Der Salzbergbau von Perneck bei Bad Ischl in Oberösterreich und das darüber liegende Eisen- und Bleiglanzvorkommen der Sudhüttenwand am Ischler Salzberg. Die Salzvorkommen um Bad Ischl und Pseudomorphosen nach Tonwürfelsalz aus dem Schönmanngraben bei Kaltenbach.

von P. Arthofer und A. Kapeller, Steyr*)

Im nunmehr vierten Teil der unter obigem Titel begonnenen Publikation gehen die Verfasser näher auf die Genese und den Mineralinhalt der Salzlager im Umkreis von Bad Ischl ein. Diese befinden sich mit ihren sämtlichen untertägigen und teilweise obertägigen Anlagenteilen und Liegenschaften im Besitz der Salinen Austria AG. Ein Betreten der Bergbauanlagen ohne Genehmigung ist strengstens verboten. Zuwiderhandlungen werden ausnahmslos geahndet.

Geographische Lage des Bergbaues

Die Lage des Bergbaubereiches Ischler Salzberg entnehme man der Karte. Im Bereich westlich, südlich und südöstlich von Bad Ischl sind abbauwürdige Salzlagerstätten bekannt.

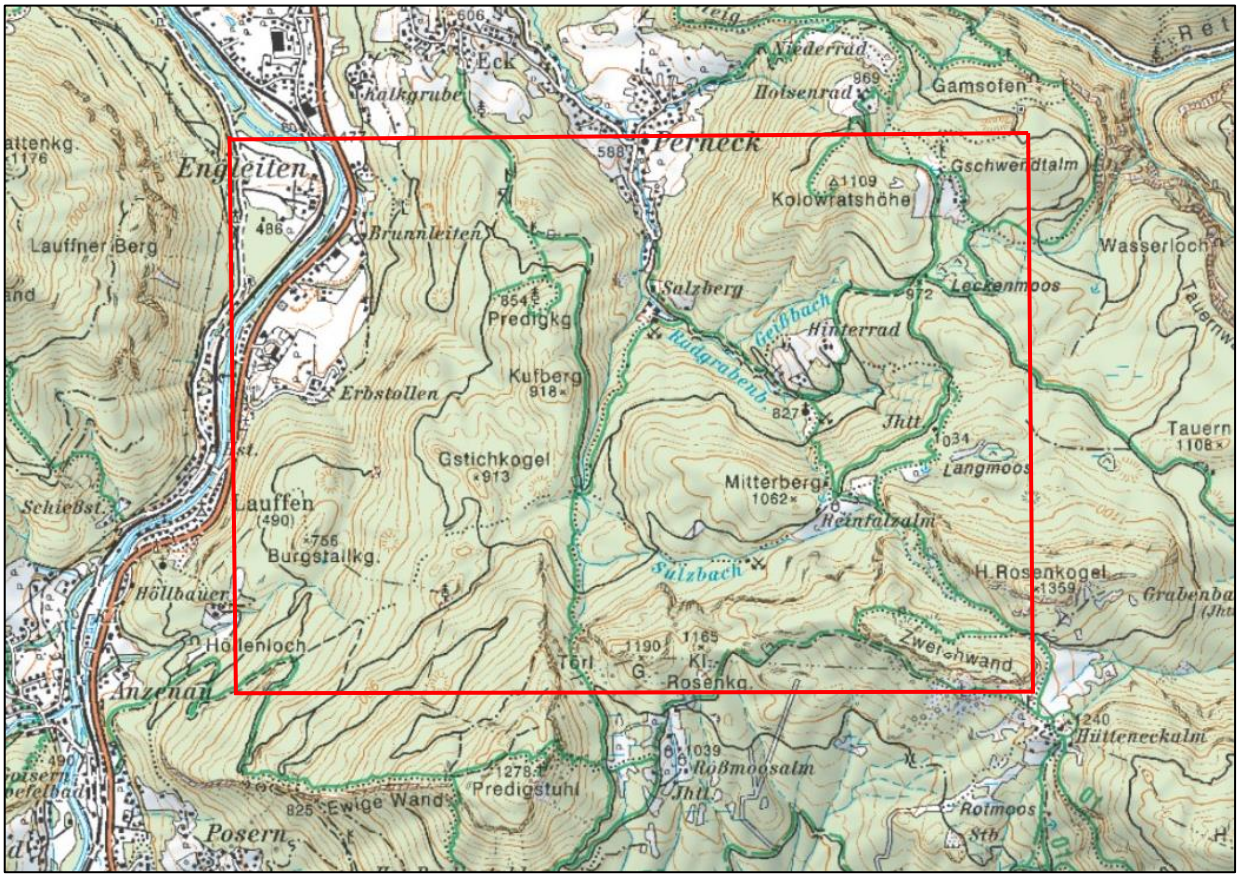

Abb.1: Ischler Salzberg, Gebiet in dem sich die Stollenanlagen des Salzbergbaues befinden.
Ausschnitt der ÖK 1 : 50.000 Blatt 96, Bad Ischl (nicht maßstäblich).

Peter Arthofer und Alexander Kapeller
Sertlstraße 15
4400 Steyr
arthoferp@gmail.com

Bad Ischl – die Steinsalzvorkommen

Hauptlager oder Pernecker Salzberg

Das als leicht eckige Linse geformte Hauptlager (LOBITZER et al. 2023) ist, von oben nach unten betrachtet, etwa 45 Grad gegen Südost geneigt im Gebirge positioniert. Die horizontale Längsachse des Lagers verläuft Richtung Ostnordost-Westsüdwest, der Längsachse der Reinfalzalm folgend, unter der sich der Scheitel des Hauptlagers befindet. Im obersten Bereich hat das Hauptlager auf etwa 1.000 Metern Meereshöhe eine Längserstreckung von bis zu 400 Metern bei einer Breite von maximal 30 Metern. So hat das Lager auf Niveau des Erbstollens bei 500 Metern Meereshöhe eine Länge von 1100 Metern, bei einer Breite von durchschnittlich 200 Metern. Unter Erbstollenniveau ist die Erstreckung des Lagers wenig bekannt, beträgt aber mindestens 150 Meter. Der Mittel- und Westteil des Hauptlagers fällt gegen die Teufe unter die Zwerch-wand und den Ostteil des Hohen Rosenkogels. Das Hauptlager ist in viele mehr oder weniger horizontal positionierte Scheiben, mit Mächtigkeiten von durchschnittlich 30 Metern bis 35 Me-tern (maximal bis 100 Metern) segmentiert. Im Grenzbereich der Scheiben liegen die Horizonte, worin sich auch der Großteil des Grubengebäudes ausbreitet. Die Horizonte selbst sind durch vertikale Schächte und Schrägschürfe verbunden. Nur wenige Horizonte haben keine direkten Tagausgänge und wurden mit den aussagekräftigen Namen Blindhorizont I und II belegt. Sie sind nur über das Grubengebäude erreichbar. Außerhalb des Hauptlagers wurden einige Gruben-gebäude zur kontrollierten Wasserführung angeschlagen, einerseits zur Vermeidung von Raub-wässern (Süßwasser von Obertage), andererseits zur Verwendung bei der Solegewinnung durch Verlaugung von Salzgebirge mittels Werkern und Bohrlochsonden.

Einzelne Quellen im Hauptlager wie zum Beispiel das Klebelsberg Wasser (am südlichen Ende der Klebelsberg Kehr, einer Strecke im Osten des Kaiserin Maria Theresia Horizonts) wurde einige Zeit lang als Heilwasser genutzt (DIETRICH 1893). Bis heute werden die aus der Tiefe aufsteigenden, früher im Leopold Stollen und derzeit im Kaiser Franz Josef Stollen austretenden Schwefelwässer für therapeutische Anwendungen herangezogen.

Die Soleproduktion im Hauptlager wurde im Jahre 2011 eingestellt und der untertägige Bergbau damit stillgelegt.

Das Steinberglager

Dieses Steinsalzlager teilt sich in ein größeres, östliches und ein kleineres westliches Teillager.

Das *östliche Lager* ist flach liegend und unregelmäßig geformt, Nord–Süd gelängt und linsenförmig. Die Länge beträgt etwa 400 Meter bei einer Breite von rund 200 Metern. Es liegt etwa eineinhalb Kilometer östlich des Ortes Lauffen und befindet sich etwa in der Mitte zwischen dem Ortskern und dem Hauptlager unter dem Graben des Törlbaches. Wegen der geringen Vertikalausdehnung des Lagers ist es in nur drei Scheiben mit drei Horizonten geteilt. Jeder Horizont ist vom Tage her aufgeschlossen worden.

Das kleinere, *westliche Lager* ist gleich dem östlichen geformt (mit einer Länge von 80 Metern bei einer Breite von etwa 30 Metern) und wurde nur durch ein einziges Laugwerk ohne namentliche Bezeichnung genutzt, welches beim Vortrieb des Neuer Steinberg Stollen aufgefunden wurde.

Das Steinberglager wurde im Jahre 1775 wegen Erschöpfung totgesprochen.

Trauntaler Salzlager mit dem Vorhauptlager

Das Trauntaler Salzlager ist unter der Talsohle des Trauntales zwischen Bad Ischl und Lauffen situiert. Der Form nach handelt es sich um ein nach Norden, Osten und Süden auskeilendes Flöz mit stark variabler Mächtigkeit. Im Westen fällt es flach unter das Katergebirge und hat im Norden eine Verbindung zum Ischltaler Salzlager. Die Liegendgrenze dieses Lagers befindet sich nach jetzigem Kenntnisstand bei etwa 370 bis 820 Metern unter der Talsohle des Trauntals.

Unter den Bergen, welche im Osten das Trauntal begrenzen, hebt sich das Salzlager, wird geringmächtiger und keilt aus. Unter dem Gstichkogel übersteigt es am Ostrand sogar die Trauntalsohle und wurde im Erbstollen zwischen Streckenmeter 520 bis 860 durchfahren. Dieser Be-reich im Erbstollen wurde durch zwei abgehende Strecken aufgeschlossen, und wird als Vor-hauptlager bezeichnet. Im Horizontalschnitt des Erbstollens ist das Lager wie eine Linse ge-formt, die Längsachse ist Westnordwest - Ostsüdost ausgerichtet. Das Lager ist auf eine Länge von etwa 350 Metern bei einer Breite von zirka 250 Metern bekannt.
Das Trauntaler Lager wurde 1965 durch seismische Untersuchungen und eine darauffolgende Sondierungsbohrung (Bad Ischl 1 beziehungsweise BI 1) in den Sulzbachfeldern entdeckt.
Seit dem Jahr 1967 wird das Lager mittels Bohrungen von Obertage her bis heute zur Soleproduktion erkundet und genutzt. Im Jahr 1994 ist das Trauntaler Salzlager zwischen Bad Ischl und Lauffen durch eine weitere, weitreichende seismische Untersuchung aufgenommen worden (LOBITZER et al. 2023).

Ischltaler Salzlager
Dessen Nutzung mittels eines „Pfennlein im Yschelland“ im Besitz der Ordensschwestern des Klosters Traunkirchen wurde 1312 urkundlich erwähnt. Damals wurde natürlich austretende Quellsole versotten. Später belegte man diesen Soleaustritt, welcher nahe der Ortschaft Pfandl liegt, mit dem Namen „Maria Louisen Quelle“. Es war der erste Hinweis auf ein Salzvorkom-men in diesem Gebiet. Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts vermutete man ein Salzlager unter dem Talboden des Traun- und Ischltales. 1917 und 1918 wurden im Rabennest westlich Ischl zwei Sondierungsbohrungen auf Steinsalz (Rabennest 1 und 2) niedergebracht. Diese beiden Bohrungen konnten wegen technischer Probleme die geplante Endteufe und das Salzlager nie er-reichen. Im Winter 1995/96 wurde eine weitere Bohrung (Rabennest 3) in einer Wiese nahe dem Rabennest bis zu einer Teufe von 603,6 Meter abgeteuft. Ab Meter 153,5 bis 578,8 konnte ein Salzlager durchörtert sowie die Fortsetzung der Trauntaler Lagerstätte und das Vorhandensein des Ischltaler Salzlagers bewiesen werden. Im Jahre 1998 wurde eine gravimetrische Unter-suchung, im Jahre 1999 eine seismische Erkundung zur Feststellung der Ausdehnung der Lager-stätte zwischen Bad Ischl und Strobl durchgeführt, sowie ein östlicher Schwerpunkt im Bereich Ahorn/Lindau und ein westliches Schwerpunktgebiet um den Bereich Windhag abgesteckt (LOBITZER et al. 2023).

Thesen über die Entstehung der Salzlager vor der Theorie von Ochsenius

FÜRER (1900) fasste in seiner Salinenkunde die Vorstellungen der Entstehung der Salzlager vor OCHSENIUS (1877) zusammen. Anfangs war die Meinung über die Genese sehr geteilt. Einerseits nahmen die Plutonisten (darunter auch KARSTEN in seiner Salinenkunde von 1846) eine Ablagerung des Salzes auf plutonischem Wege an. Dies bedeutet, dass das Salz aus dem flüssigen Erdinneren – also aus Schmelzen – stammen müsse.
Die Neptunisten, erkannten bereits den Zusammenhang mit dem Meerwasser.
Daneben existierten noch weitere Thesen, einzelne Forscher führten zum Beispiel die Bildung des Kochsalzes auf Ausscheidungen aus Tier- und Pflanzenkörpern zurück. Der Salzgehalt von Tierharn wurde als Beitrag zur Salzentstehung gesehen.

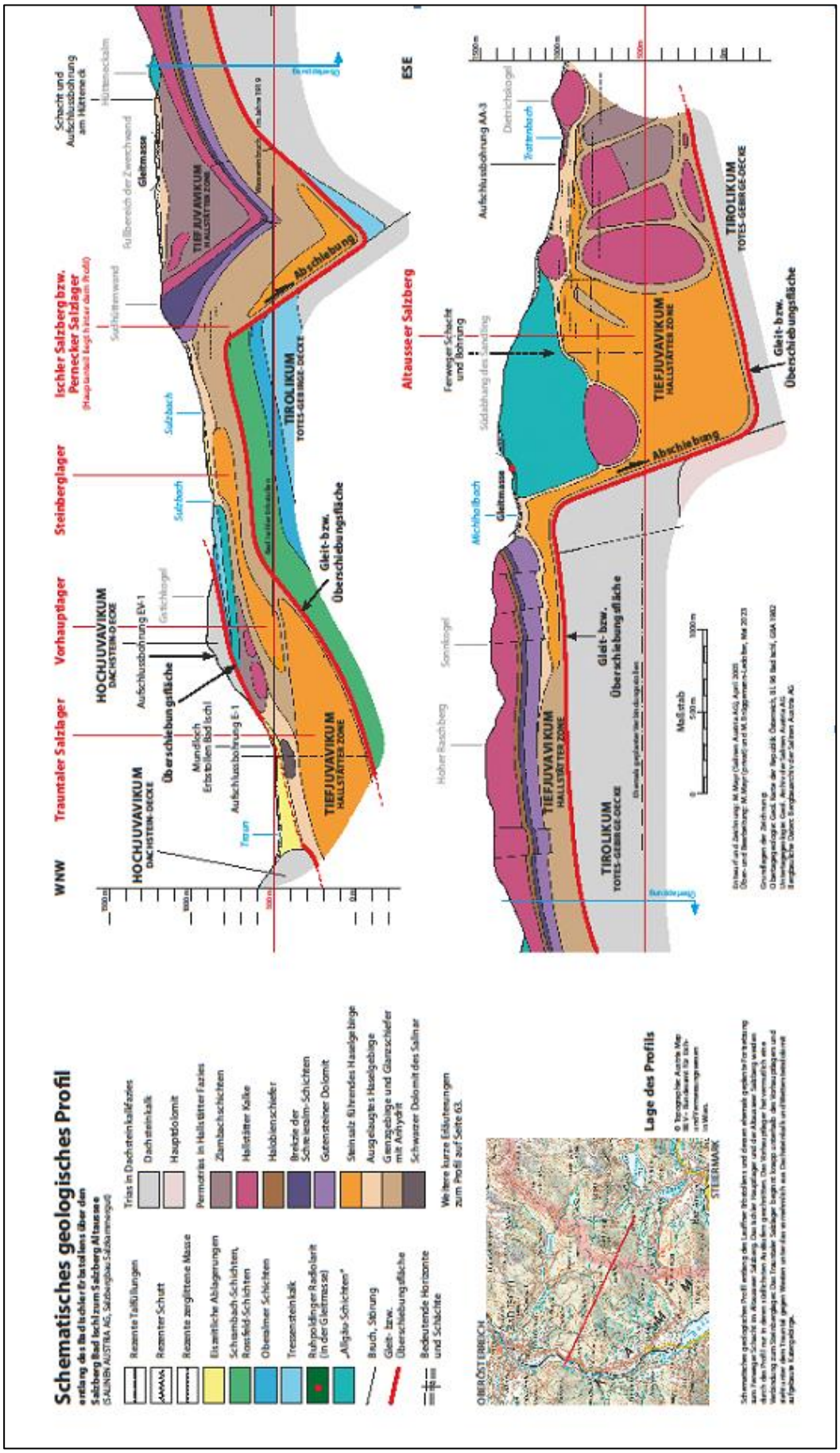

Abb. 2: Geologisches Profil des Lauffener Erbstollen zum Ferweger Schacht in Altaussee.
Aus LOBITZER et al. 2023.

Vorbemerkungen zur Entstehung von Salzlagerstätten

Bevor auf Details der Petrogenese alpiner Salzlagerstätten näher eingegangen wird, sollen die Bedingungen der Bildung von Salzlagerstätten näher betrachtet werden.
Essentiell für die Entstehung von Salzlagerstätten waren die Ozeane. Bei der chronologischen Entwicklung der Meere vom Aspekt der chemischen Zusammensetzung kann man nach LOTZE (1938, 1957) drei verschiedene Epochen differenzieren:

- In der Primärepoche kühlte die Erdkruste ab, es kam zu chemischen Reaktionen durch Regen und flüchtige Gase aus der Atmosphäre. Die auf diese Weise entstandenen Salze bildeten die ersten Sedimente und das erste Meer.
- Einige hundert Millionen Jahre später begann die zweite, etwa zwei Milliarden Jahre andauernde Epoche, welche durch Auslaugung des submarinen Untergrundes geprägt war.
- Vor etwa eineinhalb Milliarden Jahren begann die dritte Epoche, in der sich der marine Salzgehalt vor etwa 600 Millionen Jahren auf den konstanten Salzgehalt von etwa drei Prozent einregelte.

Die grundlegenden Theorien der Salzlagerstättenbildung postulierten OCHSENIUS (1871, 1878) mit seiner Barrentheorie, WALTHER (1912) mit der Wüstentheorie, RICHTER-BERNBURG (1955) mit einer Theorie von Flach- und Tiefschelfsalinar unter Berücksichtigung der faziellen Grund-lagen und letztendlich BORCHERT (1959) mit seiner Ansicht über Salzausscheidungen in Ström-ungen entlang horizontaler Temperaturgefälle in verschieden Tiefenlagen von Meeresbecken bis zu 200 Metern Tiefe.

Die Barrentheorie von Ochsenius - Die heute gültige Theorie der Entstehung der Salzlager

Von allen Theorien ist für die alpinen Salzlager die These des deutschen Geologen Carl Christian OCHSENIUS die Barrentheorie am schlüssigsten. Zur Zeit des Oberperms und der Un-tertrias entstanden unsere Salzlagerstätten. In diesem Abschnitt überflutete das Meer große Ge-biete des südlichen und südöstlichen Europas (das heutige Österreich und Deutschland bedeckte ein Salzsee von bedeutender Dimension). Diese Flachmeere und Lagunen waren Teil eines Trockenklimagürtels, welcher sich vom Ural an der Grenze zu Asien, über Mitteleuropa bis in den Südwesten Nordamerikas erstreckte (THOMANEK, o.J.). Durch Sedimentation und die Meeresströmung baute sich im Laufe der Zeit an den Flachmeerrändern eine Bodenschwelle, die sogenannte Barre (Untiefe, Schwelle, Diaphragma) auf. Über diese Barre gelangten geringe Mengen von Meerwasser in das beinahe abgeschlossene Flachmeerbecken, es existierte also noch eine Verbindung zum offenen Meer. Bedingt durch ein trockenes Klima verdunstete in diesem Becken mehr Wasser als über die Barre nachfließen konnte. Durch diesen Vorgang er-höhte sich die Salzkonzentration innerhalb des Beckens bis zur Sättigung der Lösung. Die Salz-verbindungen wurden gefällt und sanken in kristalliner Form zu Boden. Bedingt durch das unter-schiedliche Verhalten der Salze in Lösung entstand eine chronologische Fällungsreihenfolge. Als erstes fiel Gips, gefolgt von Dolomit und Anhydrit aus. Danach wurde Natriumchlorid (also Speisesalz) gefällt, darauf rekristallisierten die sogenannten Edelsalze (im deutschen Zechstein, in den alpinen Salzlagern nur in Form von „Nebensalzen“, vornehmlich im Rotsalzgebirge) wie beispielsweise die Chloride des Kaliums oder Magnesiums.
In der Folgezeit kam es zu einer weiteren Erhöhung der Barre und das Becken wurde gänzlich vom Ozean abgetrennt. Ein Verdunstungsprozess begann, welcher Millionen von Jahren an-dauerte und erst beendet war, als das Meerwasser gänzlich verdampft war.

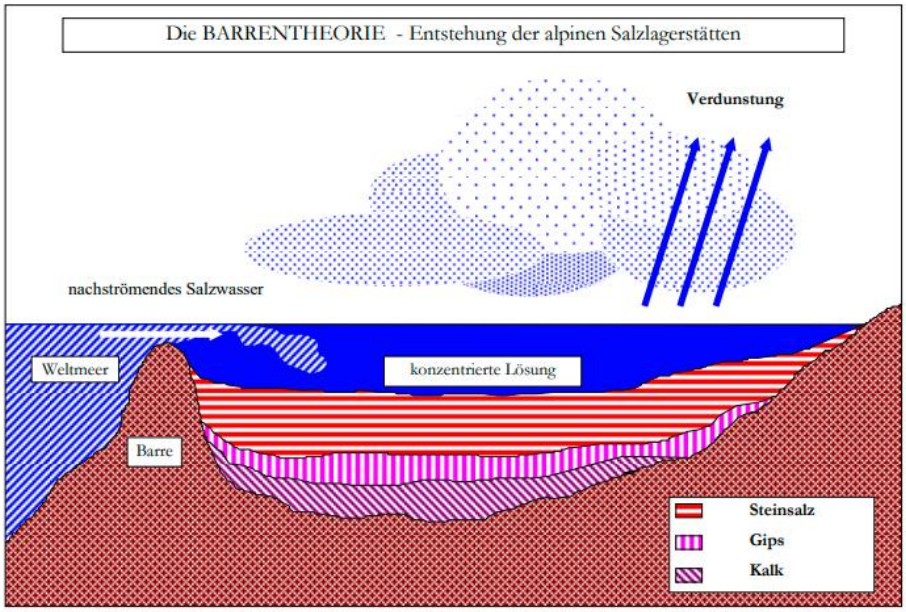

Abb. 3.: Barrentheorie nach OCHSENIUS,
Verdunstung und Entstehung der Salzlager aus THOMANEK (o.J.)

Vom Festland wurden neue tonige Sedimente durch einfallende Staubwinde sowie Schlamm aus Überschwemmungen von Bächen in das ausgetrocknete Becken eingetragen, welche die Lagerstätte vor einer späteren Auslaugung schützten.

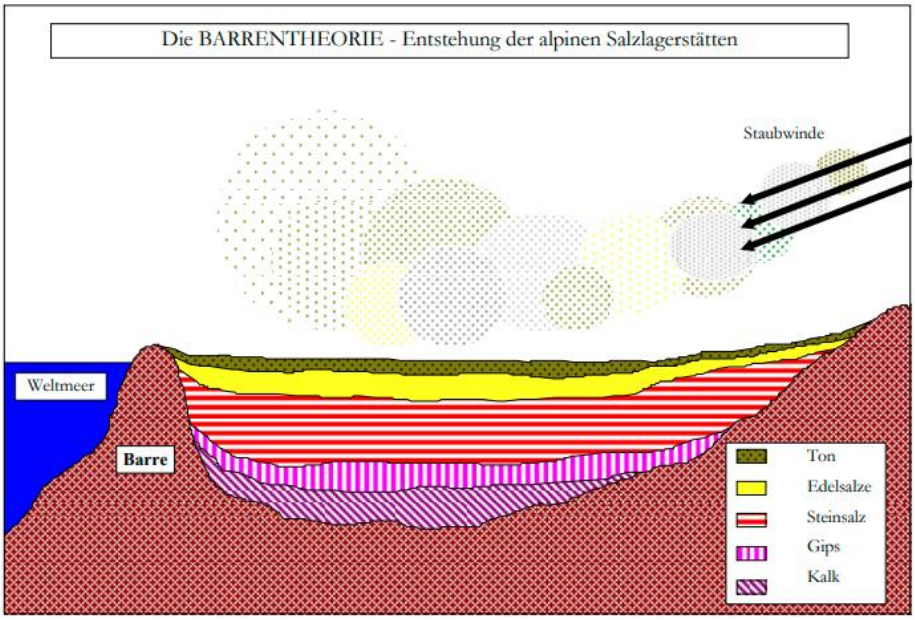

Abb. 4.: Barrentheorie nach OCHSENIUS
Überdeckung und Fällungsreaktionen der Salzlager aus THOMANEK (o.J.)

Bei der Alpenauffaltung vor etwa 100 Millionen Jahren kam es durch tektonische Bewegungen zu einer Vermischung (der bis dahin stratigraphisch weitgehend geschichteten) Salzablagerungen mit Anhydrit, Gips und Ton. Es entstand das sogenannte Haselgebirge i.e.S. mit einem Salzge-halt von bis zu 70 Prozent. Die Alpinen Salzlagerstätten sind auch heute noch, bedingt durch den hohen Druck der überlagernden Gesteine auf die relativ leicht deformierbaren Salzgesteine in Bewegung. Dies wird vor allem durch Bergstürze wie an der Zwerchwand am 15. Oktober 1978 (KOHL 1979) deutlich. Im Bergbau wird das „Fließen“ des Salzgebirges durch das „Zuwachsen“ älterer Strecken binnen einiger Jahrzehnte deutlich - das Haselgebirge schließt sich also wieder.

Abb. 5: Wirkung des Bergdruckes auf alte Strecken: Hier im Kaiser Leopold Hauptschachtricht, Ischler Salzberg 2022, Foto P. Arthofer

Begriff des Salinars

Das ostalpine Salinar erstreckt sich nach SCHAUBERGER (1986) zwischen Innsbruck und Wien und umfasst alle in den Nördlichen Kalkalpen auftretenden Indikationen von chloridischen und sulfatischen Salzen, die mit ihnen im genetischen Kontext stehenden karbonatischen und pelitischen Sedimente, welche der Untertrias angehören, oder älter sind. Im definierten geographischen Bereich mit einer Länge von etwa 350 Kilometern Luftlinie bei einer Breite bis zu 35 Kilometern zwischen Hall in Tirol und Heiligenkreuz bei Wien situieren sich einzelne, zumeist an tektonische Grenzen gebundene Vorkommen, welche zum Teil aus Steinsalz oder Gips beziehungsweise Anhydrit bestehen.

Geologische Erforschung der Salzlagerstätte von Bad Ischl

Bis etwa zum Jahre 1860 beschränkten sich die Arbeiten über die Salzvorkommen mit mehr oder minder genauen Beschreibungen der Mineralien des Salinars und einzelner Gesteinsvorkommen in diesem Bereich. Teilweise wurden Versuche unternommen, diese Vorkommen stratigraphisch zuzuordnen. Der Ischler Salzberg wurde in Bezug auf seine geologische Umrahmung erstmalig von MOJSISOVICS (1868) beschrieben. Ab 1868 wurden frühere Projekte, den Salzstock bei Ischl zu unterfahren, wiederaufgenommen. Das k. k. Finanzministerium ordnete geologische Untersuchungen an, um die Reichhaltigkeit des Salzlagers zu ermitteln.
Ab zirka 1870 befasste sich AIGNER eingehend mit dem Ischler Salzberg und publizierte in der Folgezeit drei wichtige Arbeiten: „*Der Salzberg von Ischl und sein Verhältnis zur eingeleiteten Tiefbohrung*“ (AIGNER 1874), eine Arbeit über „*Das Lagerungsverhältnis des Ischler Salz-berges*“ (AIGNER 1883) und letztendlich „*Über den Kaiser Franz Josef Erbstollen in Ischl*“ (AIGNER 1904), weiter in Richtung Ferweger Schacht im Altausseer Salzberg, vorgetrieben bis bei Stollenmeter 3672 ein nicht unbedeutender Wasserzufluss erfolgt ist. 1948 erfolgte eine Neuaufnahme des Salzberges von Ischl durch den oberösterreichischen Landesgeologen SCHADLER, vorerst in einem unveröffentlichten Bericht (SCHADLER 1948).

AIGNER konnte also den gesamten Vortrieb des Kaiser Franz Josef Erbstollen (angeschlagen am Barbaratag, dem 4. Dezember 1895, vollendet im Jahre 1906 bis zur Bilinsky Hauptschachtricht zum Stollenmeter 2860, welche den Erbstollen mit dem Fuß des Diestlerschachtes verbindet) in seinem Vortrieb beobachten und aufnehmen. Später wurden die Ergebnisse der Untersuchungen publiziert (SCHADLER 1949). 1951 verfasste MEDWENITSCH einen kurzen Exkursionsführer für eine Befahrung des Lauffener Erbstollens (Kaiser Franz Josef Erbstollen). 1955 erschienen Ergänzungen zur Kenntnis des Ischler Salzberges (MAYRHOFER 1955). Drei Jahre später ging die Arbeit von MEDWENITSCH (1958) über die Geologie der Salzlagerstätten Bad Ischl und Altaussee in Druck. Die vorerst letzten Studien aus diesem Gebiet wurden von WINTERLEITNER (2010) und MANDL (2013) veröffentlicht.

Die Aufgliederung des ostalpinen Haselgebirges

SCHAUBERGER (1986) unterschied beim alpinen Haselgebirge zwischen Salzgebirgsarten (heute: Faziestypen) und Salzgesteinstypen (heute: Lithotypen).

Salzgesteinstypen

Bei den Salzgesteinstypen des alpinen Salzbergbaues differenziert man innerhalb des salzführenden Haselgebirges anhand des Steinsalzgehaltes und der Komponentengröße.

Kernsalz(züge): Steinsalzgehalt 90 - 100 Prozent
Die Kernsalzzüge weisen meistens eine Schichtung durch tonige oder anhydritische Zwischenmittel auf (SCHAUBERGER 1986). Je nach dem Typ der Begrenzung (scharf oder verschwom-men) und der Stärke der Salzlagen wird zwischen Liniensalz und Bändersalz unterschieden. Der „primäre“ Charakter der Kernsalzzüge wird zum einen durch die Fluoreszenzfarbe des Stein-salzes zum anderen durch die Altersbestimmung durch Sporenanalyse (KLAUS 1953) bewiesen. Die tonigen Zwischenlagen enthalten ein anderes Sporenspektrum als das Steinsalz. Diese Gegebenheit wird einem jahreszeitlichen Wechsel der Sedimentationsbedingungen zugeschrieben (SCHAUBERGER 1986).

Abb. 6: DI. Thomas Leitner vor der Schaustelle im Bändersalz mit tektonischer Faltung, ehemalige Führungsroute im Maria Theresia Horizont, Lagerstätte Ischl, Foto P. Arthofer

Kerngebirge: Steinsalzgehalt 70 - 90 Prozent
Kerngebirge ist eine alte bergmännische Bezeichnung für feinkristalline schichtungslose Steinsalzkörper von grauer oder hellrötlicher Farbe, welche gelegentlich mit geschichtetem Steinsalz in Verbindung stehen. Das Kerngebirge ist mit nuss- bis kopfgroßen Einlagerungen von Anhy-drit, Anhydritpolyhalit oder Salzton durchsetzt, wobei diese Knauern lokal auf einen prozentu-ellen Anteil bis 30 Prozent angereichert sein können und dieser Gesteinstyp das Aussehen eines reichen Haselgebirges annehmen kann.

Haselgebirge i.e.S: Steinsalzgehalt 10 - 70 Prozent
Unter Haselgebirge des alpinen Salinars ist ein pseudokonglomeratisches Mischgestein mit einer Grundmasse von feinkörnigem Steinsalz, mit bis faustgroßen, kantigen bis schwach gerundeten Einschlüssen von Salzton, untergeordnet von Anhydrit (beziehungsweise Muriazit), Anhydritpolyhalit und Sandstein zu verstehen. Je nach vorherrschender Subkomponente oder zusätzlichen Einschlüssen, lassen sich mehrere verschiedene Haselgebirgsarten differenzieren. Die Einschaltung von horizontbeständigen Tuffitlagen im „Bunten Haselgebirge“ und von Sandsteinzwischenlagen im „Grünen Haselgebirge“ nimmt SCHAUBERGER (1986) eine primäre Schichtung (zumindest für diese Typen) an und sieht hiermit ihre ursprüngliche sedimentäre Bildung als erwiesen. Die sedimentäre Haselgebirgsbildung erfolgte in chloridischem und sulfatischem Medium. Bei letzterem ist die Halitgrundmasse durch eine Matrix aus Anhydrit oder Gips ersetzt. Häufig lässt sich bei obiger Grundmasse eine Fluidaltextur erkennen. Kantige Fragmente von schwarzem Dolomit werden umschlossen, Anhydrit und Ton treten geschichtet in unregel-mäßiger Verteilung auf. In der Lagerstätte Ischl wie auch in Hall in Tirol konnte nach SCHAUBERGER (1986) eine Wechsellagerung von Anhydrithaselgebirge mit regelmäßig ge-schichteten Anhydritbänken, vergleichbar mit dem Werra-Anhydrit des deutschen Zechsteins (hier durch submarines Abgleiten anhydritischer Schichtpakete über geneigtem Meeresboden entstanden) beobachtet werden. Das Haselgebirge kann bezüglich seines Steinsalzgehaltes noch in ein *reiches, mittelreiches, mittelarmes und armes Gebirge* unterteilt werden. Die Bezeichnung „*Haselgebirg*“ wurde nach SPÖTL (1989) bereits 1598 in einem internen Visitationsakt des Salzbergwerkes Hall in Tirol verwendet.

Blättersalzgebirge Steinsalzgehalt 10 - 35 Prozent
Kubikmetergroße Schichtfragmente von Salzton (schwarz, grün oder grau gefärbt) welche auf allen Ablöseflächen dünne, weiße Überzüge von Blättersalz aufweisen und mit einem Kluftnetzwerk durchzogen sind - welches mit Sekundärsalz verschiedener Generationen gefüllt ist - bezeichnet man als Blättersalzgebirge. Fragmente von Tonbänken, welche primär mit dem Haselgebirge in Wechsellagerung entstanden sind, wurden danach fließtektonisch zerrissen und mit Salzlösungen durchtränkt.

Anhydritisches Trümmergebirge: Steinsalzgehalt 0 - 10 Prozent
Innerhalb der Lagerstätte Bad Ischl (wie auch in Altaussee) kommen metermächtige Anhydritbänke in Wechsellagerung mit *Schwarzem Salzton* vor. Partiell sind diese Schichtkomplexe (tektonisch bedingt) in eine glanzschiefrige Riesenbrekzie mit seltenen Salzeinschlüssen umgewandelt.

<u>Salzgebirgsarten</u>
Die Salzgebirgsarten sind nach SCHAUBERGER (1986) das Ergebnis der äußerst wechselhaften salinaren Sedimentationsbedingungen. Sie lassen sich durch die in ihnen enthaltenen Gesteinskomponenten, dem beteiligten Salzton, den Salzgehalt sowie die Ausbildung des Salzes, etwaige enthaltene sulfatische Begleitsalze sowie eingeschlossene semi- oder nichtsalinare Akzessorien differenzieren. Durch Änderung der Sedimentationsbedingungen sind Übergangsformen zwischen den Salzgebirgsarten festgestellt worden.

SCHAUBERGER (1986) unterscheidet bei den Salzgebirgsarten zwischen *Rotsalzgebirge, Grüntongebirge, Bunttongebirge und Grausalzgebirge*. Die Namensgebung dieser vier Hauptgruppen wurde nach dem Gesamtfarbeneindruck, bedingt durch den Komponentengehalt gewählt. Zwischen diesen vier Hauptgruppen konnte SCHAUBERGER (1986) Übergangsformen hinsichtlich des Verhältnisses von Haupt- und Subkomponenten unterscheiden.

Klastische Bestandteile der ostalpinen Salzlager

Salztone
Unter den klastischen, dem Ursprung nach nichtsalinaren Komponenten der alpinen Salzlager nehmen die Salztone (Salzschiefertone, eigentlich Salztonsteine mit teilweise hohem Schluffanteil), welche mit 30 bis 70 Prozent an der Zusammensetzung des Haselgebirges beteiligt sind, die erste Stelle ein. Die Salzschiefertone wurden - wie aus ihrer Textur hervorgeht - zum Teil als Fragmente terrestrischer Tonablagerungen in die Salinarbecken eingeschwemmt und mit Salz beziehungsweise Anhydrit zu Haselgebirge vermischt oder als Schlammtrübe zu Tonbänken sedimentiert. Der Salzgehalt der Grundmasse des Salztones nimmt bei eingelagerten Schollen nach innen hin ab. Die Untersuchung eines sekundär sedimentierten Tones mit Tonwürfelsalzeinschlüssen ergab für das umgebende Muttergestein höhere Salzgehalte. Der primäre Salzgehalt dieses als Salzpelit anzusprechenden Tones wurde nach SCHAUBERGER (1986) durch Diffusion als Tonwürfelsalz respektive als Blätter- und Fasersalz auskristallisiert.
SCHAUBERGER (1986) unterscheidet drei Salztonarten nach ihrem Habitus und ihrer Zugehörigkeit zu bestimmten Salzgebirgsarten. Zwischen den Hauptfazies existieren auch Übergänge.

Schwarzer Salzton
Im frischen Bruch dunkelgrau, bergfeucht schwarz, am Tageslicht allmählich ausbleichend, durch Oxydation oft ins Rotbraune verfärbt. Grobgeschichtet oder auch durch anhydritische Zwischenlagen gebändert und durch deren Zunahme in Anhydrit übergehend. Öfters quer zur Schichtung durchsetzt von rotem Kluftsalz, weißem und orangegelbem Fasersalz und rotem Faserpolyhalit. An trockener Luft sind häufig Haarsalzausblühungen zu beobachten.

Grüner Salzton
Frisch dunkelgrau, wenn längere Zeit feuchten Grubenwettern ausgesetzt bildet sich ein oberflächlicher, grünlichgrauer Überzug, mit typischen rostgelben Anflügen auf den Ablöseflächen, jedoch ohne rotbraune Oxydationsverfärbungen. Ungeschichtet, härter als Schwarzer Salzton, muschelig bis splittrig brechend, manchmal sandig. Häufig mit Tonwürfelsalz durchwachsen und weißem, zuweilen auch violblauem Blätter- und Fasersalz, nie jedoch mit Faserpolyhalit.

Grauer Salzton
Hellgrau, dünnblättrig, weich, fühlt sich seifig an und färbt weiß ab. Auf den Ablöseflächen findet sich oftmals weißes Blättersalz, zuweilen im Inneren auch Tonwürfelsalz.

Der *Schwarze Salzton* unterscheidet sich vom *Grünen* und *Grauen Salzton* deutlich durch einen geringeren Gehalt an Kieselsäure und Tonerde, der durch einen höheren Gehalt an Erdalkalien und Sulfaten ersetzt wird, sowie einen, ihn kennzeichnenden Eisensulfidgehalt und einen hohen Anteil an organischer Substanz. Röntgenographische Untersuchungen der alpinen Salztone (KÜHN 1938, GLÜCK 1975) ergaben quarzhältige, pelitische Glimmertone. GLÜCK (1975) führt relativ hohe Eisen- und Magnesiumgehalte auf Biotit als ursprüngliches Glimmermineral zurück.

Salzsandsteine
Salzsandsteine sind Sedimente, welche zeitgleich mit dem Salz abgelagert wurden. Im Gegensatz hierzu stehen Sandsteine, welche aus dem Liegenden oder Hangenden des Salinars, durch spät-ere tektonische Bewegungen in das Salzgebirge verfrachtet wurden.

Bei den Salzsandsteinen handelt es sich meist um fein- bis feinstkörnige Quarzsandsteine von vorwiegend rötlichbrauner, seltener graugrüner oder hellgrauer Farbe, die im Salzton und im Haselgebirge Zwischenlagen mit einer Mächtigkeit bis zu 15 Zentimetern bilden, allerdings fließtektonisch zu Brocken aufgelöst sind. Die Schwermineralspektren der Salzsandsteine weisen auf eine Herkunft des Detritus vorwiegend aus granitischen Gesteinen der Böhmischen Masse, zum kleineren Teil aus kristallinen Schiefern und Quarziten hin.

Ablauf und Alter der alpinsalinaren Sedimentation

Bestimmung des Eindunstungsgrades durch den Bromtest
Der Bromgehalt des Steinsalzes kann als chemischer Indikator für den Sedimentationsablauf von Salzlagerstätten herangezogen werden. Grundlage hierfür ist der Anstieg des Bromgehaltes im Steinsalz mit zunehmendem Eindunstungsgrad der Salzlauge. D'ANS und KÜHN (1940) erstellten im Idealprofil der Staßfurter Salzlagerstätte einen Schlüssel der Eindunstungsstufen. Seither hat sich die Brombestimmung als Standardmethode der Salzlagerstättenuntersuchung eingebürgert (BRAITSCH 1962). Dieser Schlüssel kann nach SCHAUBERGER (1986) unter Berücksichtigung der besonderen Bildungs- und Umbildungsbedingungen auch auf die alpinen Salzlagerstätten angewendet werden. Hierbei sind auch einige geochemische Anomalien in den alpinen Salzlagerstätten zu berücksichtigen. Auch konnte die Anhydritregion mit besonderem Augenmerk auf die alpinen Salzlagerstätten in eine
- *untere (liegende)* mit bis 0,008 Gewichtsprozent Brom
- *eine mittlere* mit bis zu 0,013 Gewichtsprozent Brom
- *obere (hangende)* mit bis zu 0,0017 Gewichtsprozent Brom

weiter unterteilt werden. Zwischen 1953 und 1971 wurden nach SCHAUBERGER (1986) 105 Proben aus den österreichischen Salzbergen bezüglich ihres Bromgehaltes untersucht. Die Mehr-zahl der bestimmten Bromgehalte entsprachen der mittleren und oberen Anhydritregion, und be-legen, dass der Hauptsedimentationsprozess in diesem Bereich stattgefunden hat.
Weitere Versuche zeigten, dass der zu erwartende kontinuierliche Anstieg des Bromgehaltes der Salzstraten vom Liegenden zum Hangenden hin bedingt durch häufige deszendente Vorgänge (also zirkulierender Lösungen) nicht mehr verfolgbar ist.

Da die Bromgehalte überwiegend in der mittleren und oberen Anhydritregion liegen, also etwa gleichen Konzentrationsverhältnissen bei der Sedimentation der Salze des Rotsalz- und Grüntongebirges, schließt SCHAUBERGER (1986) auf eine altersgleiche Faziesbildung unter verschiedenen topographischen und physikalischen Bedingungen.

Fünf Hauptfaktoren kommen als Ursachen der faziellen Differenzierung in Betracht:

- Horizontale und vertikale Gliederung des salinaren Sedimentationsgebietes, partiell mit dem offenen Meer in direkter Verbindung, teils durch Kanäle konjugiert, stellenweise durch flache Schwellen getrennte Lagunen von unterschiedlicher Größe und Tiefe.
- Wechselnd starker Zufluss von Meerwasser gezeitenbedingt oder fallweise durch Sturmfluten.
- Periodische Süßwasserzuflüsse aus dem Hinterland mit temporär reichlicher Zufuhr von Klastika. Dadurch änderte sich die Laugenkonzentration, die höher konzentrierte Tiefenlauge wurde durch niedriger konzentriertes Oberflächenwasser überlagert, es kam zu Strömungen infolge der Temperatur- und Gewichtsunterschiede.
- Wechsel von ruhiger Sedimentation und sedimentären Turbulenzen, letztere verursacht durch epirogenetische (teilweise durch vulkanische Beben verstärkte) Bodenbeweg-ungen (vornehmlich Senkungen) und damit im Zusammenhang stehende
- teilweise Wiederauflösung, Abtragung und Resedimentation inklusive Umkristallisation.

Bildungsvorgänge der Salzgebirgsarten

Es kommen vier Salzgebirgsfazies und zwei Übergangsgebirge zwischen den Fazies vor. Die Ausbildung der Salzgebirgsarten erklären SCHAUBERGER (1986) und LOBITZER et al. (2023) unter Berücksichtigung vorheriger Punkte wie folgt:

Rotsalzgebirge: Steinsalzgehalt durchschnittlich 65 Prozent
Diese Gebirgsart ist das Produkt einer ruhigen Sedimentation in größerer Wannentiefe einer mit dem offenen Ozean in nur indirekt in Verbindung stehenden Flachsee. Der Eindunstungsgrad konnte bis zu hohen Konzentrationen fortschreiten, wurde aber wahrscheinlich durch jahreszeitbedingte fluviatile Süßwasserzufuhr wieder erniedrigt. Der relativ hohe Anhydritanteil im Roten Bändersalzgebirge lässt den Rückschluss auf eine Einbringung von karbonat- und sulfathältigen Lösungen zu. Beim Rotsalzgebirge ist ein meist tieforanges bis helloranges, rot wirkendes Steinsalz markant. Das Kerngebirge und das Haselgebirge im engeren Sinne zeigen eine hell- bis tieforange bis hellgraue Salzmatrix. Begleiter des Rotsalzgebirges sind gelegentlich grauer Anhydrit, oranger Polyhalit, Glauberit und seltener Astrakanit. Im Gefolge als klastische Bestandteile sind schwarzer und roter Salztonstein, seltener graubrauner (rot wirkender) Sandstein zu beobachten.

Rot-grünes Übergangsgebirge
Im Hauptlager des Ischler Lagerstättenkomplexes überwiegen das Rotsalzgebirge und das Rot - grüne Übergangsgebirge.

Grünes Salztongebirge – Steinsalzgehalt: durchschnittlich 55 Prozent
Die charakteristischen Kennzeichen der variabel ausgebildeten Erscheinungsformen des Grüntongebirges sind die petrographische Gleichförmigkeit des grünlichgrauen (niemals rot verfärbten) Salztones im Haselgebirge sowie das vollständige Fehlen von Polyhalit- und (primären grauen) Anhydriteinschlüssen. Der Sedimentationsraum dieser Gebirgsart ist in der Küstennähe einer von fluviatilen Tonschichten umschlossenen Flachsee zu sehen, die vom Ozean durch eine Schwelle (Saturationsschelf sensu RICHTER-BERNBURG 1955) getrennt war. Durch Gezeiten und Sturmfluten kam es zur Abtragung der litoralen tonigen Sedimente. Diese wurden mit der Salzlauge zu Haselgebirge sedimentiert. Der Calziumsulfatgehalt des Meerwassers wurde bereits am Saturationsschelf gefällt.

Durch kontinentale Süßwasserzufuhr wurden Schlammlagen als Tonschichten in das Haselgebirge eingebracht. Die kennzeichnenden klastischen Bestandteile des *Grünen Salztongebirges* sind hauptsächlich grüner Salzton- und Salzschluffstein, untergeordnet auch grüner Sandstein. Im frischen Anbruch wirkt dieses Gestein dunkelgrau, erst durch oberflächliche Oxidation erhält es eine dunkelgrüne Anlauffarbe. Das Steinsalz dieses Gesteinstyps ist weiß, selten ist ein schwach rötlicher Anflug zu bemerken. Die Kernsalzzüge sind zumeist grau gebändert und werden dann Liniensalz genannt. Begleitende Evaporite sind unter anderem weißer bis klarer, gröber kristalliner Anhydrit (Muriazit) und selten Kalium-Magnesium-Natrium- Sulfate.

Grün-buntes Übergangsgebirge
Die Hauptmasse des Salzgebirges bildet im Trauntaler Salzlager das anhydritische *Grausalzgebirge* gefolgt von graugrünem, schwarz-buntem bis grau-buntem Haselgebirge und unter-geordnet *Rotsalzgebirge*. Durch die Bohrung Rabennest 3 im Ischltaler Salzlager wurde vor-nehmlich graugrünes bis graugrün-buntes Haselgebirge durchörtert.

Buntes Salztongebirge: Steinsalzgehalt durchschnittlich 60 Prozent
Der Gesteinsbestand des *Bunten Salztongebirges* beinhaltet alle klastischen und sulfatischen Komponenten der Salzgebirgsarten. Daher ist dieses Gestein als eine Bildung, jünger als das

Rotsalz- und *Grüntongebirge* anzusehen. SCHAUBERGER (1986) geht bei der Entstehung von einer mit *Rotsalz- und Grüntongebirge* aufgefüllten, vom Ozean abgeriegelten Lagune aus, welche durch Ingression des Meeres wieder aufgelöst und über das ältere Salinar resedimentiert wurde. Die starken tektonischen Aktivitäten dieses Zeitabschnittes werden durch synsedimentäre Einschaltungen von melaphyrischen Deckenergüssen und Tuffithorizonten belegt. Der nochmalige Meereseinbruch hatte auch eine langfristige Rekurrenz des salinaren Eindunstungsprozesses zur Folge, welcher zur neuerlichen Sedimentation von zunächst noch steinsalzführenden, dann anhydrit-dolomitischen und zuletzt tonigen Schichten führte, die den Abschluss des ostalpinen Salinars nach oben bilden. Diese Gebirgsart wird durch verschiedengefärbte klastische Komponenten, meist schwarze, grüne, rote, rotviolette und graue Salztonsteine geprägt. Bunte Sandsteine sind eine Rarität in diesem Komplex. Die Salzmatrix dieses Gesteines und der des bunten Kerngebirges ist honigbraun bis hellbräunlichrot gefärbt. Kernsalzzüge sind selten festzustellen, Begleiter wie Anhydrit und Polyhalit sind ebenfalls sehr selten. Es sind nach der Färbung einige Subtypen zu unterscheiden. Interessant ist das schwarz-bunte Salztongebirge, welches als einziges Salztongebirge dieses Typs weißes bis graues Steinsalz enthält.

Grausalzgebirge: Steinsalzgehalt durchschnittlich 50 bis 70 Prozent
Wechselnd weißes bis graues Kerngebirge (mit Anhydritschutt oder mächtigen Bänken von stinkdolomitischem Anhydrit durchsetzt) entstand unter Reduktionsbedingungen als salinare Rand- oder Schwellenfazies. Von dieser Gebirgsart gibt es einige Subtypen wie toniges graues Kerngebirge, graues Hasel- und Blättersalzgebirge, anhydritisches, kieselanhydritisches und das stinkdolomitische Grausalzgebirge. Allen Grausalzgebirgen ist, wie der Name besagt, eine Matrix aus grauem bis weißem Salz gemeinsam. Im Trauntaler Salzlager ist nach LOBITZER et al. (2023) vorwiegend nur das anhydritische Grausalzgebirge angetroffen worden, welches als maßgebliche Komponente Anhydrit als kleine kristalline Fragmente enthält.

Alterseinstufung der ostalpinen Salzlagerstätten

Bis etwa 1950 waren die Ansichten über das Alter der Salzlagerstätten breit gefächert. Bedingt durch das völlige Fehlen von Makrofossilfunden in den salinaren Sedimenten, der äußerst komplizierten Lagerungsverhältnisse in Folge von Salzdiapirismus und alpiner Deckentektonik konnte man Altersrückschlüsse nur aus der geologischen Position des Salinars zu Werfener Schichten ziehen, was zu verschiedenen Ansichten über das Alter führte.
PETRASCHECK entdeckte 1947 die reiche Sporenführung der alpinen Salzgesteine. Die darauffolgenden systematischen Untersuchungen durch KLAUS (1953, 1954, 1965) lieferten die Grundlage zur Alterseinstufung des Salinars. Der Gehalt von vorwiegend geflügelten Sporen wird von SCHAUBERGER (1986) nach KLAUS im Steinsalz mit bis zu 500 Stück pro Kubikmeter, im schwärzlichgrünen Salzton mit mehr als 5.000 Stück pro Kubikmeter und im schwarzen Salzton mit über 10.000 Stück bis 41.000 Stück pro Kubikmeter angegeben. Der Grüne und der Graue Salzton erwiesen sich zu 60 Prozent, der Rote Salzton als total sporenleer. Durch Vergleiche dieser Sporen mit Proben anderer Lagerstätten war eine Einstufung des Alters der Sedimente des alpinen Salzgebirges möglich geworden. Die Sporenspektren weisen auf ein typisches ober-permisches Alter hin. Die Alterseinstufung des Bunten Salztongebirges bereitete nach SCHAUBERGER (1986) Probleme, da die Spektren ein eher jüngeres Bild ergaben. Auch im Grenzgebirge nahe der Salzgrenze wurden Sporen gefunden bei denen es sich um tektonische Einschleppung aus der angrenzenden Trias handeln konnte. Zur Klärung wurde die Schwefel-isotopen-Methode herangezogen. Eine besonders markante Änderung des Schwefelisotopen-verhältnisses erfolgte zwischen Oberperm und der Anis-Basis. Dieser sprunghafte Anstieg be-trifft den für das alpine Salinar in Frage stehenden Zeitraum und war zur Abklärung besonders geeignet.

Das *Rotsalzgebirge* und das mit ihm eng verbundene Graue Kerngebirge von Hallstatt stimmten mit dem norddeutschen Zechstein und dem nordamerikanischen Perm hinsichtlich der Schwefelisotopenwerte (PAK et. al. 1981) überein, die sporendiagnostischen Arbeiten sowie die Einstufung ins Oberperm galten damit als erwiesen. Die Anhydrit- und Polyhalitproben aus dem Bunten Salztongebirge ergaben, wie es bei diesem, durch Auflösung und Wiederabsatz entstandenem Haselgebirge nicht anders zu erwarten war, die gleichen Werte wie das Rotsalzgebirge. Die Messwerte aus dem stinkdolomitisch/anhydritischen Grausalzgebirge weichen von jenen der übrigen Salzgebirgsarten ab, zeigen eine gute Übereinstimmung mit Werten aus anderen europäischen und nordamerikanischen Salinarbecken und erlauben eine Einstufung des ostalpinen Salinars in das obere Perm bis zur Anis-Basis. Damit wird auch die Möglichkeit eingeschleppter Triassporen in diese Salzgebirgsart ausgeschlossen.
Daher ergibt sich ein zweiphasiger Ablauf der Sedimentation: Zum einen eine ältere oberpermische und zum anderen eine jüngere unter- bis mitteltriadische Phase.

- In der oberpermischen Phase wurde das *Rotsalz- und Grüntongebirge* gebildet.
  Im Übergang zur zweiten Phase wurden die oberpermischen Salinarsedimente aufgelöst und als *Buntes Salztongebirge* resedimentiert.
- Durch weiteres Absinken der alpinen Geosynklinale in der Untertrias wurde eine neuerliche Ingression des Meeres ausgelöst. Als Folge der stärkeren Verdunstung im Flachwasserbereich der Schwelle kam es zu einer abermaligen basalen Sulfat- und Salzfällung als stinkdolomitisch/anhydritischen *Grausalzgebirge*. Durch die großflächige Transgression der Tethys begann am Anfang der Mitteltrias eine hochmarine klastische Absatzgesteinsbildung, die bis zum Ende der salinaren Sedimentation andauerte.

Chemische und morphologische Umbildung der ostalpinen Salzlagerstätten

Maßgebliche Faktoren für die stofflichen und morphologischen Veränderungen der alpinen Salzlagerstätten seit ihrer Sedimentation sind in der Hauptsache *Temperatur*, *Druck*, *Lösungsumsatz* und die *Zeit*.
Diagenese ist der geologische Prozess, den Lockergesteine durchlaufen, wenn sich aus ihnen Sedimentgesteine bilden. Hierbei sind die wichtigsten Faktoren zunehmender *Druck* und *Temperatur*. Mit zunehmender Überdeckung erhöht sich auch der *Druck* auf die tieferen Sedimentschichten, welche dadurch verdichtet und entwässert werden, zugleich steigt die Temperatur leicht an. Das Lockermaterial wird durch Stoffdiffusion und Kristallneubildung verfestigt. Metamorphose und Tektonik sind in ihren Auswirkungen nicht streng zu trennen, da der Einfluss tektonischer Vorgänge auf Veränderungen des Stoffbestandes der Salzlager (zum Beispiel durch die mit dem Auflastdruck zunehmende Temperatur oder durch Öffnung von Zirkulationswegen für den Lösungsumsatz), mehrfach geltend gemacht werden können (SCHAUBERGER 1986). Die Art und das Ausmaß der Veränderungen wurden durch die Einbindung des alpinen Salinars in den geodynamischen Entwicklungsgang der Nördlichen Kalkalpen bestimmt.

SCHAUBERGER (1986) differenziert vier Phasen:

- Das an der Basis des Tirolikums situierte Salinar wird von den Flachwasserkarbonaten der Trias bei gleichzeitigem Absinken der Geosynklinale bis zu einer Mächtigkeit von etwa 3200 Meter überschichtet. Die unmittelbar nach der Abscheidung einsetzende Diagenese der Salze (inklusive der Begleitgesteine) wird mit steigendem Deckengebirgs-druck und entsprechendem Temperaturanstieg von den Auswirkungen der Thermometamorphose und des "innersalinaren" Lösungsumsatzes ersetzt.

- Mit dem "Zerfall der triadischen Plattform" beginnt die Halokinese (Salzaufstieg) in tektonischen Schwächezonen der Hallstätter Entwicklung. Einige Diapire treten in submarinen Kontakt mit Jurasedimenten, wodurch es an ihren Flanken zur Bildung von Gleitmassen kommt. Durch den Aufstieg in geringere Tiefen mit einhergehender wiederholter Temperaturabsenkung kann es zu partiellen rückläufigen chemischen Reaktionen (also einer Retrometamorphose) kommen. Gleichzeitig treten erste Erscheinungen einer Dynamometamorphose (Faltung, Fluidaltektonik) auf.

- Diapire (so wird ein Bereich genannt, in dem Material aus tieferen Schichten aufgestiegen ist), welche das Tirolikum durchspießen, werden von den in der höheren Unterkreide einsetzenden Deckenbewegungen miterfasst. Der vorher allseitig wirkende hydrostatische Druck wird nun durch gerichteten Druck ersetzt. Als Resultat wurden die diapirischen Salzaufbrüche teils ausgewalzt, zwischen Tirolikum und höheren Deckeneinheiten eingeschoben und teilweise an der Bruchlinie innerhalb der Decken oder an ihrer Stirn zu Salzstöcken hochgestaut. Dies führt im Salinar zu einer weiteren Intensivierung der Dynamometamorphose und einer neuerlichen Aktivierung der Lösungsmetamorphose.

- Mit dem Ende der en-bloc-Bewegung der Nördlichen Kalkalpen im Jungtertiär werden die zu Tage tretenden Salzgebirgsaufbrüche in den eiszeitlich vergletscherten Gebieten im Wesentlichen durch Erosion und Denudation der posthumen Lösungsmetamorphose (Salzhutbildung) beeinflusst.

Wie aus den vorherigen Punkten ersichtlich, gestaltet sich die genetische Zuordnung der heute vorliegenden Mineralparagenesen zu der einen oder anderen Phase und ihrer Rückführung auf die Primärausbildung als sehr problematisch, da meist ein Produkt mehrerer metamorpher Komponenten (MAYRHOFER1953) vorliegt.

Da aber der Existenzbereich der im alpinen Salinar auftretenden Mineralparagenesen zwischen 26 Grad Celsius bis 110 Grad Celsius liegt, ist so wie bei allen Salzgesteinen auch hier die Temperaturgrenze zwischen Diagenese und Metamorphose erheblich tiefer anzusetzen als bei den silikatischen Gesteinen.

Die Sekundärbildungen ostalpiner Salzgesteine

Wie vorher bereits ausgeführt waren die salinaren Präzipatgesteine den Auswirkungen des Lösungsumsatzes bei diagenetischen Vorgängen und noch stärker bei metamorphen Einflüssen ausgesetzt.

Sekundärbildungen des Steinsalzes
Aus dem Salzgehalt des in Wechsellagerung mit Kernsalz oder Haselgebirge sedimentierten Tonschlammes kristallisierten während seiner Verfestigung zu Schieferton Blättersalz und Tonwürfelsalz als typische diagenetische Bildungen aus.
Erst in später folgenden Phasen des Salzaufstieges und der deckentektonischen Bewegungen erfolgte die Ausfüllung von Spalten und Klüften innerhalb und im Grenzbereich der Salztonschichten im Weg des hydrothermalen Lösungsumsatzes mit körnigem Kluftsalz oder mit Fasersalz in mehreren Generationen.

Sekundärausbildungen des Anhydrits
Nach der heutigen erkennbaren Morphologie des Anhydrits lässt sich nach SCHAUBERGER (1986) nicht eindeutig feststellen, ob der Anhydrit der alpinen Salzlagerstätten primär sedimentiert geworden ist oder ob es sich um ein diagenetisches Produkt des Gipses handelt. Typisch für das Rotsalzgebirge der ostalpinen Salzlager ist eine Polyhalitisierung des Anhydrites (randliche oder von tonigen Zwischenlagen ausgehende mehr oder weniger vollständige Umwandlung). Diese Umsetzung in Polyhalit dürfte noch im unzerstörten Gesteinsverband (vor dem Eintreten der Fließtektonik) erfolgt sein.

Glauberitisierung des Anhydrits
Da der dunkelfleischrote Glauberit vom Polyhalit makroskopisch schwer unterscheidbar ist, oftmals aber in enger Verwachsung mit Polyhalit, Anhydrit und Blödit auftritt, dürfte die Glauberitisierung (SCHAUBERGER 1986) im *Rotsalzgebirge* verbreiteter sein, als es den Anschein hat. Seltener dagegen ist eine Blöditisierung des Anhydrits festzustellen.

Sekundärausbildung der Begleitsalze
Wie bereits zuvor bei der Bestimmung des Eindunstungsgrades durch den Bromtest beschrieben, entspricht der überwiegende Anteil des ostalpinen Salinars dem Eindunstungsstadium der mittleren bis oberen Anhydritregion. Das Vorhandensein höherer Eindunstungsgrade in metamorphisierten Restvorkommen von begrenzter Mächtigkeit und Verbreitung wird durch Funde von Langbeinit-Knollenhorizonten in den Salzbergen von Hall in Tirol und Hallstatt (SCHAUBERGER 1986) belegt. Es handelt sich um nicht mehr im Zusammenhang stehende, sondern fließtektonische, im Bändersalz zu Brockenfeldern aufgelöste Zwischenschichten. Im Ischler Salzberg entdeckte und bearbeitete ein solches Vorkommen MAYRHOFER (1955).

Bei der Anlage eines Dammschlitzes am Kaiser Leopold Horizont im Kirnbauer Werk, also im trockenen Aufschluss, fiel den Häuern eine härtere Brockenreihe aus kleiner werdenden lenti-kulär eingeregelten, lebhaft gelbrot gefärbten Einschlüssen in einem reichen, monoton schwarz gefärbten Kerngebirge (zum *Rotsalzgebirge* gehörig) auf. Der größte Brocken wurde herausgebrochen und untersucht (MAYRHOFER 1955). Der Kern dieser Knollen besteht aus erbsen- bis etwa nussgroßen Langbeinitkörnern von kollophonium- bis honigbrauner Farbe. Die Langbeinitindividuen sind unregelmäßig angeordnet und zeigen keinerlei Schichtungsmerkmale im Aggregat. Dazwischen ist regellos ziegelroter Halit und Kieserit eingestreut. Dieser Kern wird von einem weiß ausblühenden Magnesiumsulfatstreifen umgeben. An diesen weißen Streifen schließt eine wachsglänzende, weißlich- bis violettbraune teilweise grünstichige Rinde an, die nach den Analysen von MAYRHOFER (1955) aus einem Gemisch von Blödit, Epsomit und Kainit besteht. Hexahydrit $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ wurde in diesem Gemisch vermutet, konnte aber nicht mit Sicherheit bestätigt werden. Die äußere Rinde der Knolle wird aus einer Lage von Blödit ge-bildet. Langbeinit war in der Außenzone nicht mehr nachweisbar. Beim Nachweis von Kainit handelt es sich um den ersten Fund dieses Minerals im alpinen Salzgebirge (BORCHERT 1959 b).

Das Ausgangsprodukt dieser Paragenese ist ein Brockenzug von Kieserit, Halit und Langbeinit, wobei die ziegelroten Haliteinschlüsse auf ein bereits umgewandeltes Gestein schließen lassen. Durch die sorgfältigen Arbeiten von MAYRHOFER (1955) kommt BORCHERT (1959 b) ebenfalls zu dem Schluss, dass diese Mineralvergesellschaftung durch Zutritt einer Natriumchloridlauge mit einer Temperatur von etwa 40 bis 50 Grad Celsius gebildet worden sein muss, und sieht dieses Vorkommen als Beleg für eine rückläufige Stufenmetamorphose.

Auswirkungen der posthumen Lösungsmetamorphose
Hierbei handelt es sich um Einflüsse des Oberflächen- und Grundwassers in der Scheitelregion des Salzlagers sowie Grundwasserzutritt an den Salzstockflanken und dadurch hervorgerufene Auflösungs- und Umbildungserscheinungen. Typische Resultate sind grobspätige Rekristallisationszonen nahe der Salzgrenze sowie Hohlraumbildungen innerhalb von Anhydritschollen mit frei aufgewachsenen Halit- und Gipskristallen. Als in Sammlerkreisen bekanntes Beispiel sei hier der Kristallkeller in der Dunajewsky Schachtricht im Georgenberg Horizont des Salz-bergbaues Dürrnberg bei Hallein in Salzburg (STRASSER 1989) genannt. Dort war eine, zirka fünf Meter lange und bis zu eineinhalb Meter breite Kluft in einer Anhydritscholle mit Drusen von glashellen Halitkristallen mit Kantenlängen bis zu 25 Zentimetern ausgekleidet (SCHAUBERGER 1986). Oftmals waren in Steinsalzwürfeln ebenso glasklare Gipskristalle eingewachsen und durchspießten diese teilweise, dadurch ist auf eine zumindest zweiphasige Beschickung der Kluft mit Lösungen zu schließen. Die Gipshutbildung über den Salzstöcken ist ebenfalls der Verwitterung zuzuordnen.

In Folge des bis zu 75 Prozent betragenden Tonanteils des Haselgebirges tritt in alpinen Salzlagerstätten an Stelle des Gipshutes das sogenannte „Ausgelaugte“.

Dieses besteht aus einer gipsdurchsetzten Tonmasse mit charakteristisch rotbrauner Striemung, welches auch als „Lebergebirge“ bezeichnet wird. Im Normalfall ist dieses Gestein völlig salzfrei, jedoch konnten gelegentlich Restkörper von Steinsalz, welche durch Solerückstau (SCHAUBERGER 1986) vor der kompletten Mobilisation bewahrt wurden, angetroffen werden. Die meisten Salzgebirgsarten können auch im ausgelaugten Zustand durch die verbliebenen schwer- oder unlöslichen charakteristischen Bestandteile erkannt werden. Das *Rotsalzgebirge* beispielsweise an den verbliebenen Polyhalitkomponenten, das *Grüntongebirge* an den Pseudomorphosen von Gips nach Tonwürfelsalz, *Buntes Salztongebirge* an den Melaphyr- und Tuffiteinschlüssen und das stinkdolomitische *Grausalzgebirge* an anhydritisch-dolomitischen Schollen.

Die Tagoberfläche des „Ausgelaugten“ kann durch Sumpfwiesen mit üppigem Bewuchs von silikataffinen Pflanzen, so zum Beispiel von Zinnkraut (Equisetum arvense) oder Wollgras (Eriophorum) charakterisiert sein.

Die Dynamometamorphose und die ostalpinen Salzlager

Die kausalen Faktoren der salinaren Dynamometamorphose sind der Belastungsdruck des Deckgebirges und der im Zusammenhang mit deckentektonischen Vorgängen auftretende tangentiale Seitenschub. Bei ungestörtem Deckgebirge bewirkt der Belastungsdruck eine Verfestigung der klastischen Bestandteile des Salzlagers, einhergehend mit entsprechender Temperaturerhöhung können auch metamorphe Umbildungen auftreten, diese aber ohne mechanische Umformung des Salzlagers. Erst mit der erosiven oder tektonischen Entstehung von Schwächebereichen im Deckgebirge (vornehmlich im Bereich der "Hallstätter Kanäle") wurde der Salzaufstieg und damit die Bildung von Salzstöcken ermöglicht (SCHAUBERGER 1986).

Die Halokinese (Salzaufstieg)

Nach LACHMANN (1910, 1912) wird der Salzaufstieg durch isostatische Kräfte infolge des unterschiedlichen spezifischen Gewichtes von Steinsalz und Deckengebirge, nach STILLE (1924) durch tektonische Kräfte wie beispielsweise Seiten- und Belastungsdruck ausgelöst. HARBORT (1913) sieht den Grund der Halokinese aus einer Kombination der vorhergehenden Thesen. Der Unterschied des spezifischen Gewichtes des alpinen Salzgebirges ist (bedingt durch seine Zusammensetzung) zum Deckengebirge nur gering, weshalb SCHAUBERGER (1986) den tektonischen Kräften beim alpinen Salzaufstieg eine wesentlich bedeutendere Wirkung zuschreibt. Der Salzaufstieg ist ein auch heute noch andauernder Prozess und als Ursache der Bergstürze am Sandling und an der Zwerchwand zu sehen.

Die Fließtektonik

Schon bei geringer Druckbeanspruchung reagiert Steinsalz plastisch, es beginnt zu „fließen“. Der Vorgang erfolgt durch Translation der Teilchen nach bestimmten Gleitflächen, die bei Steinsalz nach dem Rhombendodekaeder ausgerichtet sind. Ebenso können schmale Tonzwischenlagen - wie im Bänder- und Liniensalz-als Translationsflächen wirken. Nach SCHAUBERGER (1986) erfuhren die Steinsalzschichten (als mobilster Bestandteil des Salzgebirges) eine enggestellte Isoklinalfaltung bis Kulissenfaltung, das heißt, eine Faltung in zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen, mit Spezialfaltung in den Faltenkernen. Am beweglichsten erweist sich das Bändersalz des *Rotsalzgebirges*, zurückzuführen auf seine Imprägnation mit sulfatischen Salzen. Dagegen zeigen Anhydritgesteine bei relativ hohem Druck noch ein vollkommen elastisches Verhalten. Der Grad der Plastizität richtet sich dabei nach dem Mengenverhältnis zwischen Salz-grundmasse und Toneinschlüssen, respektive nach dem Mächtigkeitsverhältnis zwischen Kern-salz- und Haselgebirgsschichten.

So können nach SCHAUBERGER (1986), der die salinaren Fließstrukturen eingehend studiert hat, schmale Haselgebirgszüge zwischen mächtigeren Kernsalzschichten unzerstört mitgefaltet sein, wogegen sich schmale Kernsalzzüge (die in einem mächtigen Haselgebirgskomplex ein-geschaltet sind) weniger plastisch verhalten haben als letztere und daher zerrissen wurden.
Nach der Bildungszeit und Bildungsweise differenziert SCHAUBERGER (1986) zwischen primärem und sekundärem (also rekristallisiertem) Steinsalz.

Abb. 7: Karte der Varianten des Projekts zum Bau eines Unterfahrungsstollen des Ischler Salzberges von Eduard Zierler, k. k. Steiger, 1882 mit geologischer Aufnahme. Archiv Salinen Austria.

Chemische Prinzipatsgesteine

<u>Steinsalz (Halit)</u> NaCl

- Zum primären Steinsalz werden die feinkörnigen bis körnigen (oft durch tonig-anhydritische oder alkalisulfatische Zwischenlagen geschichtet wirkende) Halite gerechnet. Der Salzbergmann bezeichnet diese Vorkommen als „Kernsalz“. Hierzu wird auch das Steinsalz, welches die Grundmasse des sogenannten „Kern-“ und „Haselgebir-ges“ bildet, gezählt.
- Zu den sekundären Steinsalzausbildungsformen (bei verschiedenen Bildungszeiten) werden Tonwürfelsalz, Blättersalz, Fasersalz und das grobkristalline Kluftsalz sowie die in Kavernen kristallisierten Steinsalzkristalle gerechnet. SCHAUBERGER (1986) unterschied primäres von sekundärem Steinsalz mittels kurzwelligem ultraviolettem Licht. Sekundärer Halit fluoresziert karminrot. REINOLD (1965) stellte bei sekundärem Halit einen größeren Kaliumgehalt bei wesentlich zurücktretendem Strontiumgehalt fest.

Liniensalz (primär)
Hierbei handelt es sich um ein weißes bis hellgraues, randlich manchmal rötlich gefärbtes Steinsalz mit zwei bis fünf Millimeter breiten parallelen tonanhydritischen lagenweisen Verunreinigungen mit einem Abstand von ein bis zwei Zentimetern im *Grüntongebirge*. Versuche zur Deutung dieser rhythmischen Ablagerung in den alpinen Salzbergen führten wegen starker fließtektonischer Verzerrung zu keinem brauchbaren Ergebnis.

Bändersalz (primär)
Hierbei handelt es sich um ein hellrötlich bis graubraun gefärbtes Steinsalz, welches schichtparallel von ein bis sechs Millimeter starken Lagen aus schwarzem Salzton in Abständen von fünf bis zehn Zentimetern regelmäßig durchzogen ist.
Bänke von Bändersalz sind oftmals von kleinen Knollen alkalisulfatischer Salze perlschnurartig durchsetzt. Wie beim Liniensalz können auch beim Bändersalz durch die fließtektonische Beanspruchung und die geringe Schichtmächtigkeit keine Rückschlüsse auf die Genese gemacht werden.

Salzaugen im Bändersalz (primär)
Salzaugen nennt man eigenartige Halit-Monokristalle, welche im Liniensalz wie auch im Bändersalz schichtweise eingeschlossen sind. Sie sind meist etwas dunkler gefärbt als ihre Grundmatrix, haben einen kugeligen bis ellipsoidähnlichen gestreckten Habitus bei einer variablen Größe zwischen fünf Millimetern und 30 Zentimetern.

Mit dieser Sonderform des Steinsalzes und dessen Genese haben sich zuerst AIGNER (1888) und zuletzt R. KÜHN und SCHAUBERGER (1959) genauer befasst. Die letztgenannten kamen zum Resultat, dass es sich bei den Salzaugen um mechanisch umgeformte und umgelagerte Relikte einer ursprünglich grobspätigen Salzart handeln muss. Diese These wird begründet durch den erhöhten Bromgehalt der Salzaugen gegenüber der umgebenden Salzmatrix (dies entspricht einem Steinsalz höheren Eindunstungsgrades), die Salzaugen zeigen keine Fluoreszenz im ultra-violetten Licht (SCHAUBERGER 1986). Die Kristallgefüge der Salzaugen sind unabhängig zur Grundmasse.

Abb. 8: Salzaugen, Horizont Blind II, Draxler Kehr, Ischler Salzberg.
Foto: P. Arthofer

Die raue Oberfläche sowie die leichte Lösbarkeit der Salzaugen aus der Matrix deuten auf eine Abrollung und Korrosion während eines Transportes und weisen auf ein Salzgeröll hin. Die Abfolge von augensalzfreien und augensalzhaltigen Straten erklären SCHAUBERGER und KÜHN (1959) durch einen sedimentären Wechsel. Demzufolge sind Salzaugen eine deszendente Bildung (allerdings nicht im ursprünglichen Sinn), da sie nicht aus einem chemischen, sondern vorwiegend physikalisch-mechanischen Prozess der Auflösung und des Wiederabsatzes entstanden sind.

Kristallsalz (sekundär)
GÖRGEY befasste sich bereits 1912 eingehend mit den Ausbildungsformen von Steinsalz in den alpinen Salzbergen. Als Kristallsalz werden nur klare Kristalle auf Klüften in Salzgesteinen oder Krusten am Boden von Laugentümpeln von Werken bezeichnet. Auch grobspätige durchsichtige Massen als Kluftausfüllung zählt GÖRGEY (1912) zu diesem Typus. Die aufgewachsenen Kristalle kommen durchwegs dort vor, wo konzentrierte Solelösungen über längeren Zeitraum langsam verdunsten können. Besonders groß und klar werden diese Kristalle in Hohlräumen salzhaltiger Gesteine. Die Kristallisation selbst ist meist nicht nach dem idealen Würfel, öfter kommen mehr oder weniger starke „Verzerrungen“ vor. Nicht selten zeigen die Neu-kristallisationen an den Ecken Abstumpfungen durch Oktaederflächen, an den Kristallkanten durch das Tetrakishexaeder (210). Auch Wachstumsfortsetzungen, die einem treppenförmigen Aufbau ähneln sowie kreuzförmige Ätzgruben an den Würfelflächen konnten beobachtet werden.

Abb. 9: Kristallsalz, Ischler Salzberg, Fund aus etwa 1970, Breite des Stückes 18 Zentimeter
Foto und Sammlung P. Arthofer

Tonwürfelsalz
Kissenförmig ausgebildete Steinsalzkristalle, die in den alpinen Salzbergen innerhalb von Tonhorizonten gefunden wurden, bezeichnet man als Tonwürfelsalz.

Bereits NÖGGERATH (1846) und HAIDINGER (1847) erwähnten diese eigentümliche Ausbildung des Salzes, wobei HAIDINGER (nach seinen Beobachtungen in Altaussee, Hallstatt und Hallein) diese Salzwürfel in einem „noch ziemlich weichen Ton“ eingewachsen fand, und annahm, die Deformation sei bei der diagenetischen Verfestigung des Sediments erfolgt. Ähnliche Gebilde wurden auch in den nichtalpinen deutschen Salzlagerstätten des Zechsteins (LINCK 1946, HAUSCHKE et. al. 2011) sowie weltweit in Salzlagerstätten unterschiedlichen Alters gefunden (HAUDE 1970, KENDALL 2000).

GÖRGEY befasste sich 1912 mit den Tonwürfelsalzkristallen. Er geht dabei näher auf die alten hierzulande gebräuchlichen Bezeichnungen für diese Varietät des Halits ein: „*In den alpinen Salzbergbauen wird diese Steinsalzvarietät mit Ausdrücken „Kropfsalz“ oder „Jodsalz“ bezeichnet; die Namen rühren daher, daß die Jodsalbe, mit welcher die Alpenländler den Kropf behandeln, dieselbe rötlich-gelbe Farbe zeigt, wie diese Steinsalzkrystalle.“*

Die tonwürfelsalzführenden Gesteine sind als im Haselgebirge eingeschlossene Blöcke oder als Schollen unterschiedlicher Größe zu beobachten. Ebenso konnten über größere Strecken ausgedehnte Tonhorizonte mit Tonwürfelsalz dokumentiert werden (SCHINDL-NEUMAYER 2004). Die Halit-Einzelindividuen liegen teilweise in der Schichtung, viele sind aber auch quer ange-ordnet. In der Würfeldrehlage der Kristalle ist keine statistische Bevorzugung zu erkennen.

Der Habitus des Salzes ist in seltenstem Fall wirklich würfelförmig, meist sind Quader vorherrschend.

Abb. 10: Oranges Tonwürfelsalz in einer Linse aus grauem Salzton in Situ.
Scheuchenstuhl Kehr, Maria Theresia Hauptschachtricht.
Breite der Linse 30 Zentimeter. Foto P. Arthofer

Ihre Größe ist verschieden, wobei aber relativ große Kristalle eher selten auftreten. Meist sind Individuen mit einem bis zweieinhalb Zentimetern maximaler Kantenlänge vertreten. Größere Einzelkristalle mit einer maximal größten Erstreckung von fünf Zentimetern bilden eher die Ausnahme.

Die Ecken der Individuen sind oftmals kissenförmig in die Länge gezogen, die Kanten zeigen gelegentlich kammartige Fortsätze. Die Würfelflächen sind zusätzlich konkav gekrümmt und stoßen in einem Winkel kleiner als 90 Grad zusammen.

Abb. 11: Tonwürfelsalz in grauem Salzton. Scheuchenstuhl Kehr, Maria Theresia Hauptschachtricht.
Sammlung und Foto P. Arthofer

Nach Winkelmessungen (SCHINDL-NEUMAYER 2004) sind an den (100)-Flächen der Würfel als durchschnittliche Winkel 35 Grad bis 82 Grad, in seltenem Falle 90 Grad angegeben worden. Die Spaltflächen der Kristalle zeigen oftmals mikroskopische Toneinschlüsse.

Die Begrenzungsflächen der deformierten Kristalle liegen auf Grund der abnormalen Form nicht zu den Spaltflächen parallel. Die Oberfläche des Tonwürfelsalzes ist häufig rau und wirkt oft angeätzt. Aus dem Ton isolierte Individuen sind vereinzelt glatt und rein. Die Grenzflächen sind in den seltensten Fällen eben. Die Färbung des Tonwürfelsalzes ist meist durch Eisenhydroxyde orangerot bis bräunlich. Sie scheint oftmals ungleichmäßig, wobei eine intensivere Färbung entlang von Toneinschlüssen beobachtet werden kann. Diese Farbverteilung erinnert an einen Verfärbungshof. Die Pigmentierung ist mehr oder weniger intensiv und reicht unterschiedlich weit von den Toneinlagerungen ausgehend in das Steinsalz. Es gibt auch fast farblos klare Würfel, die dennoch eine schwache Rotfärbung entlang der Tonlagen aufweisen. Es konnte festgestellt werden, dass homogen orange gefärbte Würfel meist nur in ihren Randpartien gefärbt sind, und den Anschein eines durchgängig gefärbten Individuums vortäuschen. LEITNER et al. (2010, 2013) publizierten zwei Thesen zur Genese der Tonwürfelsalzkristalle. Vermutet wird, dass die ursprüngliche Würfelform zu den aufgefundenen Symmetrieformen deformiert worden sind und nicht durch anisotropes Wachstum im Tonstein entstanden sind. Der Habitus des Ton-würfelsalzes begründet sich aus der zufälligen Orientierung der Würfel zur späteren Haupt-spannungsrichtung. Für diese These ist der Nachweis einer einheitlichen Deformationsrichtung unumgänglich. Im Tonstein sind oftmals Schichtflächen erhalten. Ist die Deformationsrichtung normal zur Schichtfläche orientiert, so handelt es sich sehr wahrscheinlich um eine Kom-paktionserscheinung durch sukzessive Versenkung und nicht um eine tektonische Deformation.

Abb. 12: Tonwürfelsalz verschiedener Ausbildung und Verzerrung aus dem grauem Salzton.
Scheuchenstuhl Kehr, Maria Theresia Hauptschachtricht. Bad Ischl. Sammlung und Foto P. Arthofer

Blättersalz
Als Blättersalz werden nach SCHAUBERGER (1986) millimeterdünne Beläge von faserigem bis feinkristallinem zumeist milchigweißen, selten auch bläulich bis violett gefärbtem Steinsalz von großer Reinheit (99,6 Prozent Natriumchlorid) auf Ablöseflächen bezeichnet. Es zeigt nach SCHINDL-NEUMAYER (2004) eine ausgeprägte Brekzienstruktur und besteht aus einer tonigen Grundmasse, welche in Stücke zerbrochen zu sein scheint. Die dabei entstandenen Fugen sind mit Blättersalz und anderen Kluftmineralen auskristallisiert. Das Blättersalz tritt nicht nur lokal begrenzt im Salzgebirge auf, sondern bildet als Blättersalzgebirge auch einen stratigraphisch abgrenzbaren Körper.

Spaltensalz: Kluftsalz und Fasersalz
Vorwiegend diagonal verlaufende Klüfte und Risse im Salzton werden durch Spaltensalz verfüllt. Hierbei lassen sich zwei Ausbildungsformen differenzieren: das Kluftsalz und das Fasersalz. GÖRGEY (1912) hat die Morphologie dieser Varietäten ausführlich studiert.

Kluftsalz
Hierbei handelt es sich um ein fein- bist grobkristallines rotbraunes Salz, welches aus Salz-,
,,lösungen, die entlang der Spalten im Salzton zirkulierten, auskristallisierte.

Fasersalz
Diese Ausbildungsform des Steinsalzes lässt sich leicht aus dem umgebenden Salzton herauslösen. Durch wechselnde Faserlängen und Faserdicken zwischen denen kein Zusammenhang zu bestehend scheint, sowie verschiedene Färbungen (weiße, gelbe, rote, blaue und violette Variationen wurden gefunden), ergibt sich eine große Variabilität dieser Salzart. Fasersalzausfüllungen in Salztonspalten bestehen in der Regel aus zwei Lagen, welche entweder an der Mittelnaht aneinanderstoßen, oder durch eine Lage von körnigem Kluftsalz voneinander getrennt sind. Dabei verlaufen die Fasern der beiden Lagen manchmal in zueinander entgegengesetzten Richtungen. Das Wachstum des Fasersalzes erfolgte nach SCHAUBERGER (1986) aus dem Salzton heraus, senkrecht zum Streichen der Spalte von beiden Seiten in diese hinein, wobei sich die Steinsalzfasern durch den Kristallisationsdruck selbst den nötigen Raum schafften. Die dabei erzielten Wachstumslängen betragen zwischen einem halben und sechs Zentimetern.

Abb.13: Oranges Fasersalz, Breite des Stückes zehn Zentimeter,
Riethaler Kehr, Maria Theresia Hauptschachtricht, Bad Ischl.
Sammlung und Foto P.Arthofer

Haarsalz
Haarsalz ist als eine rezente Ausbildung des Fasersalzes zu sehen (SCHAUBERGER1986). Diese Varietät „wächst“ aus dem Rückstandston der Haselgebirgsverlaugung (der Laist). Sie besteht aus wasserhellen feinen Fasern, zu Büscheln aggregiert, manchmal von beträchtlicher Länge bis zu zehn Zentimetern. Die Zusammensetzung dieser Fasern richtet sich nach dem Typ des ver.-laugten Gebirges. Sie bestehen entweder aus reinem Steinsalz, oder aus einer Mischung von Steinsalz mit Epsomit (Bittersalz). GÖRGEY (1912) begründet das Wachstum dieser Nadeln mit einem Lösungsnachschub aus den Poren der Unterlage her in die Einzelindividuen, wodurch die Haare im Laufe der Zeit verlängert werden.

Sintersalz und Tropfsalz
Hierbei handelt es sich ebenfalls um rezente Bildungen des Salzes, die an Austrittstellen der Sickersole in alte Grubenräume entstehen und eigentümlich blumenkohlartiges Sintersalz und stalaktitisches Tropfsalz bilden. Diese Aggregate aus Halitkristallen entstehen durch langsame Zufuhr der Sole (GÖRGEY 1912). Nachträgliche Lösungserscheinungen, die eine Rundung der Kristallkanten bewirken, können oftmals beobachtet werden.

Blaues bis violettes Kristallsalz, Fasersalz und Blättersalz
Über blaues und violettes Salz existiert eine enorme Fülle an Publikationen. Mitte der 1970-er Jahre waren bereits über 3.000 Arbeiten (KIRCHHEIMER 1976) publiziert worden. Die erste schriftliche Nachricht über blaues Steinsalz stammt aus dem Jahre 1665. Der Gelehrte und Jesuit ATHANASIUS KIRCHER (1601–1680) beschrieb ein „*sal gemmae*“, „*nunc violacei*“, ein verschieden violettes Salz zu Halstadt, also Hallstatt in Oberösterreich. Es kann also Hallstatt als „Typlokalität“ für diese Varietät angesehen werden. Die erste Erwähnung von blauem Blätter-salz aus Ischl stammt von ESTNER aus dem Jahre 1800.

Blaue oder violette Färbung kommt nur im grobspätigen Kristallsalz, im Fasersalz und im Blättersalz vor, niemals aber in frei aufgewachsenen Steinsalzkristallen oder im Kluftsalz. Verschiedene Forscher beschäftigten sich immer wieder mit dem Phänomen und Mysterium sowie der Problematik des Blausalzes innerhalb der Geowissenschaften. Die besonderen Eigenschaften des blauen Salzes (KIRCHHEIMER 1976 cum lit.) wurden seit der Mitte des 19. Jahrhunderts dokumentiert, beispielsweise das Verschwinden der Farbe beim feinsten Vermahlen. Wird dieses Pulver mit einer Flüssigkeit des gleichen Brechungsindex benetzt, so kehrt die blaue Farbe nicht wieder zurück. Löst man blaues Salz in Wasser, so bleibt die Lösung farblos, beim Erhitzen einer Probe über 200 Grad Celsius verschwindet die Färbung ebenfalls. Durch Laborversuche konnte die Entstehung der Blaufärbung durch radioaktive Strahlung nachgeahmt werden und man führte sie auf natürliche Aktivität zurück. Nach SCHAUBERGER (1986) enthält das blaue Steinsalz jedenfalls wesentlich mehr Helium als ungefärbter Halit. Der Kaliumgehalt des blauen Kristallsalzes wurde von REINOLD (1965) mit 0,1 - 0,36 Promille, jener des blauen Fasersalzes sogar mit 0,70 Promille bestimmt. Relevant bei der Wirkung des strahlenden Isotops ist die Dauer und die Intensität der Strahlung, ebenso Störungen des Kristallgitters durch Verunreinigungen und/oder durch Druck. Nach der allgemein anerkannten Hypothese der Existenz verschiedener Farbzentren (KIRCHHEIMER 1976), erklärt sich die Farbgebung durch Gitterbaufehler. Diese Fehler, wie sie bei jedem Kristall vorkommen, werden Farbzentren genannt. Ausgelöst durch energiereiche Bestrahlung wird von den vorhandenen Chlorionen jeweils ein Elektron abgespaltet. Diese freien Elektronen wandern auf Leerstellen innerhalb von Chlorionen und bilden Gitterbaufehler. Die entstehenden Farbzentren führen zur Absorbtion bestimmter Wellenlängen des sichtbaren Lichtspektrums und das Mineral zeigt dann die entsprechende resultierende Komplimentärfarbe. Je nach Anordnung der Farbzentren im Kristallgitter können bestimmte Farbwahrnehmungen hervorgerufen werden. Bis heute sind aber noch viele Fragen zur natürlichen Entstehung des blauen Salzes offen.

Im Kristallsalz erscheint die blaue Farbe entweder in Würfelform (PRZRIBRAM 1929) beziehungsweise schichtartig parallel zu den Würfelflächen oder in Streifen nach den Rhombendodekaederflächen, respektive als unregelmäßige, kristallographisch nicht begrenzte Farbflecken, manchmal mit farblosen Höfen (SCHAUBERGER 1986). Die Färbung schwankt zwischen hellblau bis schwarzblau, seltener geht sie ins Violette.
Das blaue und violette Faser- und Blättersalz ist ausschließlich an den Salzton gebunden. Es wäre also ein Überwiegen dieser Variante in den tonreicheren Salzlagerstätten zu erwarten. Im tonreichsten Salzberg von Hall in Tirol fehlt es jedoch ganz und im tonreichen Salzberg von Ischl ist es mit einem Anteil von nur etwa einem Prozent vertreten. Für dieses Faktum fehlt nach SCHAUBERGER (1986) jedoch eine Erklärung. Im Blättersalz ist die Blaufärbung immer gleichmäßig verteilt. Im Fasersalz tritt sie nur in ein bis drei Millimeter breiten und in ebensolchem Abstand von den Spaltenrändern parallel zu diesen verlaufenden Streifen auf.

Sulfatische und chloridische Begleitmineralien

Anhydrit $CaSO_4$
Nach dem Steinsalz im Salzlager von Ischl die am weitesten verbreitete Komponente, aber nicht mit gleicher Häufigkeit in den Salzgesteinen verteilt. SCHAUBERGER (1986) unterscheidet primärem und sekundärem Anhydrit. Untersuchungen von RUSCHA (1976) zeigten, dass sekun-därer Anhydrit (0,310 Prozent) gegenüber dem primären Anhydrit (0,108 Prozent) einen fast dreimal höheren Strontiumgehalt aufweist.

Anmerkung zu den Synonymen Karstenit und Muriazit
Immer wieder fallen der Durchsicht alter Sammlungsbestände Proben aus den alpinen Salzlagerstätten mit den Bezeichnungen Muriazit und Karstenit auf, wobei hier die Vielfalt der so bezeichneten Proben bemerkenswert ist.

- *MURIAZIT*: FICHTEL publizierte 1794 eine von NIKOLAUS PODA aus Graz entdeckte und mit dem Namen Muriazit (Muriacit) belegte neue Kalkart aus Hall in Tirol. PODA war im Glauben, dass dieses Mineral Salzsäure enthalte (FLÜGEL 2006). Bei den Salzarbeitern in Hall in Tirol wird dieses Mineral „*schuppiger Gypsstein*“ genannt….“*Außer seinen differierenden Bestandtheilen, unterscheidet er sich von dem Gypsstein noch weiter: erstens durch seine größere Härte: Zweytens durch seine vierseitigen rechtwinkeligen Schuppen oder Blätter, woraus er ganz und gar zusammengesetzt ist: und drittens durch seine viel schwerere Auflösung im Wasser, indem ein Theil davon 4300 Theile Wasser von mittlerer Temperatur erfordert.*“
- *KARSTENIT*: Diese Bezeichnung wurde von HAUSMANN (1813) zu Ehren von DIETRICH LUDWIG GUSTAV KARSTEN, Mineraloge am Bergbauinstitut Berlin, vergeben. HAUSMANN vereinte alle damals bereits beschriebenen Varietäten des Anhydrits unter dem Sammelbegriff „Karstenit“.

Primärer Anhydrit
Dieser steht noch im ursprünglichem, wenn auch fragmentiertem Schichtverband und tritt in zwei vorherrschenden Ausbildungsformen auf:
- eine dunkelgraue, feinkristalline, teils massig oder schichtig entwickelte Ausbildungsform als Charakteristikum des *Rotsalzgebirges*.
- eine Mischung mit Dolomit als Dolomitanhydrit bis Anhydritdolomit zu bezeichnenden Gesteins mit einem bis zu zweieinhalb Prozent ansteigenden Bitumengehalt (Stinkdolomit) als typischer Bestandteil des Grausalzgebirges.

Sekundärer Anhydrit
Hierbei handelt es sich um einen Anhydrit, der im Wege des Lösungsumsatzes rekristallisiert oder neu gebildet wurde. SCHAUBERGER (1986) verwendet für die sekundären Anhydrite den alten Namen MURIAZIT.
Sekundäranhydrit kommt als Produkt der Lagerstättenmetamorphose in verschiedenen Ausbildungen vor:

- In Form von farblosen bis schwarzbraunen tafeligen Kristallen in Paragenese mit di-versen sulfatischen Begleitsalzen.
- Als strahlige bis blättrige, weiß bis bräunlichrosa gefärbte Aggregate in bis zu faust-großen Knollen, eingelagert im Haselgebirge.
- als grobkristalline Kluftausfüllung im Dolomitanhydrit, milchigweiß, selten auch von blauer bis violetter Färbung, die Blaufärbung wird nach SCHAUBERGER (1986) ebenfalls auf Radioaktivität zurückgeführt.
- feinfaserig ausgebildet, als zwei bis zehn Millimeter breite Spaltenfüllung im Salzton.
- in massiger bis grobblockiger aber auch feinkristalliner Entwicklung als Produkt der metamorphen Rekristallisation primärgeschichteter Anhydritbänke.

Körneranhydrit, „Kieselanhydritischer Zug“
Aufschlüsse des weniger weit verbreiteten Kieselanhydrits (der nach SCHAUBERGER 1986 wegen seiner karstartigen Laugformen von den Bergleuten auch als "Karstenit" bezeichnet wird, siehe oben) finden sich im Lauffener Erbstollen zum Beispiel am rechten Ulm des Stollenmeters 530. RÄUSCHL definierte auf Wunsch von SCHAUBERGER (1986) diese Strate näher. Dieser Gesteinstyp findet sich ausschließlich im *Rotsalzgebirge*. Hierbei handelt es sich um graue, grobkörnige Züge, welche an der Übergangszone zum angrenzenden Haselgebirge rostbraun verfärbt sind. Die mittlere Korngröße beträgt etwa ein Millimeter, es konnten auch Komponenten bis einem Zentimeter Korngröße beobachtet werden. Bei genauerer Untersuchung lassen sich fließtektonische Strukturen erkennen, welche auf Zusammenhänge mit der Entstehung des *Rotsalzgebirges* schließen lassen. Unter dem Binokular ist eine körnige Struktur des Gesteins mit vielen Porenzwischenräumen erkennbar. Dieses Gefüge wird von RÄUSCHL (1986) als mögliche sekundäre Resedimentation gedeutet. Pyrit verfärbt durch Oxidation die Übergangszonen des kieselanhydritischen Zuges braun. Die Grundmasse besteht im Wesentlichen aus Anhydrit und Gips, untergeordnet Calzit, Magnesit in dunklen, abgeplatteten Körnern und partiell etwas Fasersalz. RÄUSCHL (1986) schlug für dieses Gestein die Bezeichnung *Körneranhydrit* in Bezug auf die Hauptkomponente vor.

<u>*Gips*</u> $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Gips ist ein Produkt der Hydratisierung des Anhydrits, kommt also nur dort vor, wo Wasser in die Salzlagerstätte eindringen konnte. Dabei handelt es sich um den Bereich der oberen Lagerstättengrenze (dem Ausgelaugten) der Salzstöcke. Der Gips der alpinen Salzlagerstätten ist also eine Sekundärbildung aus Anhydrit (derb bis feinkristallin aus primärem Anhydrit bei Erhaltung der Schichtung, oder aus sekundärem Anhydrit).
Ebenso wurden Gipskristalle aus Lösungen auf Klüften im Anhydrit bekannt, häufiger rezent als drusige Überzüge auf Anhydritschollen in den Laugwerken und im Betonbecken der ehemaligen Solestube beim früheren Besucherparkplatz nahe dem Leopold Stollen.
Analog dem bereits beschriebenen Fasersalz kommt auf Spalten im Salzton Fasergips vor, dieser jedoch ebenfalls nach SCHAUBERGER (1986) nur in der Nähe der Salzgrenze. Von den Salzarbeitern werden die Fasergipsvorkommen auch als „Finanzer“, also Zöllner, bezeichnet.
Im tagnahen und obertägigen ausgelaugten Salzton geben Pseudomorphosen von Gips nach Tonwürfelsalz einen deutlichen Hinweis auf anstehendes Salzgebirge in der Teufe.
Der Gips kommt kristallisiert farblos, durchsichtig, teilweise gelblich oder rötlich gefärbt vor. Der derbe massige Gips erscheint weiß, grau oder rötlich.

Abb. 13: Gips auf Anhydrit, rezente Bildung,
Breite des Stückes 14 Zentimeter, Fund aus etwa 1970.
Maria Theresia Hauptschachtricht, Bad Ischl, Sammlung und Foto P. Arthofer

Der Ischler Salzberg ist die Typlokalität des Polyhalits. STROMEYER erkannte als erster die Eigenständigkeit dieser Spezies und publizierte bereits 1818 die erste Analyse von diesem Mineral, die hier nach dem Original wiedergegeben werden soll.

„*Schliesslich nehme ich auch noch Veranlassung Ihnen Nachricht von einem wegen seiner Mischung sehr merkwürdigen neuen Fossilie zu geben, welches ich Polyhalit genannt habe. Dasselbe besteht nämlich meiner Analyse zufolge in hundert Theilen aus:*
28,74 wasserhaltigem schwefelsauren Kalk
22,36 wasserfreiem schwefelsauren Kalk
27,48 schwefelsaurem Kali
20,11 wasserfreier schwefelsaurer Talkerde
0,19 eingemengtem Steinsalze
0,52 Eisenoxyd
99,20
Dieses Fossil kommt in den Steinsalzflötzen zu Ischel in Oberösterreich vor, und ist bisher von den Mineralogen irriger Weise für Muriacit gehalten und unter der Benennung von fasrigem Muriacit als eine eigene Abänderung dieser Mineralsubstanz aufgeführt worden.“

Für den Polyhalit war eine Zeit lang auch die Bezeichnung Ischelit gebräuchlich. Obwohl der Polyhalit ein relativ häufiges Mineral der Salzlagestätten ist (AIGNER 1901), die Erstbeschreib-ung bereits lange zurückliegt, konnte die Struktur dieses Minerals erst 1970 in Wien (SCHLATTI et. al) geklärt werden. Der Grund dafür liegt in der Seltenheit von Kristallen, ihre anscheinend ausnahmslose Verzwilligung und ausgeprägte Pseudosymmetrien, welche die Bearbeitung beträchtlich erschwert haben.
Durch seine fleisch- bis ziegelrote Färbung ist der Polyhalit ein auffälliges Mineral der alpinen Salzlagerstätten. Im *Rotsalzgebirge* ist eine Polyhalitisierung des Anhydrits eine typische Erscheinung.

Dies bedeutet eine randliche oder von tonigen Zwischenlagen ausgehende mehr oder weniger vollständige Umwandlung des Anhydrits in Polyhalit. Nach SCHAUBERGER (1986) dürfte die Umwandlung des primär geschichteten Anhydrits noch im ungestörten Gesteinsverband, also in Situ vor der fließtektonischen Phase erfolgt sein. GÖRGEY (1910) differenzierte in seiner Arbeit drei verschiedene Ausbildungsformen für Polyhalit:

- feinfaserige, stängelige oder blättrige Massen von rötlichgelber bis dunkelfleischroter Färbung. Diese Varietät des Polyhalit bildet flache, bis zu 20 Zentimeter dicke Lagen im Haselgebirge oftmals über mehrere Quadratmeter erstreckend. Diesen Typ sieht SCHAUBERGER (1986) als eindeutig sekundär, analog dem Fasersalz, entstanden aus auf Klüften im Salzton zirkulierenden Kalium- Magnesium- Laugen.
- Als sehr harte, fein bis mittelkörnige Aggregate, gelbbraun bis dunkelrot gefärbt. Dieser Polyhalittyp ist dem dichten Anhydrit sehr ähnlich und wurde früher mit diesem verwechselt. Er bildet – vergesellschaftet mit Anhydrit – Blöcke von teilweise großen Dimensionen im Haselgebirge.
- Im Dünnschliff in fasriger, stängeliger oder körniger Ausbildung, Anhydritkristalle umsäumend.

Im Lauffener Erbstollen konnte GÖRGEY (1910) wasserhelle bis weiße Polyhalitkristalle in einem Salzgestein mit Anhydrit, Glauberit, Halit und Schwefel nachweisen.

Abb. 14: Polyhalitlinse in situ, im Bild: DI Th. LEITNER, Salinen Austria.
Horizont Blind II, Draxler Kehr, Ischler Salzberg. Foto P. Arthofer

Untergeordnete salinare Begleitmineralien des Ischler Salzberges

Kainit $KMg(SO_4)Cl \cdot 3H_2O$

Dieses Mineral ist an der Luft ziemlich beständig und überzieht sich bei längerem Verbleib am Tage mit einer weißen Kruste durch teilweise Abgabe des Kristallwassers. Frisches Material ist farblos bis milchig gelb, rot, grau und selten bläulich gefärbt. Die Phase ist leicht wasserlöslich. Hierbei handelt es sich um eine ausschließlich sekundäre Bildung. Dieses Mineral wurde von MAYRHOFER (1955) im Zuge von Beprobungen im Kirnbauer Werk im Kaiser Leopold Horizont in Paragenese mit Langbeinit erstmals in Ischl entdeckt. Auf diese Paragenese wurde bereits im Text eingegangen.

Thénardit Na_2SO_4
Thénardit ist wasserfreies Natriumsulfat von weißer Farbe. Es kommen (bedingt durch verschiedene Spurenelemente) auch gelblich oder bräunlich gefärbte Kristalle beziehungsweise Kristallaggregate vor. Das Mineral ist wasserlöslich und hygroskopisch. Interessant ist auch das Verhalten im ultravioletten Licht. Bei 254 Nanometern, (kurzwelliges UV) zeigt er eine weiße, und unter 366 Nanometer (langwelliges UV) eine gelbgrüne Fluoreszenz. Thénardit wird aus wasserhaltigen Natriumsalzen wie beispielsweise Mirabilit (hier handelt es sich um das Dekahydrat des Thénardit) durch Dehydration, also unter ariden Bedingungen (hierzu gehören auch Mineraliensammlungen!) gebildet. Eine Entstehung aus ähnlichen Phasen – wie zum Beispiel Glauberit oder Blödit – ist ebenfalls möglich.

Mirabilit $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$
Dieses Mineral ist aufgrund seiner Zusammensetzung äußerst unbeständig und reagiert besonders empfindlich auf Temperaturschwankungen und Änderung der Luftfeuchtigkeit. Mirabilit ist sehr leicht in Wasser löslich.

Der Name Mirabilit geht auf den lateinischen Begriff „*sal mirabilis*“ (dies bedeutet wunderbares oder erstaunliches Salz) (GLAUBER 1659) zurück. GLAUBER (1604 - 1670) wählte diese Bezeichnung, als er 1626 bei der Analyse von Mineralwasser ein neues Salz mit abführender Wirkung entdeckte. Die oftmals glasklaren, meist kurzprismatischen hochglänzenden Kristalle und Kristallaggregate (bis zu etwa fünf Zentimeter Größe) oder klare Kristallrasen auf verschiedenen Salinargesteinen (es handelt sich hierbei also um eine rezente sekundäre Bildung) verlieren teilweise schon nach wenigen Minuten ihr Kristallwasser, trocknen aus und bilden mattweißen Thénardit. Bei zu hoher Luftfeuchtigkeit hingegen zerfließen diese Kristalle im Probenbehälter. Die Umgebungstemperatur beeinflusst ebenfalls die Stabilität des Mirabilits.

Hexahydrit (Hexahydrat) $MgSO_4 \cdot 6H_2O$
Dieses stark wasserhaltige Sulfat des Magnesiums aus dem Kaiser Leopold Horizont wurde von MAYRHOFER (1955) als mögliche Komponente weißer bis gelblicher Krusten um Langbeinitknollen publiziert. Das Vorkommen ist jedoch nicht gesichert. Weitere Details hierzu im Abschnitt über den Aufschluss im Kirnbauer Werk.

Abb. 15: Epsomit in Situ. Bildbreite zehn Zentimeter, Riethaler Kehr, Maria Theresia Horizont, Bad Ischl. Foto P. Arthofer

Epsomit $MgSO_4 \cdot 7H_2O$
Früher war für das Mineral Epsomit im alpinen Salzbergbau auch die Bezeichnung „Bittersalz“ (wegen seines bitter-laugigen Geschmackes) üblich. Bittersalz ist ein Sammelbegriff für Reichardit, Eisen-Epsomit sowie „Grünes Bittersalz“ (für eine ebenfalls eisenhaltige Varietät). „Eisen - Epsomit“ ist teilweise intensiv gelbgrün bis hellgrün gefärbt.

An der Luft verliert der Epsomit einen Teil seines hohen Kristallwassergehaltes und wird weiß. Epsomit ist in Wasser sehr leicht löslich. SCHAUBERGER (1986) gibt für dieses Mineral einen Schmelzpunkt von 13 - 48,3 Grad Celsius je nach chemischer Zusammensetzung an, es ist also auch ein Schmelzen des Minerals bei Raumtemperatur nicht ausgeschlossen. Epsomit ist eine sekundäre Bildung aus gelösten magnesiumhaltigen Phasen und kann auf verschiedensten Materialien wie Grubenholz, Werkslaist sowie an den Strecken im Salzberg auskristallisieren.

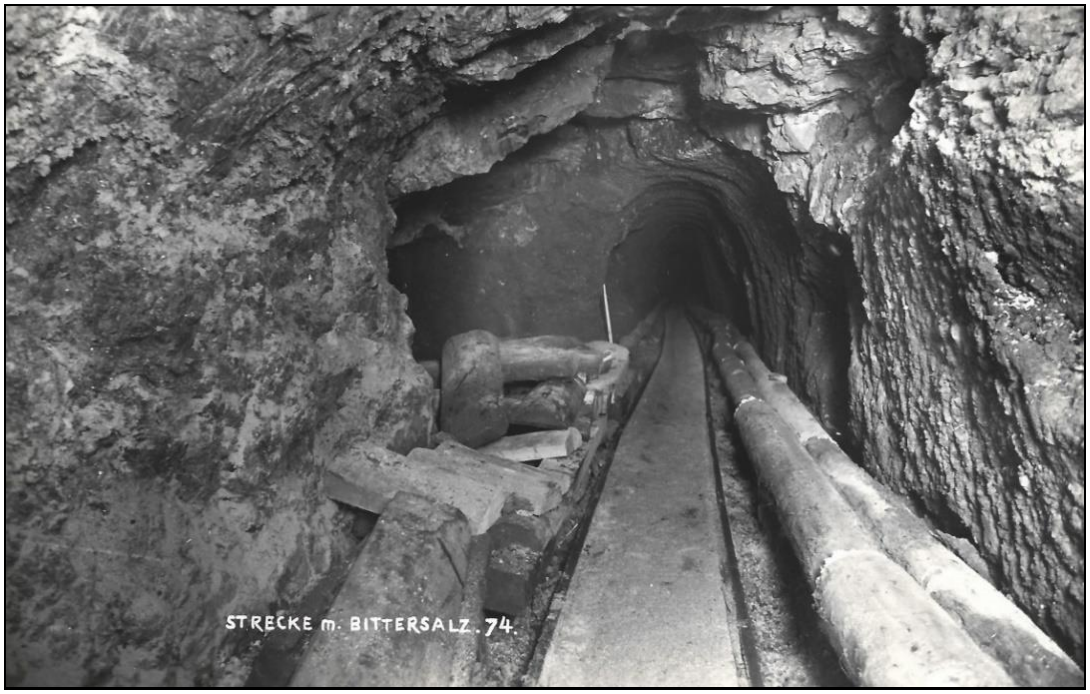

Abb. 16: Strecke mit Bittersalz (Epsomit). Salzbergbau Ischl.
Postkarte mit dem Stempel des Salzbergführers Josef Hütter auf der Rückseite, um etwa 1935.
Archiv der Verfasser.

Glauberit $Na_2Ca(SO_4)_2$
Rein ist diese Phase an der normalen Raumluft beständig, es bildet sich langsam ein weißer, sulfathaltiger Überzug. In Wasser ist dieses Mineral bei 20 Grad Celsius sehr langsam unter Gipsabscheidung löslich. Bei feuchtem Wetter in den Stollen zerfällt der Glauberit in Mirabilit und Gips gemäß folgender Gleichung:
$Na_2Ca(SO_4)_2$ (Glauberit) + 12 H_2O (Wasser) = $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ (Mirabilit) + $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (Gips)
Früher wurden Glauberitfunde aus Ischl häufig mit Polyhalit verwechselt. OCHSENIUS publi-zierte in seinem Hauptwerk 1877 eine chemische Analyse von Glauberit aus Ischl. Die unter-suchte Probe enthielt 57,52 Prozent Schwefelsäure, 20,37 Prozent Kalkerde, 21,87 Prozent Natrium und 0,31 Prozent Chlor. VAN'T HOFF beschäftigte sich 1909 mit diesem Mineral, seiner Bildung und seinen Zersetzungsprodukten.

GÖRGEY (1910, 1910a, 1913) beschreibt aus dem Ischler Salzlager einige Varianten des Glauberits.

- In dichten, feinkörnigen, dunkelrotbraunen Massen, sehr ähnlich dem feinkörnigen Polyhalit.
- In durchscheinenden bis durchsichtigen bis zehn Millimetern großen Kristallen von gelbroter Farbe in blättrig-stängeligem Polyhalit eingewachsen.
- In weißen oder grauen, durchscheinenden Partien zusammen mit Polyhalit, Steinsalz und Schwefel im Kaiser Franz Josef Erbstollen.

Im Bereich der Austrittsstelle der Schwefelwasserstoffquelle im Kaiser Franz Josef Erbstollen konnten rezente Kristallaggregate von Glauberit dokumentiert werden, welche in Umwandlung zu Gips begriffen oder bereits vollständig umgewandelt waren. Begleiter in diesem Bereich sind Gipskristalle von unterschiedlichem Habitus.

Abb. 17: Glauberitkristallaggregate bis zirka drei Zentimeter an der Firste und Gipskristallrasen, flächig am Ulm in situ. Schwefelwasserstoffquelle, Erbstollenhorizont, Bad Ischl, Foto P. Arthofer

Vanthoffit $Na_6Mg(SO_4)_4$
Dieses in Wasser ziemlich leicht lösliche Natrium-Magnesiumsulfat bildet an feuchter Luft einen dünnen, weißen Überzug. Der Vanthoffit wurde durch VAN'T HOFF (1905) in Bezug auf seine Entstehung und Paragenesen zusammengefasst. Am Ischler Salzberg beschrieb GÖRGEY (1910, 1913) dieses sehr seltene Mineral in kleinen, wasserhellen Körnern in Paragenese mit Löweit in rötlichgelbem, feinkörnigem Blödit.

Blödit $Na_2Mg(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$ (**Typlokalität Ischler Salzberg**)
Das wasserhaltige Natrium-Magnesiumsulfat ist in der Raumluft ziemlich beständig und überzieht sich teilweise, bedingt durch Verunreinigungen mit einer weißen Kruste. Die Farbe der Kristalle variiert durch den Einbau von verschiedenen Spurenelementen (beispielsweise färbt Eisen den „Simonyit" grün). Diese Mineralphase ist wasserlöslich.
Die erste Erwähnung des eigenständigen Minerals Blödit erfolgte durch JOHN in Jahre 1821. Seitdem gilt die Gersdorff Wehr des Ischler Salzberges als Typlokalität.

Diese Spezies wurde nach seiner Entdeckung mit verschiedensten Namen wie Astrakanit und Simonyit belegt, bis schließlich 1987 der richtige, alte Name Blödit wiedereingeführt wurde und seither international verbindlich zu verwenden ist. Mit der sehr interessanten Geschichte der Nomenklatur befasste sich REITER (1996). Chemische Analysen des Blödits, in orangegelben Körnern eingewachsen in Anhydrit und teilweise in Paragenese mit Löweit publizierte HAUER (1857).
GÖRGEY beschrieb 1910 die Blöditfunde der alpinen Salzlagerstätten. Wegen der verschiedenen Ausbildungsformen des Minerals, die nicht an ein Salzvorkommen gebunden sind, soll hier die Mineralbeschreibung wiedergegeben werden.

„Dieses Mineral ist von den leicht wasserlöslichen Sulfaten weitaus das häufigste und am besten bekannte; es ist aus allen fünf Salinen beschrieben worden. Ausgezeichnete Krystalle sind aus Hallstatt bekannt, kleine konnten am Dürnberg bei Hallein beim Pflanzmanndurchschlag (Jakobberg Horizont) auf einem Gesteine bestehend aus Polyhalit, Blödit, Anhydrit und Stein-salz gefunden werden. Gewöhnlich bildet der Blödit gelbliche oder rötliche, feinkörnige Massen, oft von nicht unbedeutender Mächtigkeit. Auch hellgelbe, faserige Aggregate sind nicht selten z.B. in Hallstatt im Kaiser Franz Josef Stollen. Ein eigentümliches Blöditvorkommen tritt nicht selten in Hallstatt auf (Christina Horizont, Kolowratkehr; Kaiser Franz Josef Stollen, etc.):
intensiv grüne, durchscheinende Partien zusammenvorkommend mit zahllosen schmalen Leisten von Anhydrit und rötlichem Steinsalz. Die Bergleute nennen diese Varietät „Simonyit“. Bis-weilen finden sich mächtige Einlagerungen von grobspätigen Anhydrit mit gelblichen Blödit als Verkittungsmasse der einzelnen Krystallindividuen; ein Beispiel dafür sind die Anhydritgesteine auf der Rosenfeldkehr (Kaiser Leopold Horizont); hier zeigt das Gestein eine eigentümliche kaffeebraune Farbe.“ Nach AIGNER (1902) werden Begleitsalze des Magnesiums vom Salz-bergmann „Teufelswerk“ genannt.

Abb. 18: Langbeinitknolle im Haselgebirge. Beim mittleren dunklen Streifen handelt es sich um Langbeinit (dunkelbraun), Mangnesiumsulfate wie eisenhaltigem Epsomit (olivgrün) und Blödit (sattgrün), umgeben von einem Saum aus Kainit. Horizont Blind II, Südquerschlag 1/II Ischler Salzberg. Foto P. Arthofer

Löweit $Na_{12}Mg_7(SO_4)_{13} \cdot 15H_2O$ **(Typlokalität Ischler Salzberg)**
Der Löweit überzieht sich an der Luft langsam mit einem weißen Überzug, ist allerdings ziem-lich beständig. Dieses sekundäre, mit anderen Sulfaten verwachsene Mineral ist in Wasser leicht löslich. Nach GÖRGEY (1910) von oranger bis orangegelber Färbung, unter anderem in Para-genese mit Blödit vorkommend.

Der Ischler Salzberg ist auch die Typlokalität des wasserhaltigen Natrium-Magnesiumsulfates Löweit. HAIDINGER publizierte erstmals 1846 den Löweit als eine neue Spezies der Salze. Der Mineralname Löweit (zu Ehren von Alexander LÖWE, Chemiker und späterem Direktor der Wiener Porzellanmanufaktur) wurde gleich nach der Auffindung des neuen Minerals in der Gersdorff Wehr des Ischler Salzberges bei Perneck durch den damaligen Bergmeister SCHWIND verwendet und von HAIDINGER (1846) als Bezeichnung dieses Minerals übernom-men, nachdem die Eigenständigkeit bewiesen war.

HAIDINGER (1846) gibt zum Löweit unter anderem folgende Analyse an und beschreibt das Mineral wie folgt:

Wasser	15,104
Schwefelsäure	51,547
Talkerde	13,008
Natron	19,681
Eisenoxyd und Thonerde	0,660
Mangan	Spuren
---	---
	100,000

„Leider sind bis jetzt noch keine Krystalle gefunden worden, sondern das schöne, röthlichgelbe, stark durchscheinende Salz ist mit röthlichgrauem, grobkörnigem Anhydrit gemengt und verwachsen, und scheidet sich nur von demselben in mehreren zollgrossen reineren Partien aus, die zum Theil aus einzelnen Individuen bestehen, wie dies sich vorzüglich aus der optischen Untersuchung ergibt. Sie sind, ziemlich in der Richtung der Theilungsflächen, von Sprüngen durchzogen, die zur Aufsuchung derselben als Wegweiser dienen. Die Bildungsverhältnisse des Anhydrits und des Löweits waren also genau dieselben, oder sie können als gleichzeitig gebildet betrachtet werden. Die allgemeine Ähnlichkeit des Löweits in Farbe, Glanz und Grad der Durchsichtigkeit und Bruch mit manchen Varietäten von Feueropal verdient bemerkt zu werden.“

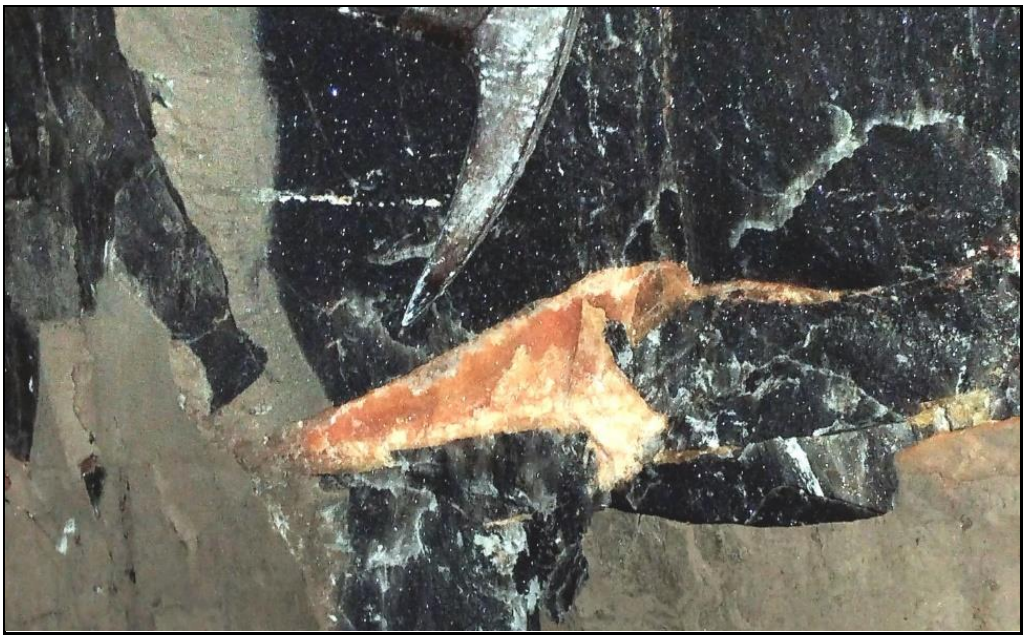

Abb. 19: Löweit, orangerot als Kluftfüllung im Anhydrit.
Horizont Blind II, Südquerschlag II, Ischler Salzberg. Foto P. Arthofer

Görgeyit $K_2Ca_5(SO_4)_6 \cdot H_2O$(**Typlokalität Ischler Salzberg)**
Dieses Kalium-Calzium-Sulfat mit geringem Wassergehalt wurde von MAYRHOFER (1953) als neues Mineral beschrieben. Dieses Sulfat ist an der Luft beständig und selbst nach Kochen im Wasser tritt nur eine geringe Oberflächenätzung ein.
Im Zuge von petrographischen Reihenuntersuchungen wurde diese Phase durch MAYRHOFER entdeckt. Das Muttergestein ist ein tombakfarbener (MAYRHOFER 1953), schwach polyhalitisierter, von Halitgängen durchtrümmerter Glauberit. Auf einigen Proben, welche nach einigen Tagen an der Luft ein schwaches Korrosionsrelief zeigten, fielen einzelne meist leistenförmige Kristallquerschnitte und Kristallanhäufungen auf. Im frischen Anbruch unterscheidet sich das Mineral kaum von der Matrix. Görgeyit kristallisiert in monoklinen, flächenarmen, rautenähnlichen dünnen Täfelchen. Diese haben Glasglanz und sind farblos bis gelblich gefärbt. Die Härte entspricht etwa dem des Anhydrit. Die Proben stammen aus dem Leopold Horizont. Der Be-reich stellt ein extrem tektonisiertes Haselgebirgsvorkommen dar (MAYRHOFER 1953, 1954). Der Fundpunkt beschränkte sich auf einen kleinen Bereich eines kieselanhydritischen Kerngebirges (MAYRHOFER 1953), welcher durch seinen Gehalt an schwer- und wasserunlöslichen Einschlüssen einen besonderen akzessorischen Mineralinhalt mit viel Karbonat, Quarz, Pyrit, Muskovit gekennzeichnet ist. Die Proben, welche Görgeyit enthalten, wurden in bis kinderkopf-großen Glauberitbrocken, die am Rand von einer dünnen Tonschicht umgeben waren, aufge-funden. Dieses Muttergestein des Görgeyit besteht im Wesentlichen aus etwa 80 Prozent Glau-berit, 10 Prozent Natriumchlorid und 10 Prozent Polyhalit.

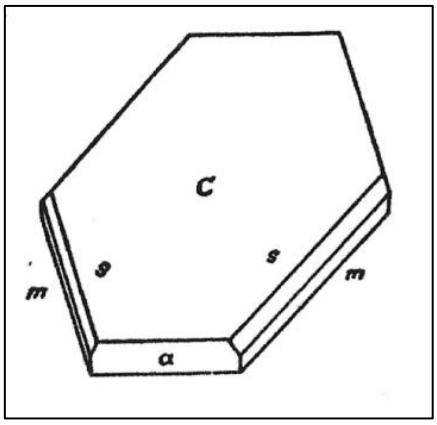

Abb. 20: Kristallzeichnung GÖRGEYIT, Leopold Hauptschachtricht, Bad Ischl, aus MAYRHOFER (1953)

Langbeinit $K_2Mg_2(SO_4)_3$
Diese Phase ist an der Luft ziemlich beständig und überzieht sich bei längerem Verbleib am Tage mit einer weißen Kruste von Pikromerit. Hierbei handelt es sich um eine ausschließlich sekundäre Bildung. Frisches Probematerial ist farblos-durchscheinend, gelblich, rötlich-violett bis grünlichgrau gefärbt. Die Phase ist in Wasser oberhalb von 61 Grad Celsius langsam löslich. Dieses Mineral wurde von MAYRHOFER (1955) im Zuge von Beprobungen im Kirnbauer Werk im Kaiser Leopold Horizont in kolophonium- bis honigbraunen Aggregaten erstmals in Ischl entdeckt. Auf die Paragenese wird später eingegangen.

Pikromerit (Schönit) $K_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$
Dieses wasserhaltige Kalium-Magnesium-Sulfat ist an der Luft ziemlich beständig und bildet im Laufe der Zeit einen mehligen Überzug. Frisches Material ist farblos bis weiß oder gelblich grau gefärbt. In Wasser erfolgt die Auflösung inkongruent. Den Schmelzpunkt dieser Phase gibt SCHAUBERGER (1986) mit 19 bis 46 Grad Celsius, je nach Reinheit der Verbindung an. Es ist also ein Schmelzen des Minerals bereits bei Raumtemperatur möglich. SCHAUBERGER (1986) gibt Pikromerit in Form weißer Krusten als Zersetzungsprodukt von Langbeinit an.

Hexahydrat vom Kaiser Franz Josef Erbstollen
Am rechten Ulm des Kaiser Franz Josef Erbstollens bei Stollenmeter 760 im *Rotsalzgebirge* des Vorhauptlagers konnte RÄUSCHL (1986) eine linsenförmige Einschaltung mit Epsomitkern und Polyhalitmantel auffinden. In der Übergangszone zwischen Mantel und Kern, speziell im mittleren und oberen Bereich, war eine blassgrüne Zone erkennbar. Unter Tage wurde diese Phase zuerst für Blödit angesehen, erwies sich jedoch später als ein völlig neues Hexahydrat. Das (zumindest aus damaliger Sicht) neue Hexahydrat kam in stängeligen, monoklinen Kristallen von blassgrüner Farbe vor. Auch konnten Zwillingsbildungen festgestellt werden. Im Zuge der Arbeit von RÄUSCHL (1986) wurden von diesem Mineral polarisationsoptische Daten, eine röntgenographische Untersuchung, eine Fluoreszenzanalyse und die chemische Zusammensetzung bestimmt. Weitere spätere Arbeiten zu dieser Phase sind den Verfassern nicht bekannt. Heute liegt der Bereich dieser Linse hinter einer Verschalung.

Semisalinare und nichtsalinare Begleitminerale

Eruptivgesteine Melaphyr und Tuffit
Basische Eruptivgesteine kommen im alpinen Salinar an verschiedenen Fundpunkten vor. Sichere Nachweise innerhalb der Salzlagerstätten konnten jedoch nur in Bad Ischl und Hallstatt erbracht werden. JOHN publiziert in seiner Arbeit „Über Eruptivgesteine aus dem Salzkammer-gut“ 1899 ein Gabbrogestein mit der Fundortangabe „Steinberg“ am Ischler Salzberg, welches MOJSISOVCZ (1868) geborgen hat. Der Steinbergstollen war aber zu dieser Zeit nicht mehr fahrbar.
Darum muss es sich nach SCHAUBERGER (1960) um einen obertägigen Fund gehandelt haben. Im Zuge geologischer Kartierungen im Ischler Salzberg gelang es SCHAUBERGER 1958 ein Eruptivgestein im Lauffener Vorhauptlager (welches nach LOBITZER et al. 2023 eine Tiefenfortsetzung des Steinberglagers darstellt) innerhalb der Lagerstätte selbst aufzufinden. An dieser Stelle sollen die wichtigsten später getätigten Melaphyrfundpunkte nach SCHAUBERGER (1960) und BREUER (1971) beschrieben werden. Die ersten drei genannten Fundpunkte befinden sich im Anhydrithut, die zwei weiteren Punkte sind in der Salzlagerstätte positioniert.

- Im Kaiser Franz Josef Erbstollen konnte beim Stollenmeter 875 am linken Ulm ein Einschluss in der Größe eines Hühnereies, in einem feinkristallinen, hellbläulichgrauem Anhydrit, begleitet von Brocken aus Dolomit, Schiefertonen und Sandstein gesichert werden. Diese Probe (SCHAUBERGER 1960) wurde petrographisch untersucht. Es handelt sich um einen körnigen, intrusiven Diabas mit stark umgewandelten Mineralbestand. Die ursprünglichen Komponenten waren Pyroxen, Feldspat, Titanomagnetit und Biotit. Der Pyroxen ist uralitisiert und faserig geworden. Der Feldspatbestand ist total pseudomorphisiert und besteht jetzt aus feinkristallinen Aggregaten eines hochdoppelbrechen-den Minerals, nach SCHAUBERGER (1960) wahrscheinlich Serizit oder Lawsonit. Der Titanomagnetit ist zum großen Teil in Leukoxen umgewandelt und weitgehend ent-mischt. Einzelne Nester von Biotit sind als Spots im körnigen Gesteinsgefüge erhalten geblieben.
- Im Kaiser Franz Josef Erbstollen, bei Stollenmeter 943 am rechten und bei Stollenmeter 944 am linken Ulm konnten ebenfalls nuss- bis hühnereigroße Einschlüsse im Anhydrit, ähnlich gelagert wie bei Laufmeter 875 dokumentiert werden.
- Im Kaiser Franz Josef Erbstollen, südlicher Untersuchungsquerschlag, bei Stollenmeter 170 als Einschlüsse im Anhydrit, gelagert wie beim Erbstollenlaufmeter 875.
- Innerhalb des Salzlagers im nördlichen Untersuchungsquerschlag des Kaiser Franz Josef Erbstollen bei Stollenmeter 107 als Einschlüsse im „Kieseldolomitischen Kerngebirge“, also einer Strate vom schmutzigweißem Steinsalz mit Brockenzügen und Schlieren aus quarzreichem Anhydrit und Dolomit. Auch dieser Melaphyr wurde einer näheren petrographischen Bearbeitung zugeführt.

Es handelt sich um dasselbe Gestein wie im vom ersten genannten Fundpunkt beschrieben, der Mineralbestand ist annähernd ident. Das Gefüge ist jedoch hier wesentlich feinkörniger. Diese Proben enthalten auch größere, rundliche Erzkörner welche jedoch damals nicht mitbestimmt wurden.

- Später gelang nach BREUER (1971) der bisher größte Melaphyrfund im Ischler Salzberg in Form eines fast ein Meter großen Blockes im Mitterauer Werk am Maria Theresia Horizont.

In der nördlichen Untersuchungsstrecke des Kaiser Franz Josef Erbstollens bei Stollenlaufmeter 100,25 bis 100,75 trifft die Strecke in einem Zug von kieseldolomitischem Kerngebirge auf eine schmale querende Lage eines hellgrünen, tonigen, zu Brocken aufgelösten Gesteins. Diese gleicht vollkommen einem aus dem Hallstätter Salzberg beschriebenen Tuffit (ZIRKL 1957).
Im Lauffener Erbstollen ist bei Stollenmeter 911,25 bis 911,75 und 922 bis 933 an der Firste ein fahlgrünes splittrig brechendes Tongestein mit eingesprengten Kristallen von Pyrit und Hämatit aufgeschlossen, bei dem es sich ebenfalls um einen Tuffit handelt. Auch im Trauntaler Salzlager wurden in einigen Bohrungen Einschaltungen von Grünton angetroffen, welche nach SCHAUBERGER (1960) ebenfalls Tuffit-verdächtig waren.

Schwefel S
GÖRGEY erwähnt 1912 Schwefel aus dem Kaiser Franz Josef Erbstollen. SCHAUBERGER führt 1986 kleine Schwefelanflüge auf rekristallisiertem massigem Anhydrit aus demselben Stollen an. Mit DI LEITNER konnten die Verfasser bei Stollenmeter 935 am linken Ulm auf Harnisch-flächen im massigen Anhydrit kleine Schwefelaggregate und Anflüge dieses Minerals doku-mentieren. Ebenso entdeckte DI LEITNER jüngst bei einer Befahrung am Stollenmeter 240 des Kaiser Franz Josef Erbstollen ein weiteres Vorkommen von Schwefel.

Antimonit (Antimonglanz) Sb_2S_3
SCHAUBERGER (1986) beschreibt Antimonit in Paragenese mit Pyrit aus einem hellgrauen Mergel an der Grenze zum Kieselanhydrit aus dem Ischler Salzberg, jedoch wurden zu diesem Fund keine weiteren Angaben publiziert.

Pyrit, Markasit, Melnikovit FeS_2
Eisensulfide sind in den Gesteinen des Ischler Salzberges in kleinen Mengen verbreitet. Im *Grünen Salzton* wird von SCHAUBERGER (1986) ein häufigeres Auftreten von Pyrit erwähnt. Im Kaiser Franz Josef Erbstollen in der Umgebung des Stollenmeters 943 konnte eine Sulfidan-reicherung mit makroskopischem Pyrit nachgewiesen werden. PETRASCHEK (1947) nennt Melnikovit als charakteristische Subkomponente des Schwarzen Salztones.

Hämatit Fe_2O_3
Hämatit kommt in geringen Mengen in verschiedenen Gesteinen des Salzgebirges in Form von meist winzigen (um ein Millimeter) ditrigonalen dünntafeligen Kistallen, gehäuft im grünen Salzton, vor. Nach SCHAUBERGER (1986) beruht die himbeerrote bis rötlichgelbe Färbung des Kluftsalzes auf Beimengungen von Eisenglanzkriställchen beziehungsweise kolloidalem Eisen-oxyhydrat.

Quarz SiO_2
1912 publizierte GÖRGEY Mineralfunde aus dem Erbstollen. „*Im Erbstollen von Ischl findet sich ein Salzgestein, bestehend aus Anhydrit, Polyhalit, Glauberit und Steinsalz mit geringen Mengen von Bergkrystall und Schwefel; auch hier ist das Steinsalz stellenweise blau gefärbt.*“ Neufunde von Quarzkristallen konnten bis jetzt nicht getätigt werden, auf den Quarzfund von BREUER (1971) unter Muskovit berichtet. Quarz ist ein Haupt- bzw. Nebenbestandteil in Salzsand-, Salz-schluff- und Salztonsteinen.

Akaganeit β-FeOOH
In der magnesitreichen Probe von ERTL et al. (2007) konnten mehrere braune ein- und aufgewachsene Krusten als Akaganeit identifiziert werden. Der Akaganeit ist vermutlich durch die Oxidation von eisenhaltigen Mineralien, wie zum Beispiel Pyrit (welcher in diesem Bereich in vielen Proben nachgewiesen werden konnte) entstanden. Die Akaganeitkrusten könnten nach ERTL et al. (2007) einerseits als Bildung aus Restlösungen aus der Zeit der Entstehung der Evaporite wie als primäre oder sekundäre Bildung gedeutet werden.

Magnesit $MgCO_3$
Magnesit ist in den österreichischen Salzbergen nur gelegentlich dokumentiert worden (SCHROLL 1961, RÄUSCHL 1986). Mehrere Nachweise gelangen aus äquivalenten siliziklastischen Serien des kalkalpinen Perm bis zur Untertrias (NIEDERMAYR et al., 1983, 1989; SCHAUBERGER 1986). Magnesit wurde auch aus unteranisischen Gipsen der Reichenhaller Formation der nördlichen Kalkalpen und aus gleichaltrigen Gipszügen des Drauzuges beschrieben (NIEDERMAYR 1989). Die in den Kalkalpen ebenfalls in tiefanisischen Dolomiten auftretenden Magnesite, wie beispielsweise im Kaswassergraben bei Großreifling, werden als spätdiagenetisch (NIEDERMAYR et al., 1989) angesehen. Im Zuge von Kartierungsübungen im Lauffener Erbstollen wurden im Bereich des Vorhauptlagers aus anstehenden Gips- und Anhydritlinsen Proben für weiterführende mineralogische Untersuchungen entnommen (ERTL et al. 2007). In einer Probe konnte eine interessante Mineralvergesellschaftung bestehend aus Magnesit, Calcit und Gips als Haupt-phasen röntgenographisch in einem grauen, grobkörnigen Handstück identifiziert werden. Unter-geordnet konnten Anhydrit, Akaganeit (ß-FeOOH), wenig Apatit, Orthoklas und Illit als Be-standteile des Tons identifiziert werden.
In dieser Probe wurde offensichtlich ein Teil des Anhydrits rezent durch Quellung in Gips umgewandelt. SIEMANN (2002) ordnet die Bildung von Magnesit und Calcit der progressiven Phase des salinaren Zyklus zu.

Calcit $CaCO_3$
Kalkspat ist am Ischler Salzberg in diversen Ausbildungen bedingt durch die Geologie der Umgebung in vielen Bereichen aufzufinden. Dennoch soll ein interessanter Fund hier Erwähnung finden. Im Moosberg Stollen (1577 angeschlagen und 1690 verlassen) konnte ein stark mit Calcit versinterter Bereich entdeckt werden, der mit Holz ausgebaut war. Dieses Grubenholz wurde zuerst durch kalkreiche Lösungen imprägniert, das organische Material wurde zersetzt und abgeführt und die Abdrücke der Zellstruktur des Nadelholzes blieben erhalten.

Coelestin $SrSO_4$
Dieses Strontiumsulfat konnte zuerst aus dem Salinar des Ischler Salzberges (HAUER 1853, AUERBACH 1869), aus dem Kalk des Scheibenstollen Salzlagerstätte Altaussee (MEIXNER 1952) und zuletzt aus Hallstatt (PRASCHL 2013) im Salinar nachgewiesen werden. HAUER publizierte 1853 lediglich eine Analyse und kurze Kristallbeschreibung des Coelestin. AUERBACH be-richtete 1869 etwas ausführlicher über diesen Fund. „*Die Krystalle sind meistens ziemlich groß. d. h. bis 7 c. m. orangegelb gefärbt und kommen, Steinsalz durchwachsend vor. Dabei sind sie am häufigsten zerbrochen und die Risse mit Steinsalz ausgefüllt, was auf eine spätere Bildung des letzteren hinweist. Die Flächen der Krystalle sind gewöhnlich matt. Die Spaltrichtungen sehr deutlich.*“ Gänzliche weitere Literatur bezieht sich auf diesen Fund. Es konnte kein Hinweis auf später entdeckte Belegstücke dieses Minerals in der Lagerstätte Ischl registriert werden.

Ferricopiapit $Fe_{2-3}{}^{3+}Fe_4{}^{3+}(SO_4)_6(OH)_2 \cdot 20H_2O$
Aluminocopiapit $(Al,Mg)Fe^{3+}{}_4(SO_4)_6\ (OH,O)_2 \cdot 20H_2O$
Über die Abnahme des Steinsalzgehaltes der im Haselgebirge eingelagerten Linsen von Salzton vom Rande zum Zentrum hin wurde bereits berichtet. Eine solche Linse von Schwarzem Salzton

ist in der Maria Theresia Hauptschachtricht bei Stollenmeter 1.460 am linken Ulm aufgeschlossen. Dieser Tonkörper fiel den Verfassern bei einer von DI LEITNER geleiteten Exkursion durch den guten Kontrast gelblicher Krusten zum schwarzen Tonschiefer auf. Es konnten einige Proben zur genaueren Analyse gezogen werden. Unter dem Mikroskop erwiesen sich die gelben Überzüge als eine Paragenese dreier verschiedener Phasen. Glasklare winzige Gipskristalle in Kombination mit einem hellgelbbraunen und einem fahlgelben mikrokristallinen Mineral. Die Matrix aus *Schwarzem Salzton* war mit Eisensulfid imprägniert und war von der oberflächlichen Oxidation stark angegriffen. Diese Umstände und Vorproben gaben bereits Hinweise auf Mitglieder der Copiapitgruppe. Durch Detailanalysen mittels EDX und Röntgen konnte die hellbraungelbe Komponente als Ferricopiapit und die fahlgelbe Phase als Aluminocopiapit bestätigt werden. Diese Mineralisation hat sich durch die Einwirkung der Grubenwetter mit hoher Luftfeuchtigkeit auf die Eisensulfidvererzung gebildet. Diese Mitglieder der Copiapitgruppe konnten bis dato nicht in den alpinen Salzlagerstätten nachgewiesen werden.

Aegirin $NaFe^{3+}Si_2O_6$

Einen hochinteressanten Fund machte DI LEITNER bei einer von ihm geleiteten Exkursion mit den Verfassern in den Kaiser Franz Josef Erbstollen. Bei Stollenmeter 920 entdeckte Vorgenannter ein kleines Stück eines roten Tonsteines, welches an der Schmalseite eine mit einem hellgrünen Kristallrasen belegte Schieferungsfläche zeigte. Die Kristalle sind büschelig radialstrahlig angeordnet, blass hellgrün gefärbt und bilden eine etwa zwei Millimeter dicke Lage auf der Kluftfläche. Auf Grund der optischen Parameter wären der bereits von KIRCHNER (1980) aus Ischl erwähnte Pumpellyit (als Bestandteil eines Melaphyrs) sowie andere ähnliche Silikate in Betracht zu ziehen gewesen.

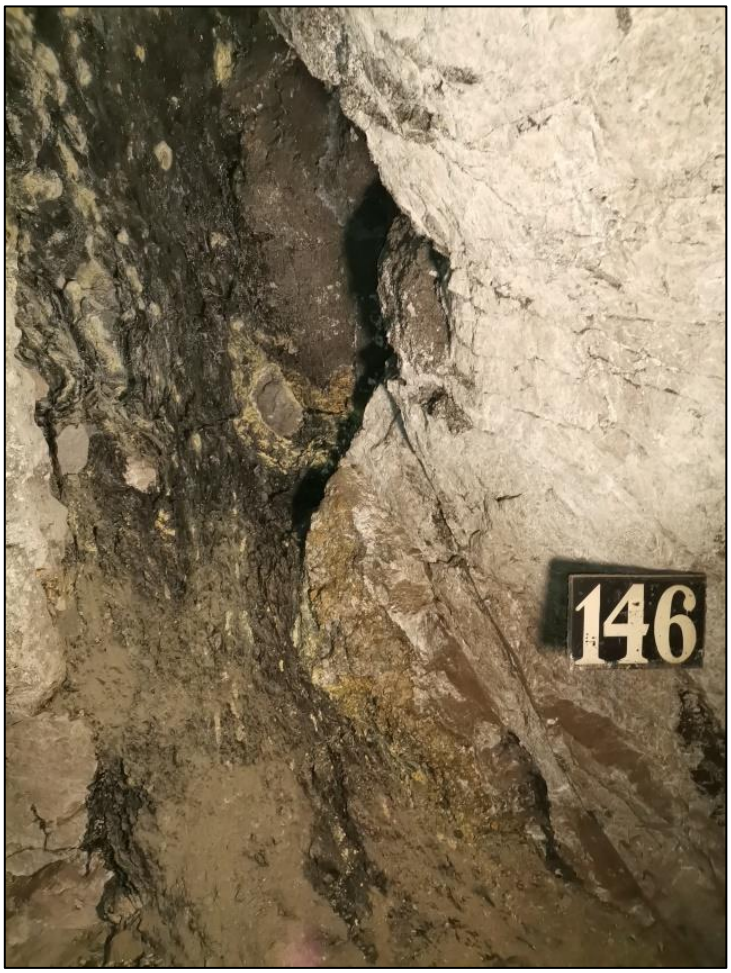

Abb. 21: Linse von Schwarzem Salzton mit gelben Krusten von einem Gemenge aus Gips, Ferricopiapit und Aluminocopiapit, Stollenmeter 1.460, linker Ulm, Maria Theresia Hauptschachtricht, Ischler Salzberg.
Foto P. Arthofer

Acmit ist das $NaFe^{3+}$ Endglied der Pyroxenmischkristallreihe, bräunlich gefärbt, während Aegirin die grüne Variante des Natriumpyroxens darstellt und vom Chemismus her zwischen Acmit, Jadeit, Aegirinaugit und Chloromelanit liegt. Von dieser interessanten Probe (unser herzlichster Dank gilt Herrn DI LEITNER für die Überlassung des Materials) wurden einzelne Kristallnadeln für eine nähere Untersuchung mittels EDX und Röntgen abgenommen. Die analytischen Ergebnisse zeigten Aegirin nahe der Idealzusammensetzung. Dieses Silikat konnte bis dato noch nicht in den alpinen Salzlagerstätten nachgewiesen werden.

Magnesioriebeckit (Krokydolith) $Na_2(Mg,Fe^{2+})_3Fe_2^{3+}Si_8O_{22}(OH)_2$
Diese magnesiumhaltige Varietät des Riebeckit wurde in Oberösterreich erstmals durch ZIRKL(1950) beschrieben. Im Stufenlager der Lichtenfels-Kehr am Maria Theresia Horizont des Ischler Salzberges konnten Anhydritstufen mit etwas Steinsalz und Krokydolith gefunden werden, jedoch war zu diesen Stücken kein genauerer Fundort innerhalb der Lagerstätte mehr zu ermitteln ZIRKL untersuchte Sammlungsmaterial, welches von MEDWENITSCH zur Verfügung gestellt wurde. Der Magnesioriebeckit ist in dünnen, fein verfilzten lavendelblauen Lagen zwischen Anhydritindividuen zu beobachten. Die Kristalle sind äußerst feinfasrig. In etwas dickeren Krokydolithpartien ist Anhydrit eingelagert. Dieser Anhydrit ist rundlich und nicht kristallographisch begrenzt, feinkörnig und von weißer bis blassrosa Färbung. Dazwischen stellte ZIRKL (1960) vollkommen einschlussfreie Quarzkörner fest. In unmittelbarer Nähe des Melaphyrfundpunktes im Kaiser Franz Josef Erbstollen bei Stollenmeter 943 am rechten Ulm und bei Stollenmeter 944 am linken Ulm konnte SCHAUBERGER (1960) zusammen mit HATTINGER lavendelblauen faserigen Magnesioriebeckit in bis zu hühnereigroßen Ein-schlüssen im Anhydrit selbst sowie an den Salbändern einer beim Stollenmeter 943 durch-ziehenden Kluft auffinden. In diesem Anhydrit konnten die Verfasser als Nebengemengteile Magnesit sowie eine sulfidische Vererzung nachweisen.

Abb. 22: Magnesioriebeckit (Krokydolith) in situ. Kaiser Franz Josef Erbstollen, Kluft am Stollenmeter 943, Vorhauptlager, Bad Ischl. Foto P. Arthofer

Der Magnesioriebeckit ist oberflächlich partiell zu einer erdigen Masse zersetzt, jedoch fällt sofort die Ähnlichkeit zu den bekannten Vorkommen um Grubach bei Golling und weiteren Fundpunkten in den salinaren Gesteinen entlang der nördlichen Kalkalpen (DOHT et al. 1913, SCHAUBERGER 1959, KIRCHNER 1980) auf.

Durch die ähnliche geologische Situation ist eine enge genetische Verknüpfung zwischen Melaphyr und Krokydolith offensichtlich. Nach KIRCHNER (1980) sind die Voraussetzungen für die Bildung dieser Paragenesen einerseits eine Regionalmetamorphose, andererseits chemische Vorbedingungen in der Zeit der Ablagerung der Sedimente sowie die Extrusion der Vulkanite, geprägt durch salinare Beeinflussung.
BREUER (1971) gelang bei einer Exkursion mit SCHAUBERGER im Mitterauer Werk am Maria Theresia Horizont nahe des Melaphyrvorkommens der Fund eines etwa zwei Zentimeter messenden Krokydolitheinschlusses.

Talk $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Bisher wurde Talk in den österreichischen Salzbergen nur aus Hallstatt in Form von millimeterdicken, silbrigweißen Überzügen auf Fragmenten einer fließtektonisch zerrissenen Schichte eines dunkelsepiabraunen Polyhalits an der Grenze zum Steinsalz gefunden.
Die ausgezeichnete rechtwinkelige Spaltbarkeit der Talkaggregate senkrecht zur Basis kennzeichnet sie nach SCHAUBERGER (1986) als Pseudomorphosen nach Steinsalz und weist darauf hin, dass sie syngenetisch mit der rekristallisierten Phase des begleitenden Halits entstanden sind. Im Kontaktbereich des Melaphyrs mit dem Haselgebirge hat ZIRKL (1949) in Hallstatt feine hellgrüne Schuppen von Talk gefunden. In der Salzlagerstätte Bad Ischl konnten die Verfasser Talk in mehreren alten Proben einer rosa bis weiß gefärbten Linse von etwa 40 Zentimetern Durchmesser, welche im Wesentlichen aus Gips und Epsomit bestand, Talk in feinen Schmitzen mittels Röntgenanalyse eindeutig nachweisen. Diese Linse war im bunten Haselgebirge einge-schlossen und stammt aus dem Erzherzog Mathias Stollen.

Muskovit $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$
Im Südquerschlag zum Sprengmittellager des Kaiser Franz Josef Erbstollens, am linken Ulm dieser Strecke, fand BREUER (1971) im kristallinen Anhydrit des Vorhauptlagers einen metergroßen grünlich gefärbten Block. Analysen ergaben eine Zusammensetzung aus Quarz, Anhydrit und Dolomit und grünlich gefärbtem, feinschuppigen Muskovit.

Spurenelemente

Jod
Jod konnte in den alpinen Salzlagerstätten bisher weder im Steinsalz noch in den Mineralquellen (die ihren Mineralgehalt aus dem Salinar beziehen) nachgewiesen werden. Aus Untersuchungen an anhydritischen und tonigen Lagen im Steinsalz (SCHAUBERGER 1986) geht hervor, dass Jod durch absorptive Bindung eine Anreicherung erfahren kann, insbesondere in bituminösen Gesteinen (also bei Anwesenheit von organischen Substanzen), welche nachweislich die kata-lytische Jodabspaltung wesentlich herabsetzen. Der Jodreichtum der Erdölwässer wie beispiels-weise in Bad Hall (Oberösterreich) bestätigt das.

Fluor
War als Spurenelement ebenfalls in den alpinen Salzbergbauen bisher nicht nachweisbar, obwohl in einigen Mineralwässern, welche aus dem Salinar kommen, Fluorgehalte bis zu 8,6 ppm nachgewiesen werden konnten (SCHAUBERGER 1986).

Brom
Im Meerwassers mit 0,0065 Gewichtsprozent als Beimengung enthalten. Bei der Eindunstung geht es sukzessive mit steigendem Gehalt in die sedimentierten Salze über und ist in allen Salzlagerstätten rein- oder vorwiegend ozeanischen Ursprungs enthalten (SCHAUBERGER 1986). Auf die Bedeutung des Bromgehaltes wird in dieser Arbeit näher eingegangen.

Lithium
Bestimmungen des Lithiumgehaltes in Salztonen von Dürrnberg/Hallein (SCHAUBERGER 1986) ergaben 0,02 Gewichtsprozent, in einem *Grünen Salzton* sogar 0,07 Gewichtsprozent. Von den aus alpinen Salzlagerstätten durch Verlaugung gewonnenen Solen sind nach Untersuchungen im Forschungsinstitut Gastein (SCHAUBERGER 1986) aus Ischl 0,00027 Prozent und jener aus Hall in Tirol 0,00027 Prozent Lithium bekannt.

Strontium
ist im Meerwasser mit 0,0008 Prozent enthalten. Es reichert sich bei der Eindunstung bis zum Stadium der Halitabscheidung in der fluiden Phase an und wird dann in der festen Phase abgeschieden, wobei es größtenteils in die Kristallgitter von $CaSO_3$ und $CaSO_4$ eingebaut wird und hier einen Teil des Calzium ersetzt. In den Abscheidungsstadien der Kalisalze befindet sich Strontium nicht mehr in Lösung (SCHAUBERGER 1986).

Rubidium
bildet wegen seines geringen Gehaltes im Meerwasser keine eigenen Mineralien, sondern vertritt lediglich als Spurenelement das Kalium diadoch in den Kalimineralien. Es reichert sich während des Eindunstungsprozesses in der flüssigen Phase bis zur Abscheidung von Kalisalzen an und wird zuerst in noch geringen Mengen im Polyhalit und Langbeinit und später zunehmend im Sylvin und schließlich im Carnallit zur Gänze abgeschieden (SCHAUBERGER 1986). Die Poly-halite der alpinen Salzlager sind im Vergleich zum primärgebildeten generell reicher an Rubidium (SCHAUBERGER 1986), daher sind die alpinen Polyhalite als sekundär gebildet zu be-trachten.

Mineralwässer
Die in einigen alpinen Salzbergbauen erschroteten Mineralwässer (SCHAUBERGER 1979) unterscheiden sich (von denen durch natürliche oder künstliche Auslaugung des Salzgebirges erzeugten Sole) durch eine abweichende chemische Zusammensetzung, welche durch einen wesentlich höheren Anteil von Sulfaten und einem häufigen Gehalt an zweiwertigem Schwefel sowie verschiedener Spurenelemente gekennzeichnet ist. Diese Mineralwässer entspringen niemals in der Lagerstätte selbst, sondern steigen an Klüften des von den Zubaustollen durchörterten Deckgebirges oder Einlagerungen aus unbekannter Tiefe empor.

Gase
Das Auftreten von Naturgasen in alpinen Salzlagerstätten, entweder in Form von eruptiven Gasbläsern oder von Ansammlungen in schlechtbewetterten Grubenräumen, ist altbekannt und erstmalig durch einen Bericht der Hallstätter Salzbergchronik aus dem Jahre 1664 belegt. Es handelt sich bei diesen Gasen in erster Linie aus Gemischen von Stickstoff und Methan, untergeordnet Wasserstoff und schwere Kohlenwasserstoffe wie beispielsweise Benzol (C_6H_6) sowie Kohlendioxyd und Schwefelwasserstoff. Bis vor wenigen Jahren waren Gasvorkommen innerhalb des Lagerstättenbereiches Ischl nicht bekannt. Schwefelwasserstoffexhalationen in geringer Menge treten im Ischler Salzberg im Bereich der Schwefelquellen auf. SCHAUBERGER (1986) führt das Vorkommen auf die Tätigkeit sulfatreduzierender Bakterien zurück.

Tonwürfelsalz und weitere Mineralfunde aus dem Schönmanngraben, Kaltenbach bei Bad Ischl

Geographische Lage

Die natürlichen Aufschlüsse liegen im Schönmanngraben nördlich der Ruine Wildenstein nahe der Talstation der Katrin Seilbahn.

Abb. 23: Lage der Aufschlüsse des Schönmanngrabens bei Kaltenbach.
Ausschnitt aus der ÖK 1 : 50.000 Bad Ischl

Historisches

In einigen Bereichen um die Stadt Bad Ischl herum wurde von privater Seite die Vorkommen von Gips gewerblich genutzt (SCHAUBERGER 1973), so auch im Schönmanngraben. 1853 be-schrieb HAIDINGER erstmals das Vorkommen von Pseudomorphosen nach Tonwürfelsalz nörd-lich der Herrschaft Wildenstein.

Geologie

Der Schönmanngraben schließt roten und grauen Werfener Schiefer (aus Rollstücken ersichtlich, gelegentlich mit Hämatit auf den Spaltflächen) sowie ausgelaugtes Buntes Haselgebirge auf. In diesem enthalten sind größere Schollen von weißem Fasergips sowie dunkle, bituminöse, zum Teil kavernöse Dolomite, welche, verglichen mit anderen, ähnlichen Belegstücken mit dem Dolomit-Anhydritkomplex der Salzlagerstätten korrelieren und daher zeitlich ins Perm-Anis-grenzniveau (SPÖTL 1988) zu stellen sind.

Pseudomorphosen nach Tonwürfelsalz

Der Zusammenhang mit dem vorher besprochenen in den Salzlagern vorkommenden Ton-würfelsalz ist offensichtlich. Häufig treten die Pseudomorphosen, welche Größen zwischen einigen Millimetern bis zu vier Zentimetern erreichen können, ident dem Tonwürfelsalz auf. Die Habiti entsprechen vollständig dem Tonwürfelsalz. Durch die Abfuhr des Natriumchlorides in den tagnahen ungeschützen Bereichen blieben die Hohlformen der Halitkristalle erhalten und boten Platz für Mineralneubildungen. Für die Entstehung der Quarz- und Karbonattapeten wird nach SPÖTL (1988) eine diagenetische Neubildung in salinaren elektrolytreichen Lösungen postuliert, die vollkommen analog der verbreiteten Authigenese der biterminierten „Salinar-quarze“ ist.

Die Außenzone der Pseudomorphosen wird aus einer Tapete von klaren bis ziegelroten idiomorphen Quarzkristallen bis etwa einer Größe von einem halben Millimeter und farblos bis orange gefärbten Kristallen von eisenhaltigen Magnesiten (Glieder der Mischreihe Breunerit-Mesitinspat) gebildet. Auf den Rasen von Quarz- und Eisenmagnesit können gelegentlich winzigste Täfelchen von Hämatit beobachtet werden. Das Zentrum der Pseudomorphosen ist mit durchsichtigem Gips (Marienglas) verfüllt, welches bei zerbrochenen Exemplaren als „Fenster“ in das Innere fungiert. Diese Gipsfüllung ist teilweise durch Auflösung wieder abtransportiert und die filigranen Quarz- und Magnesittapeten bleiben zurück. Pyrit konnte auf Magnesit-kristallen beziehungsweise auf schmalen Rissen des Grundgesteins und den Oberflächen von iso-lierten Pseudomorphosen als mikroskopisch kleine Kristalle identifiziert werden. Selten konnten in Hohlräumen dieser umgewandelten Salztone Füllungen von rosa gefärbtem Baryt gesichert werden.

Abb. 24: Pseudomorphose nach Tonwürfelsalz, Schönmanngrabens bei Kaltenbach.
Kantenlänge 25 Millimeter. Foto und Sammlung der Verfasser.

Der besondere Dank der Verfasser gilt allen, die zum Entstehen dieser Arbeit wesentlich beigetragen haben: DI M. LANTHALER, DI TH. LEITNER, beide Salinen Austria, Altaussee; M. SCHOBERLEITNER, ÖBF Bad Ischl, Mag. M. MAYR, Bergbaugeologe, Bad Ischl; H. FEICHTINGER, Perneck; DI J. KRANABITL, Hallein; H. und M. KIRCHMAYR, Gmunden; Ing. P. PAULIS, Kutná Hora, CZ; M. HOFFELNER, Waidhofen/Ybbs.

Literaturverzeichnis:

AIGNER, A.: Der Salzberg von Ischl und sein Verhältnis zur eingeleiteten Tiefbohrung.
Österr. Zeitschr. Berg-und Hüttenw., Jg. 22, Nr. 51/52, S. 501-502, Wien 1874

AIGNER, A.: Über das Lagerungsverhältnis des Salzberges von Ischl.
Österr. Zeitschr. Berg- und Hüttenw., Jg. 31, Nr. 27, S. 354-356, Wien 1883

AIGNER, A.: Analogien der Alpinen Salzlagerstätten.
Österr. Zeitschr. Berg- und Hüttenw., Jg. 36, Nr. 7, S. 80-83, Wien 1888

AIGNER, A.: Über die Polyhalite der alpinen Salzberge.
Österr. Zeitschr. Berg- und Hüttenw., Jg. 49, Nr. 52, S. 686-689, Wien 1901

AIGNER, A.: Die Salzlagerstätten der Alpen.
Mitt. Naturwiss., Ver. Steiermark, Bd. 38, S. 135-152, Graz 1902

AIGNER, A.: Über den Kaiser Franz - Josef Erbstollen in Ischl.
Mitt. Naturwiss., Ver. Steiermark, Bd. 41, S. 119-132, Graz 1905

AUERBACH, A.: Krystallographische Untersuchung des Coelestins.
Sitzungsber. Akad. Wiss. math. Naturw. Kl. Bd. 59, H. 1. S. 649-588, Wien 1869

BORCHERT, H.: Grundzüge der Entstehung und Metamorphose ozeanischer Salzlagerstätten.
Freiberger Forschungshefte, A 123, S. 11-40, Berlin 1959

BORCHERT, H.: Ozeane Salzlagerstätten.
237 S, Berlin-Nikolassee 1959(b) (Gebrüder Bornträger)

BRAITSCH, O.: Entstehung und Stoffbestand der Salzlagerstätten.
Mineralogie und Petrographie in Einzeldarstellungen, Bd. 3, 232 S, Göttingen 1962

BREUER, K.: Mineralogisch-petrographische Beobachtungen an Vorkommen um Bad Ischl, Oberösterreich und Salzburg.
Hausarbeit aus Naturgeschichte, 75 S. Salzburg 1971
D´ANS, J; KÜHN, R.: Über den Bromgehalt von Salzgesteinen der Kalisalzlagerstätten.
Kali, verw. Salze und Erdöl, Jg. 34, S. 42, 59, 77, Halle 1940
DIETRICH, H.: Chemische Analyse der Klebelsbergquelle im Salzberge von Ischl.
Jb. geol. R.- A, Bd.43, H. 2, S. 275-280, Wien 1893
DOHT, R.; HLAWATSCH, A.: Über einen aegirinähnlichen Pyroxen und den Krokydolith von Mooseck bei Golling, Salzburg.
Verh. Geol. R.- A., Bd. 32, S. 79-95, Wien 1913
ERTL, A.; PREM, M.; LEIN, R.: Beobachtungen zum Mineralbestand und zur Magnesitgenese im Salzbergbau Bad Ischl (Oberösterreich).
Mitt. Österr. Min. Ges. Bd. 153, S. 275-278, Wien 2007
ESTNER, F.J.A.: Versuch einer Mineralogie für Anfänger und Liebhaber
3 Bde, Wien 1800, (Mathias Andreas Schmidt)
FICHTEL, J. E.: Mineralogische Aufsätze.
374 S. Wien 1794 (Mathias Andreas Schmidt)
FLÜGEL, H. W.: Nikolaus Poda und die mineralogisch-paläontologische Sammlung der Jesuitenuniversität Graz von 1766.
Joannea Min. 3, S. 25-61, Graz 2006
FÜRER, F.A.: Salzbergbau und Salinenkunde.
1072 S., Braunschweig 1900 (Vieweg und Sohn)
GLAUBER, J. R.: Tractus de natura salium.
96 S., Amsterdam 1659 (Johann Jansson)
GLÜCK, C.: Über die Tonminerale des Haselgebirges
Unveröff. Min. Hausarbeit Universität Salzburg, 26 S. Salzburg 1975
GÖRGEY, R.: Minerale alpiner Salzlagerstätten.
Tschermaks Min. Petrogr. Mitt., Bd. 29, H. 1 + 2, S. 148-153, Wien 1910
GÖRGEY, R.: Zur Kenntnis der Minerale der Salzlagerstätten.
Tschermaks Min. Petrogr. Mitt., Bd. 29, H. 3, S. 194-210, Wien 1910 (b)
GÖRGEY, R.: Über das Steinsalz.
Tschermaks Min. Petrogr. Mitt., Bd. 31, H. 6, S. 664-687, Wien 1912
GÖRGEY, R.: Bericht über die bisherigen Untersuchungen der österreichischen Salzlagerstätten.
Sitzung math. Naturw. Kl. V. 3. Juli 1913, 3 S.; Akad. Anz. Nr. Akad. Wiss. Wien, 1913
HAIDINGER, W.: Über den Löweit, eine neue Species aus der Ordnung der Salze.
Abh. der Königl. Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften, Bd. 4, S. 663-666, Prag 1846
HAIDINGER,W.: Über die Pseudomorphosen nach Steinsalz.
Naturwiss. Abh., S. 65, Tübingen 1847.
HAIDINGER, W.: Drei neue Localitäten von Pseudomorphosen nach Steinsalz in den nordöstlichen Alpen.
Jb. d. Geol. RA, H. 1, S. 101-105, Wien 1853
HARBORT , E.: Zur Frage der Aufpressungsvorgänge und des Alters der nordwestdeutschen Salzvorkommen.
Kali, Zeitschrift für Gewinnung, Verarbeitung und Verwertung der Kalisalze; Jg. 7, H. 5, S.112-121, Halle 1913
HAUDE, R.: Die Entstehung von Steinsalz-Pseudomorphosen.
N. Jahrbuch f. Geologie u. Paläontologie, Monatshefte. S. 1- 10, Stuttgart 1970
HAUER, C.: Coelestin von Ischl in Oberösterreich.
Jb. Geol. R.-A, H. 4, S.397, Wien 1869
HAUER, C.: Arbeiten in dem Laboratorium der k.k geologischen Reichsanstalt Nr. 7.
Jb. geol. RA, Bd. 7, H. 3, S. 605, Wien 1856
HAUSCHKE, N., STRAUB, C. & WITZKE, T.: Die Bildung pyramidaler Halit-Hopper in eindunstenden Wasserpfützen bei Teutschenthal (Sachsen-Anhalt), in der Saline von Halle (Saale) und im Keuper Nordwestdeutschlands.
Der Aufschluss, 62 / 6: 333-344, Heidelberg 2011
HAUSMANN, J. F. L. : Handbuch der Mineralogie.
3 Bde. 2. Aufl., Göttingen 1813
JOHN, J. F.: Chemische Untersuchungen mineralischer, vegetabilischer und animalischer Substanzen.
Chemische Schriften, Bd. 6, 360 S., Berlin 1821 (Maurer)
JOHN, C. v.: Über Eruptivgesteine aus dem Salzkammergut.
Jb. Geol. R.-A., Bd. 49, S. 247-258, Wien 1899
KARSTEN, C.J.B.: Lehrbuch der Salinenkunde
2 Bde., 884+700 S, Berlin 1847 (Reimer)
KENDALL, A. C.: Compaction in halite-cemented carbonates-the Dawson Bay Formation (Middle devonian) of Saskatchewan, Canada.
Sedimentology, Bd. 47, S. 151-171, Heidelberg 2000 (Springer)

KIRCHER, A.: Mundus subterraneus.
12 Bücher in 2 Bde., Amsterdam 1665 (Johann Jannson und Elizeum Weyerstraten)
KIRCHNER, E. CH.: Natriumamphibole und Natriumpyroxene als Mineralneubildungen in Sedimenten und basischen Vulkaniten aus dem Permoskyth der Nördlichen Kalkalpen.
Verh. Geol. B.A., H. 3, S. 249-279, Wien 1980
KIRCHHEIMER, F.: Blaues Steinsalz und sein Vorkommen im Neckar - und Oberrheingebiet.
Geologisches Jahrbuch Reihe D, H. 18, 139 S. Hannover 1976
KLAUS, W.: Mikrosporen-Stratigraphie der ostalpinen Salzberge.
Verh. Geol. B. A., H. 3, S. 161-175, Wien 1953
KLAUS, W.: Über die Sporendiagnose des deutschen Zechsteinsalzes und des alpinen Salzgebirges.
Z. deutsch. geol. Ges., Bd. 105/4, Hannover 1955
KLAUS, W.: Zur Einstufung alpiner Salztone mittels Sporen.
Verh. Geol. B. A., Sh. G, S. 288-292, Wien 1965
KOHL, H.: Bergsturz von der Zwerchwand bei der Hütteneckalm, OÖ. am 15. Oktober 1978.
Jb. OÖ. Mus. Ver., Bd. 124/1, S. 171-175, Linz 1979
KÜHN, R.: Über den Mineralgehalt der Salztone.
Schriften des Mineral.-Petr. Inst. der Univ. Kiel, H. 6; Kiel 1938
KÜHN, R.; SCHAUBERGER, O.: Über die Entstehung des alpinen Augensalzes.
Neues J. Geol. Paläont. MH. H. 6, S.247-259, Stuttgart 1959
LACHMANN, R.: Studien über den Bau von Salzmassen.
Kali, Zeitschrift für Gewinnung, Verarbeitung und Verwertung der Kalisalze; Jg. 4, S. 161-Halle 1910
LACHMANN, R.: Salzauftrieb, geophysikalische Studien über den Bau der Salzmassen Norddeutschlands.
Kali, Zeitschrift für Gewinnung, Verarbeitung und Verwertung der Kalisalze; Jg. 6, S. 108-Halle 1912
LEITNER, C.: MARSCHALLINGER R.: 3D-Modellierung von „Tonwürfelsalz“ zur Rekonstruktion von Hauptspannungsrichtungen.
In: R. Marschallinger, W. Wanker, F. Zobl: Beiträge zur COGeo 2010. doi:10.5242/cogeo.2010.0000 1
LEITNER, C.: NEUBAUER, F.; MARSCHALLINGER, R.; GENSER, J.; BERNROIDER, M.:
Origin of deformed halite hopper crystals, pseudomorphic anhydrite cubes and polyhalite in Alpine evaporites (Austria, Germany).
Int. J. Earth Sci (Geol Rundsch), Springer 2012 Doi:10.1007/s00531-012-0836-6
LINCK, O.: Die sogenannten Steinsalz-Pseudomorphosen als Kristall-Relikte.
Abh. Senckenberg. Naturf. Ges., 470, S.1-50, Frankfurt 1946
LOBITZER, H., (Red.): Geologische Spaziergänge. Via Salis Bad Ischl., Salzkammergut, Oberösterreich.
111 S. Wien 2023 (GeoSphere Austria)
LOTZE, F.: Steinsalz und Kalisalze Geologie
936 S., Berlin 1938 (Gebrüder Bornträger)
LOTZE, F.: Steinsalz und Kalisalze.
1.Teil, 465 S., Berlin-Nikolassee 1957 (Gebrüder Bornträger)
MAYRHOFER, H.: Görgeyit, ein neues Mineral aus der Ischler Salzlagerstätte.
Neues Jb. Mineral., Monatshefte, H. 2, S. 35-44, Stuttgart 1953
MAYRHOFER, H.; SCHAUBERGER, O.: Pseudomorphosen von Talk nach Steinsalz als stratigraphisches Leitmineral im Hallstätter Salzberg.
Berg- und Hüttenm. MH, Jg. 98, S. 111-115, Leoben 1953
MAYRHOFER, H.: Beiträge zur Kenntnis des alpinen Salzgebirges.
38 S., Dissertation Montanuniversität Leoben 1954
MAYRHOFER, H.: Über ein Langbeinit- und Kainit-Vorkommen im Ischler Salzgebirge
Der Karinthin, Folge 30, S. 94-98, Klagenfurt 1955
MEDWENITSCH, W.: Lauffener Erbstollen des Ischler Salzberges.
In: Geologischer Führer zu den Exkursionen anlässlich der Hundertjahrfeier der Geologische Bundesanstalt.
Verh. Geol. B.-A, Sh. A, S. 55-56, Wien 1951
MEDWENITSCH, W.: Die Geologie der Salzlagerstätten Bad Ischl und Alt - Aussee (Salzkammergut).
Mitt. Geol. Ges. Wien, 50 / 1957, S. 133-200, Wien 1958
MEIXNER, H.: Neue Mineralfunde in den österreichischen Ostalpen XII. 112: Zölestin aus dem Salzbergbau Altaussee, Steiermark.
Carinthia II, Bd 142/62, S. 27-46, Klagenfurt 1952
MOJSISOVICS, E.: Der Salzberg von Ischl und die Umgebung desselben.
Verh. Geol. R. A., S. 298-300, Wien 1868
NIEDERMAYR, G., BERAN, A. & SCHERIAU-NIEDERMAYR, E.: Magnesite in Permian and Scythian Series of the Eastern Alps, Austria and its Petrogenetic Significance.
In: SCHNEIDER, H. -J.: Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe, S. 97-104, Springer 1983
NIEDERMAYR, G., BERAN, A. & BRANDSTÄTTER, F.: Diagenetic type magnesites in Permo-Scythian rocks of the Eastern Alps, Austria.
Monograph Ser. Min. Depos., 35-59, Berlin 1989. (Gebr. Bornträger)

NOGGERATH, G.: lrreguläre Steinsalzkristalle und Steinsalzpseudomorphosen nach solchen.
Neues Jb. Min. etc., S. 307, Stuttgart 1846

OCHSENIUS, C.: Bildung von Salzlagerstätten und ihrer Mutterlaugensalze unter spezieller Berücksichtigung der Flöze von Douglashall in der Egeln'schen Mulde.
175 S., Halle 1877, (Pfeffer)

OCHSENIUS, C.: Beiträge zur Erklärung der Bildung von Steinsalzlagern und ihrer Mutterlaugensalze.
Nova Acta d. Ksl. Leop.-Carol.-Dt. Akad. der Naturforscher, Bd. 40. Nr. 4, S. 123-164, Dresden 1878

PAK, E., SCHAUBERGER, O.: Die geologische Datierung der ostalpinen Salzlagerstätten mittels Schwefelisotopenuntersuchungen.
Verh. Geol. B.A., H. 2, S. 185-192, Wien 1981

PETRASCHECK, W.: Bitumen und Erdgas im Haselgebirge.
Berg- und Hüttenm. MH, Jg. 92, H. 5, S. 106-109, Leoben 1947

PRASCHL,S.: Mineralogische, geochemische und isotopengeochemische Charakterisierung der Evaporite des Hallstätter Salzberges.
Masterarbeit Institut für Geowissenschaften. 91 S.+18 S., Graz 2013

PRZIBRAM, K.: Ein Schema der Verfärbungserscheinungen bei Steinsalz.
Mitt. d. Inst. f. Radiumforsch. Nr. 237
In: Sb. Akad. Wiss. Math. Naturw. Kl. Bd. 138, H. 2a, S. 483-495, Wien 1929

RÄUSCHL, P.: Der mineralogische Aufbau der Gesteinstypen im Lauffener Erbstollen im Bereich des Vorhauptlagers.
Hausarbeit Mineralogie, 39 S., Salzburg 1986

REINOLD, P.: Beitrag zur Geochemie der ostalpinen Salzlagerstätten.
Tschermaks Min. Petrogr. Mitt., dritte Folge, Bd. 10, S. 505-526, Wien-New York 1965

REITER, E.: Der Simonyit - ein kleiner Beitrag zur Geschichte eines „neuentdeckten" alten Minerals.
Stapfia, Bd. 43, S. 73-80, Linz 1996

RICHTER - BERNBURG, G.: Über salinare Sedimentation.
Z. Deut. Geol. Ges., Bd. 105, 4. Teil, 593-645, (1953), Berlin 1955.

RUSCHA, S.: Die Strontiumgehalte der Anhydrite und Gipse aus dem Salinar der Hallstätter Zone.
Diplarb. Mineral. Petr. Inst. Univ. Salzburg, 41 S., Salzburg 1976

SCHADLER, J.: Geologische Neuaufnahme im Gebiet des Ischler Salzberges.
Unveröff. Ber. an die Forschungsstelle der Salinen Austria 1948

SCHADLER, J.: Die Ergebnisse der geologischen Neukartierung im Gebiet des Ischler und Altausseer Salzberges.
Berg- und Hüttenm. MH, Jg. 94, S. 56-60, Leoben 1949

SCHAUBERGER, O.: Ein Beitrag zur Kenntnis des Blauquarz- und Krokydolithvorkommens von Grubach bei Golling. Der Karinthin, Folge 39, S. 42-46, Klagenfurt 1959

SCHAUBERGER, O.: Melaphyr (Diabas), Tuffit und Krokydolith im Ischler Salzberg.
Sitzungsber. d. Akad. Wiss. math. Naturw. Kl., Bd. 97, S. 133-136, Wien 1960

SCHAUBERGER, O.: Der historische Bergbau im Salzkammergut.
Mitt. d. Österr. Arbeitsgem. f. Ur-u. Frühgesch. Bd. 24, 2. Teil, S. 109-118, Wien 1973

SCHAUBERGER, O.: Die Mineral-und Thermalquellen im Bereich des ostalpinen Salinars zwischen Salzach und Enns.Schriftenreihe des OÖ. Mus Ver. Bd. 9, 120 S. Linz 1979

SCHAUBERGER, O.: Bau und Bildung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars.
Arch. f. Lagerstättenforsch. Geol. B.-A, Bd. 7, S. 217-254, Wien 1986

SCHINDL-NEUMAYER, M.: Gefügekundliche Studien in alpinen Salzlagern.
Arch. f. Lagerstättenforsch. Geol. B.-A, Bd. 5, S. 135-156, Wien 1984

SCHLATTI, M.; SAHL, K.; ZEMANN, A.; ZEMAN,J.: Die Kristallstruktur des Polyhalits, $K_2Ca_2Mg[SO_4]_4.2H_2O$
Tschermaks Min. Petrogr. Mitt., Nf. Bd. 14, H. 2, S. 75-86, Wien 1970

SCHROLL, E. Über das Vorkommen von Magnesit in alpinen Salzlagerstätten.
Radex - Rundschau, , H. 5, 704-707, Radenthein 1961

SIEMANN, M.- G.: Geochemie III: Marine Evaporite, Teil II: Vom Meerwasser zu den Evaporiten.
Skriptum Institut für Mineralogie u. Mineralische Rohstoffe, Technische Universität Clausthal, 20 S., Clausthal 2002

SPÖTL, Ch.: Zur Altersstellung permoskythischer Gipse im Raum des östlichen Karwendelgebirges (Tirol).
Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, Bd. 14, H. 9., S. 197-212, Innsbruck 1988

SPÖTL, CH.: Die Salzlagerstätte von Hall in Tirol-ein Überblick über den Stand der geologischen Erforschung des 700jährigen Bergbaubetriebes.
Veröffentlichungen des Tiroler Landesmuseums Ferdinandeum, Bd. 69, S. 137-167, Innsbruck 1989

STILLE, H.: Grundfragen der vergleichenden Tektonik.
443 S., Berlin 1924 (Bornträger)

STRASSER, A.: Die Mineralien Salzburgs. 348 S., Salzburg 1989 (Eigenverlag Strasser)

STROMEYER, F.: Ein neu entdecktes Metall und Analyse eines neuen Minerals.
Journal f. Chemie und Physik, Bd. 21, S. 297-306, Nürnberg 1817

THOMANEK, K.: BFI Projekt Salz, ein wesentlicher Faktor in der Welterberegion.
20 S, Salinen Tourismus GmbH, o. J.

VAN´T HOFF, J.H.: Zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen. Erstes Heft 85 S., Braunschweig 1905 (Vieweg und Sohn)

VAN´T HOFF, J.H.: Zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen. Zweites Heft 90 S., Braunschweig 1909 (Vieweg und Sohn)

WALTHER, L.: Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit. 2. Aufl., 342 S., Leipzig 1912. (Verlag Meyer)

WINTERLEITNER, G.: Stratigraphische und mikrofazielle Neuuntersuchung der Ober-Jura-Karbonatplattform-Resedimente und deren Unterlagerung im Bereich Zwerchwand-Hoher Rosenkogel (Bad Goisern, Österreich): Neue Erkenntnisse zur Vorhersage von Massenbewegungen im zentralen Salzkammergut. Masterarbeit, Universität Leoben, 88 S. Leoben, 2009/10

ZIRKL, E.: Die Melaphyr-Eruption im Hallstätter Salzberg. Berg- und Hüttenm. MH, Jg. 94, S. 62-65, Leoben 1949

ZIRKL, E. J.: Beitrag zur Mineralogie Österreichs: 3.: Krokydolith aus der Ischler Salzlagerstätte. Tschermaks Min. Petrogr. Mitt., Nf. Bd. 2, H. 1, S. 38-43, Wien 1950

ZIRKL, E. J.: Der Melaphyr von Hallstatt. Jb. Geol. B.A., Bd. 100, S. 137-177, Wien 1957

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Oberösterreichische GEO-Nachrichten. Beiträge zur Geologie, Mineralogie und Paläontologie von Oberösterreich

Jahr/Year: 2023

Band/Volume: 38

Autor(en)/Author(s): Arthofer Peter, Kapeller Alexander

Artikel/Article: Der Salzbergbau von Perneck bei Bad Ischl in Oberösterreich und das darüber liegende Eisen- und Bleiglanzvorkommen der Sudhüttenwand am Ischler Salzberg. Die Salzvorkommen um Bad Ischl und Pseudomorphosen nach Tonwürfelsalz aus dem Schönmanngraben bei Kaltenbach 6-52