dafür erbringen, daß der gesamte feinkörnige Polyhalit unmittelbar aus gröberkörnigen Zwillingsgefügen hervorging. Die vorhin erwähnten filzigen Kristallite erweisen sich jedenfalls auch als schon eindeutig sekundäre Bildungen, kommen also für eine eventuelle relikte primäre Polyhalitgeneration nicht in Frage. Auf Grund des Kristallisations-Deformationsgefüges gewinnt man den Eindruck, daß der Polyhalit wenn schon nicht primär, so doch frühdiagenetisch entstanden ist und seither mehreren Kristallisationen unterworfen war.

Außer Anhydrit spielt Gips im Haselgebirge der Alpen sowie allgemein in allen Salzlagern, bekanntlich schon wegen der Bildungsmöglichkeit im Anfangsstadium der Konzentration eine maßgebliche Rolle. Bei Anwesenheit anderer Salze in der Calciumsulfatlösung scheidet sich aber bekanntlich auch unter 60°C nicht Gips, sondern Anhydrit ab, was im Rahmen der primären Ausscheidungen im Salinar zu bedenken ist.

Das in vielseitiger Ausbildung körnig, stengelig, faserig, idiomorph mit schönen Kriställchen auftretende Mineral fällt im Aufschluß vor allem durch intensive und oft komplizierteste Faltenbildungen der Gipsgesteine auf. Gipse sind außerdem als sekundäre Kristallite, als Fugenfüllungen und vielfach rezente auf den künstlich geschaffenen Hohlräumwänden in den Werkern der Salzlagern, natürlich auch auf Grubenhölzern usw. weit und breit bekannt.

Außer den Untersuchungen von Korngefügen bestimmter Minerale der Salzparagenese wurde versucht, einige der vielen Anlagerungsgefüge auf ihre Entwicklung vom Anfang der Ablagerungen in der Salzlagune, bis zur heutigen Lage und zum heutigen Zustand zu verfolgen.

An den Anfang der Betrachtungen gehören auf alle Fälle die den Sedimenten eigenen Gefüge, die den Aufbau des antransportierten bzw. ausgefällten Materials in Form von ungestörten inhomogenen Parallelgefügen, nämlich in Schichten, Feinschichten, z. T. auch Rhythmen, erkennen lassen. Die Frage, wie weit derartige, im primären Stadium der Anlagerung festgelegte Gefüge heute noch erhalten sind, ist in dem sehr leichtbeweglichen und verformungsanfälligen Haselgebirge i. w. S. sehr aktuell; um so mehr, als ja die genetischen Ansichten über die brekziös-konglomeratisch aussehenden Haselgebirgstypen differieren.

Das die Schichtung, Feinschichtung, Raumrhythmik kennzeichnende und im Idealfall in der Abfolge lagig wechselnde Material besteht aus Gips, Anhydrit, Steinsalz, Polyhalit als authigene Minerale, Tonminerale und sandiger Detritus als allothigenes von außen zugeführtes Material. Natürlich sind sehr häufig homogene und inhomogene Mischungen dieser Mineralphasen gegeben. Entsprechend der physikalisch-chemischen Ausfällungsbedingungen gehen Gips und Anhydrit gemeinsame Wege, was auch außerhalb der eigentlichen Steinsalzlagerstätten in den, im Ostalpenraum regional weit verbreiteten Gips-Anhydritlagern auffällt. Sie bilden ja den weiten Rahmen um die oberpermisch-skythischen Salzlagern.

Die im Zusammenhang mit den, in den eigentlichen Salzlagern stark auffallenden Paragenesen der geschichteten Abfolgen sind Anhydrit-Ton, z. T. mit Bitumen, Anhydrit-Polyhalit, Polyhalit-Ton und Steinsalz-Ton-Wechselagerungen.

In allen Fällen wirkt eine Detritusbeteiligung, vor allem von Tonmineralen, durch zeitlich unterbrochene Zufuhr schichtungserzeugend. Das kann mit einer Unterbrechung der Anlagerung von Steinsalz, Anhydrit u. a. zusammenhängen, oder auch nur als „verschmutzende“ Einstreuung zur Geltung kommen, während die Ausfällung und Anlagerung der anderen Komponenten weitergeht.

Von den verschiedenen, dem Steinsalz, Polyhalit und Anhydrit farbgebenden Pigmenten ist vor allem die Beteiligung von Fe-Hydroxiden nicht nur auffallend, sondern auch genetisch interessant. Gefunden wurden z. B. Samtblenden, Rubinglimmer, Hämatit und submikroskopische, röntgenamorphe Fe-Hydroxidverbindungen, Mineralphasen, die also oxidierende Verhältnisse anzeigen. Die sekundäre Fe-Hydroxidbildung, z. B. durch Umwandlung von Pyrit oder Markasit, war für die schichtgebundene Rotfärbung auszuschließen. Natürlich ist dieser Fall aber für die Beurteilung von Verwitterungszonen außerhalb des Bergbaues ebenfalls zu beachten. Graufärbung der Salzgesteine wird hauptsächlich auf die Anwesenheit von Pyrit, Markasit, Tonminerale oder Bitumen zurückgeführt.

Die Schichtung, als inhomogenes Parallelgefüge im Sinne SANDERS, wie sie heute im Salzgebirge vorliegt, kann trotz verschiedener Umkristallisationen während der Diagenese und Salzmetamorphose z. B. von Steinsalz, Anhydrit, Polyhalit, dennoch hauptsächlich durch die oft ungestörte, nicht verlagerte Tonbeteiligung als Relikt des sedimentären Anlagerungsstadiums angesehen werden. Es liegt als Intergefüge der jüngeren Kristallite, oft aber intergranular und vor allem noch primär, vielleicht auch noch nachträglich entmischt in schichtiger Anordnung vor. Derartige Schichtungen bilden in allen unseren Salzlagern die Grundlage für eine stratigraphische Betrachtung, wie sie vor allem von SCHAUBERGER (1949, 1955) am Beispiel der Lagerstätte Hallstatt begonnen wurde und seither auf alle alpinen Salzlagern einschließlich Hall in Tirol in überzeugender Form ausgedehnt wurde. Ein sehr willkommenes Hilfsmittel für die Beurteilung ursächlich angelagerter und heute noch erhaltener Schichtung waren schon immer für SCHAUBERGER die auf lange Distanz verfolgbaren Anhydrit-Zwischenschichten, Sandsteinbänke, vor allem aber auch die Tuffhorizonte und der deckenförmige Erguß der basischen Lava im Hallstätter Salzgebiet.

Ausgehend von den Erkenntnissen über Schichtungen können nun die zahlreichen anderen typischen Sedimentabfolgen betrachtet und kritisch erklärt werden. So ist die Existenz der nichtparallelen Anlagerungsformen, bei Schräg- und Kreuzschichtung zwar so gut wie selbstverständlich, doch kann nach den hier verbreiteten Erkenntnissen auf deren praktische Anwendung aufmerksam gemacht werden. Denn sehr oft besteht im Salzbergbau die Frage nach dem Liegenden und Hangenden der Gesteinsabfolge. Hier schiene es wirklich lohnend, den Zeitaufwand für die Suche nach derartigen Oben-Unten-Kriterien in Kauf zu nehmen, um in den für den Bergbau wichtigen Fällen diese petrographische Klärung zu versuchen. Solche Schräg- und Kreuzschichtung kann bevorzugt im tonigen Milieu, d. h. in Gesteinen, die von Ton- und Salzmineralen aufgebaut sind, beobachtet werden. Beide veranschaulichen ursprüngliche Lagerungsverhältnisse; so etwa entspricht die Schrägschichtung hier meist einem durch Auffüllung eingeebneten Relief. Falls sich die betreffende Schicht über relativ weite Strecken ausdehnt, kann eine ursprüngliche Lagebestimmung interessante Erkenntnisse sowohl für die Wissenschaft als auch für den Bergbau erbringen.

Außer den erörterten Schräg- und Kreuzschichten kommen als Geopetalgefüge noch die polaren Belegungen von Grenzflächen, also von Sedimentationsflächen mit grobklastischen Komponenten, z. B. durch Resedimentation in Frage. Als Komponenten sind hauptsächlich Tonbrocken und Gerölle zu erwarten. Dazu kommen auch noch diejenigen polaren Abfolgen, die durch vertikale Kornsortierung entstehen können. Dieser Fall ist in den grobklastischen, vor allem resedimentär zu deutenden Ablagerungen manchmal zu beobachten. Die Tatsache, daß resedimentiert wurde, läßt den Schluß auf z. T. starke Wasserbewegung, eventuell Sturmfluten, und damit wohl auf Seichtwasserbildungen, zumindest in Teilabfolgen, zu.

Syn- bis postdiagenetische Gefügemerkmale wie z. B. Deformationsbrekzien sind im Haselgebirge sehr reichlich vertreten. Man kann sie vom Beginn ihrer Bildung aus einer noch fast geschlossenen, zerbrochenen Schicht bis zum Auftreten völlig zusammenhangloser Komponenten verfolgen. Die Unterscheidung dieser Deformationsbrekzien i. w. S. und der eben erörterten resedimentären Brekzien und Konglomerate ist besonders wichtig. Anhydrit- und H₂O-arme Tonlagen neigen wegen ihres teilweise relativ spröden Verhaltens bevorzugt zur Bildung von Deformationsbrekzien.

Für das Studium von mechanischen Einflüssen bei den Deformationen ist das Salzgebirge prädestiniert. Das sehr leicht verformbare und mobile Salz, sowie das plastische Verhalten der Gips- und H₂O-enhaltenden Tonbänke steht im krassen Gegensatz zum starren Verhalten der Anhydrit- und Karbonatgesteinsareale.

Die vielen und oft schwierig zu deutenden gekrümmten Gefüge sind in Salzlagerstätten seit langem bekannt. Eine Vielzahl von Biegegleitfalten-Systemen und Scherfalten-Typen sind dem Gefügeforscher vor allem in den Gips- und Steinsalzpartien geläufig und haben sich in die „Gefügekunde der Gesteine“ von SANDER (1930) Eingang gefunden. Das sehr teilbewegliche Gesamtmilieu, die starke mechanische Beanspruchung der Salzlagerstätten sowie die Volumszunahme bei der Entstehung von Gips aus Anhydrit und dazu die gute Translatierbarkeit von Steinsalz nach (110) und von Gips nach (010), die Weichheit und die gute Spalt-

barkeit, das alles schafft Voraussetzungen für oft intensive Faltungen, oft auch mit vielen Übergängen und mit Ineinandergreifen von Biegefaltung und Scherfaltung.

Zu diesen, im Detail oft sehr schwer zu erklärenden Verformungen, die durch die alpidische Tektonik verursacht wurden, kommen noch die schon im sedimentären Ablagerungsraum dort und da erfolgten subaquatischen Gleitungen und andere syndiagenetische Ereignisse, deren einwandfreie Identifizierung im Salzgebirge freilich nur in Sonderfällen möglich ist.

Grundsätzlich ist festzustellen, daß der Typ der Scherfaltung, bedingt durch die hohe Fließfähigkeit des Gebirges, im reinen Salzgebirge dominiert. Im Ton-, Anhydrit- und Polyhalit-reichen Haselgebirge, also in härteren Gesteinsabschnitten, sind Scherfalten weniger entwickelt, hier überwiegt die Biegegleitfaltung.

An manchen Orten konnten trotz der tektonischen Überprägung tatsächlich Hinweise für subaquatische Faltung gefunden werden. Besonders typisch war eine gefaltete, 5 cm dünne Polyhalitlage, deren Relief polar, geopetal mit Anhydrit lagig bedeckt ist. Dünnschliffbeobachtungen des gefalteten Polyhalitbereiches ergaben keine näheren Hinweise auf die Auswirkung der Deformation im Korngefüge, da der Polyhalit – durch Anhydritrelikte bestätigt – hier als sekundäre Bildung und als Umkristalliat vorliegt. Die Aggregate sind sehr klein, dicht- und gleichkörnig, sie zeigen nicht die Spur einer Deformation. Es fand in diesem Fall eine eindeutige postdeformative „metamorphe“ Umwandlung des Polyhalits aus Anhydrit statt ohne jegliche Beeinflussung der Aggregate durch den Faltungsvorgang, aber mit präziser Nachbildung der vorher gefalteten Lage. Es müssen also vor der Faltung Anhydritlagen ähnlich den hangenden und liegenden Gesteinsschichten bestanden haben, die nach dem faltenden Ereignis fast zur Gänze polyhalitisiert wurden. Vermutlich war hier in diesem deformierten Bereich eine höhere Wegsamkeit für die zur Polyhalitisierung benötigten K- und Mg-hältigen Lösungen gegenüber den benachbarten Lagen gegeben.

Die einfachsten Faltenbilder sind, z. B. in grob- bis feinkörnigen Anhydrit-Tonschichtungen, in Anhydrit-Dolomitgesteinen und in schichtig gebauten Haselgebirgsabfolgen, auch in bankig entwickelten Anhydrit-Polyhalitschichten dann zu bemerken, wenn die Verformung nur einfach als Biegegleitung stattgefunden hat. Die für diesen Falten Typ erforderliche Gleitmöglichkeit in den einzelnen Schichtfugen wird durch den schichtig alternierenden Wechsel von Sedimentmaterial, vor allem durch die Zwischenlagerung von mehr oder weniger dünnen Tonlagen gefördert.

Kompliziert und schwierig erklärbar aber werden die Faltenbilder, wenn mehrscharige Zergleitungen einen Bereich betroffen haben, und besonders, wenn Biegefallen zusätzlich von Zerschörungen weiter umgestaltet wurden. Immer wieder sind es Kernsalzbänke, Gipsbänke und auch tonreiche Schichten, die für derartige Faltenstudien besonders in Frage kommen. Die kompliziertesten Formen liefern Gipsfalten, die nicht nur durch verschiedene mechanische Einflüsse im Zuge rein tektonischer Bewegungen gefaltet wurden, sondern die in Folge Volumensvergrößerung bei der Wasseraufnahme aus Anhydrit große Platzansprüche zur Geltung brachten.

Außer den hier auszugsweise geschilderten stetigen Deformationen sind im alpinen Haselgebirge i. w. S. auch reichlich rupturale Veränderungen, mitunter auch

Kataklase von Mineralen und Aggregaten zu beobachten. Das mag bei so plastischen Gesteinen, wie es das Haselgebirge darstellt, wundern. Am auffälligsten sind die Salzionbrekzien vom Typ der Deformationsbrekzien, und zwar besonders dann, wenn die Gesteinsfarbe stark vom zementierenden Material abweicht. Dunkelgraue bis schwarze zerbrochene Tone mit weißem oder roten Steinsalz verkittet, machen einen besonders schönen Eindruck und sind bei fehlender oder schwacher Verlagerung der Fragmente auch gut verständlich. Die Neigung von Tonen, rüpturell so zu zerbrechen, ist einerseits durch den feinstückigen, griffeligen Zerfall in Tagaufschlüssen bekannt, und es ist auch zu erwarten, daß ein stark ausgetrockneter Ton auf tektonische Beanspruchung sowohl mit gefügebedingter Reißluftbildung bzw. auch mit homogener Kluftnetzbildung im kleinen reagiert.

Für Deformationsbrekzienbildung ist auch der Basalthorizont, wie er im Hallstätter Salzberg mehrfach aufgeschlossen war und z. T. noch ist, prädestiniert. Sein mechanisch starres Verhalten innerhalb des plastischen Haselgebirges bedingt, vermutlich schon im diagenetischen Stadium, ein Zerbrechen. Dieses unterschiedliche Festigkeitsverhalten kommt erst recht bei tektonischen Beanspruchungen zur Geltung, sodaß heute als gewisse Besonderheit die Verheilung von Klüften im Basalt („Melaphyr“) durch Steinsalz- und Anhydritaggregate vorliegt. Deformationsbrekzien sind auch in gewissen Anhydrit- und auch Polyhalitbänken zu beobachten. Als fugenverheilender Zement sind jüngerer Anhydrit, Steinsalz und Gips zu finden. Von SCHAUBERGER (1955) werden auch zerbrochene Sandsteinbänke im Haselgebirge erwähnt, die trotz Zerbrechens noch als loser zusammenhängender Gesteinshorizont über weite Distanz verfolgbare sind und als Beweis für die weitgehend sedimentäre Natur des Haselgebirges herangezogen werden.

Es ist verständlich, daß bei intensiver Zerschneidung und Verknetung des alpinen Salztongebirges solche Zusammenhänge auch total verloren gehen können, und somit heute ein gewisses tektonisches „Durcheinander“ von zerbrochenen und mitunter weit verlagerten Bruchstücken vorliegt. Derartige „tektonische Breie“ sehen daher dem umstrittenen, sedimentären konglomeratischen Haselgebirge sehr ähnlich, welches aus resedimentierten Komponenten besteht. Diese sedimentären Haselgebirgsareale zeigen aber in Idealfällen typische Anzeichen mechanisch-sedimentärer Ablagerung, wie z. B. polare Abfolgen der gröberen und feineren Komponenten innerhalb geschichteter Haselgebirgsbänke, z. T. sogar noch erhaltene vertikale Sortierung.

Freilich gibt es auch Haselgebirgszüge, in denen sedimentäres, grobklastisches Gestein von tektonischen Durchbewegungen so stark betroffen wurde, daß infolge der Überlagerung der genetischen Ereignisse eine sichere Erklärung der Vorgänge nicht mehr möglich ist.

Ein in allen alpinen Salzlagerstätten vertretener Salzgefügetyp war und ist Anlaß für zahlreiche Diskussionen vor allem hinsichtlich der Genese: nämlich das sogenannte Augensalz. Die zwei konträren Auffassungen sind: Salzaugen als porphyroblastische Sammelkristallite und resedimentierte Gerölle aus älteren Salzhorizonten.

Nach meiner Auffassung haben beide Erklärungen ihre Berechtigung und sind demnach die Entstehungsur-sachen verschiedene. Auch die Salzaugenbildung über

den Umweg der Hopperkristalle (DELLWIG, 1955) ist in Betracht zu ziehen.

Die gefügekundlichen Betrachtungen schließen auch die interessanten Fälle der Wechselbeziehung von Kristallisation und Deformation mit ein. Tafelförmige Anhydrit- und stengel- und faserförmige Polyhalitaggregate liefern z. B. gute Studienobjekte. Gerade die genetisch schwierige Beurteilung der Kristallisation des Polyhalits könnte durch Auffinden von deformationsbeeinflusstem Kristallwachstum erleichtert werden. So konnte u. a. eine feinlagige Polyhalitschicht als synkristallin deformiert eingestuft werden. Da aber besonders im alpinen Salinar durch Diapirismus und durch Deckenüberschiebungen der Nördlichen Kalkalpen Deformationen in vielen Phasen abgelaufen sind, sind derartige Hinweise nur kleine Hilfsmittel zur Bestimmung und Beurteilung von Kristallisationsereignissen und eventuelle Hinweise auf sekundäre Mineralbildung.

Beispiele zeigen auch, daß gerade in mechanisch beeinflussten Lagen Rekristallisationen, bzw. Umkristallisationen von einer Mineralphase in eine andere, im speziellen Fall von Anhydrit in Polyhalit, bevorzugt stattfinden können.

Die erhofften Erwartungen über die vielseitigen und vieldeutigen Salzgefüge in den alpinen Salzlagerstätten wurden nicht nur erfüllt, sondern in vieler Hinsicht weit übertroffen. Deshalb konnte in dieser vorliegenden Arbeit nicht auf jedes Detail genauest eingegangen werden. Es wurde als Ziel betrachtet, die vielen theoretischen Erklärungsmöglichkeiten über die ursprüngliche Sedimentation des alpinen Salzgesteins, über diagenetische Umbildungen, Umwandlungen, und über Deformationen und Kristallisationen auch im nachdiagenetischen Stadium aufzuzeigen und aus dieser Vielfalt einige Probleme näher zu erörtern.

Die dargelegten Erkenntnisse sollten auch Anregungen für die Erklärung der in der Erzlagerstättenkunde oft umstrittenen Gefüge bringen. Gerade über lokale Stoffumsätze, Sammelkristallisationen, Verformungen und Neukristallisationen könnten im alpinen Haselgebirge sehr wesentliche Erfahrungen gesammelt werden.

Dank

Die Studie stellt einen Auszug aus einer Dissertation dar und wurde im Rahmen des Forschungsschwerpunktes S 21 der ÖRK (O. SCHULZ, Universität Innsbruck) durchgeführt und als Projekt 4435 vom Österreichischen Wissenschaftsfonds gefördert. Den Herren wHR Dipl. Ing. Dr. O. SCHAUBERGER, Prof. Dr. KÜHN und Univ.-Prof. O. SCHULZ danke ich für Diskussion der Probleme und Ratschläge für die Arbeiten im Bergbau und Labor.

Literatur

- BORCHERT, H.: Grundzüge der Entstehung und Metamorphose ozeanischer Salzlagerstätten. – Freiburger Forschungshefte, A 123, Berlin 1958.
- BORCHERT, H. & MUIR, R. O.: Salt deposits. – D. van Nostrand Company, LTD, London 1964.
- CAROZZI, A.: Microscopic Sedimentary Petrography. – New York–London (John Wiley & Sons) 1960.
- DELLWIG, L.: Origin of the Salina Salt of Michigan. – Jour. Sed. Petrol., 25, 83–93, 95–102, 107–110, Menasha 1955.
- DREYER, W.: Gebirgsmechanik im Salz. – Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag) 1974.
- ERKAN, E.: Uran- und Gipsführendes Permoskyth der östlichen Ostalpen. – Jb. Geol. B.-A., 120/2, 343–400, Wien 1970.
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G.: Sedimente und Sedimentgesteine. – 3. Aufl., Stuttgart (Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung) 1977.

- GÖRGEY, R.: Zur Kenntnis der Kalisalzlager von Wittelsheim im Ober-Elsaß. — *Tschermak's Min. Petr. Mitt.*, **31**, 339–467, Wien 1912.
- HADINGER, W.: Über die Pseudomorphosen nach Steinsalz. — *Naturwiss. Abh.*, **65**, Tübingen 1847.
- HOLSTER, W. T.: Diagenetic Polyhalite in Recent Salt from Baja California. — *American Mineralogist*, **51**, 99–109, Philadelphia 1966.
- KARL, F.: Anwendung der Gefügekunde in der Petrotektonik. — *Tektonische Hefte*, **5**, Clausthal-Zellerfeld 1957.
- KÜHN, R. & SCHWERDTNER, W.: Nachweis deszendenter Vorgänge während der Entstehung der Leine-Serie des deutschen Zechsteinsalzes. — *Kali- und Steinsalz*, **11**, 380–383, Essen 1959.
- KÜHN, R.: Beiträge zur Kenntnis der mitteleuropäischen Ulexit-Vorkommen, insbesondere von Niederellenbach (Hessen). — *Notizblatt des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zu Wiesbaden*, **99**, 253–266, Wiesbaden 1971.
- LOTZE, F.: Die wichtigsten Lagerstätten der „Nicht-Erze“. — *Steinsalz und Kalisalze*, **3**, Teil 1, Berlin 1938.
- LOTZE, F.: Steinsalz und Kalisalze. — I. Teil, Berlin-Nikolassee (Gebrüder Bornträger) 1957.
- MAYERHOFER, H.: Beiträge zur Kenntnis des alpinen Salzgebirges mit einer strukturellen und stofflichen Bearbeitung des Ischler Salzgebirges und einem Entwurf einer tektonischen Entstehungshypothese des Haselgebirges. — *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, Jg. 1953, **105**, 4. Teil, 752–775, Berlin 1953.
- MEDWENITSCH, W.: Beitrag zur Geologie des Salzkammergutes. — *Diss. Univ. Wien*, Wien 1949.
- MEDWENITSCH, W.: Die Geologie der Salzlagerstätten von Bad Ischl und Alt Ausee. — *Mitt. Geol. Ges.*, **50** (1957), Wien 1958.
- MEDWENITSCH, W.: Zur Geologie des Halleiner Salzgebirges. Die Profile des Jakkoberg- und Wolfdietrichstollens. — *Mitt. Geol. Ges.*, **51** (1958), Wien 1960.
- MEDWENITSCH, W.: Salz und Gips im steirischen Salzkammergut. — *Der Bergmann, der Hüttenmann (Katalog)*, 125–133, Abb. 22, Taf. 1–2, Graz 1968.
- NÖGGERATH, G.: Irreguläre Steinsalzkristalle und Steinsalz-pseudomorphosen nach solchen. — *N. Jb. Min. etc.*, **307**, Stuttgart 1846.
- OCHSENIUS, C.: Bildung von Salzlagerstätten und ihrer Mutterlaugensalze unter spezieller Berücksichtigung der Flöze von Douglasshall in der Egeln'schen Mulde. — 175 S., Halle (Pfeffer) 1877.
- PAK, E.: Schwefelisotopenuntersuchungen am Institut für Radiumforschung und Kernphysik I. — *Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl.*, **10**, 166–174, Wien 1974.
- PAK, E.: Isotopenuntersuchungen am Institut für Radiumforschung und Kernphysik II. — *Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl.*, **1978**, 6–22, Wien 1978.
- PAK, E. & SCHAUBERGER, O.: die geologische Datierung der ostalpinen Salzlagerstätten mittels S-Isotopenuntersuchungen. — *Verh. Geol. B.-A.*, **2**, 185–192, Wien 1981.
- REINHOLD, P.: Beitrag zur Geochemie der ostalpinen Salzlagerstätten. — *Tschermak's Min. Petr. Mitt.*, **10**, 1–4, 505–527, Wien 1965.
- RICHTER-BERNBURG, G.: Über saline Sedimentation. — *Z. Dtsch. Geol. Ges.*, **105**, 4. Teil, 593–645, (1953), Berlin 1955.
- SANDER, B.: Gefügekunde der Gesteine. — Wien (Springer) 1930.
- SANDER, B.: Einführung in die Gefügekunde der geol. Körper, I. Teil. — Wien (Springer) 1948.
- SANDER, B.: Einführung in die Gefügekunde der geol. Körper, II. Teil. — Wien (Springer) 1950.
- SCHAUBERGER, O.: Die Fließstrukturen im Hallstätter Salzlager. — *Berg- u. Hüttenm. Jb.*, **79/1**, S. 27, Leoben 1931.
- SCHAUBERGER, O.: Die stratigraphische Aufgliederung des alpinen Salzgebirges. — *Berg- u. Hüttenm. Mh.*, **94/3**, 46–56, Leoben 1949.
- SCHAUBERGER, O.: Zur Genese des alpinen Haselgebirges. — *Z. Dtsch. Geol. Ges.*, **105**, S. 736, Berlin 1955.
- SCHAUBERGER, O. & KÜHN, R.: Über die Entstehung des alpinen Augensalzes. — *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **6**, 247–259, Stuttgart 1959.
- SCHAUBERGER, O.: Die alpinen Salzlagerstätten. — *Verh. Geol. B.-A.*, **1978/3**, 455–459, Wien 1979.
- SCHWERDTNER, W.: Untersuchungen an bunten Augensalzen in der Ronneberg-Gruppe (Zechstein) von Hannover. — *Kali- u. Steinsalz*, **8**, 265–275, Essen 1962.
- TOLLMANN, A.: Das Permoskyth in den Ost-Alpen sowie das Alter und Stellung des Haselgebirges. — *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, Stuttgart 1964.
- TOLLMANN, A.: Der Bau der nördlichen Kalkalpen, orogene Stellung und regionale Tektonik, Wien (Deuticke) 1976.
- WALTHER, L.: Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit. — 2. Aufl., 342 S., Leipzig (Verlag Meyer) 1912.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 28. Juli 1983.