

**Der Salzbergbau von Perneck bei Bad Ischl in Oberösterreich  
und das darüberliegende Eisen- und Bleiglanzvorkommen der  
Sudhüttenwand am Ischler Salzberg.  
Geologie des Arbeitsgebietes und der Aufschlüsse außerhalb des  
Salzbergbaues**

von Peter Arthofer und Alexander Kapeller, Steyr\*)

Bedingt durch die zur Zeit herrschende Pandemie konnten viele der geplanten Beprobungen nur verspätet durchgeführt werden und Analysen nahmen mehr Zeit in Anspruch als sonst. Dadurch war es uns nicht möglich, diesen umfangreichen Bericht in der von uns gewünschten Reihenfolge fertigzustellen, und wir waren gezwungen, mit den historischen Fakten im 35. Jahrgang der OÖ. Geonachrichten im „Homeoffice“ zu starten. Mittlerweile sind technische Arbeiten und Geländebegehungen wieder leichter möglich. Deswegen beginnen wir in diesem, dem 36. Jahrgang der OÖ. Geonachrichten, mit der Bearbeitung der Aufschlüsse im Bereich des Ischler Salzberges.

**GEOLOGIE**

**Geologische Erforschung:**

Die geologische Erforschung des Salzkammergutes begann in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts (MANDL et al. 2012) ausgehend von den Salzlagerstätten. Auch der Fossilreichtum des Gebietes erregte früh das Aufsehen der Geologen. 1762 veröffentlichte der tschechische Naturforscher *Johann Baptist Bohadsch* die Ergebnisse seiner Studienreise, 1777 beschrieb *Ignaz von Born* Gesteine und Minerale aus den Salzlagern in Anlehnung an die binäre Nomenklatur von *Carl von Linné*. 1802 erschien die „Geognostische Uebersicht des Oesterreichischen Salzkammergutes“ im ersten Band des Reisewerkes von *Leopold von Buch*. 1809 wurde das zwei-bändige Standardwerk des Naturforschers *Joseph August Schultes* verlegt, der als erster erkannte, dass alle drei Salzlager des Kammergutes an eine eigenständige Entwicklung gebunden sind, die wir heute unter Hallstätter Zone aus der Literatur kennen. Die Zeit von 1821 bis 1845 wird von Studien britischer, deutscher und französischer Geologen geprägt. *Friedrich Simony* steht - mit seinem ersten Aufenthalt im Dachsteingebiet - im Jahre 1840 als erster österreichischer Wissenschaftler am Beginn der systematischen Erforschung des Salzkammergutes. 1846 begann *Franz von Hauer* eine systematische Untersuchung der Ammoniten aus Hallstätter Kalken. Der Schweizer Geologe *Alphons von Morlot* wies bereits 1847 auf die Rolle triassischer Schichtglieder hin. Die 1849 in Wien gegründete geologische Reichsanstalt machte die Untergliederung des „Alpenkalkes“ zu einer ihrer zentralen Aufgaben. *Franz von Hauer* und *Friedrich Simony* schloss sich bald die bedeutendste Persönlichkeit der Erdwissenschaften Österreichs, der junge *Eduard Suess* an, der mit Schülern und Fachkollegen die Schlüssellokalitäten dieser Region bearbeitete.

---

\*) Peter Arthofer, Alexander Kapeller  
Sertlstrasse 15  
4400 Steyr  
[arthoferp@gmail.com](mailto:arthoferp@gmail.com)

EDMUND VON MOJSISOVICS veröffentlichte das größte paläontologische Werk, welches jemals in den Ostalpen veröffentlicht wurde – eine mehrbändige Monographie über die Ammonitenfauna des Hallstätter Kalkes. Das Erscheinen der Geologischen Karte Ischl und Hallstatt 1:75.000 durfte MOJSISOVICS noch miterleben. *Georg Geyer, Erich Spengler* und *Julius von Pia* verfassten ebenfalls bedeutende Arbeiten über Teilbereiche im Salzkammergut.

Das Gebiet um den Ischler Salzberg (MEDWENTITSCH 1958) umfasst ein breites Spektrum an Gesteinen. Vom oberpermischen Evaporit über die Abfolge der triadischen Hallstätter Fazies, Teilbereiche der Dachsteinkalkfazies zum Jura und zu Unterkreidesedimenten. Auch als Miozän eingestufte Augensteinsande sind in diesem Bereich aufgefunden worden.

Hier soll im Weiteren auf die Beschreibung der wichtigsten äußeren Merkmale und die Genese der vorkommenden Gesteine eingegangen werden. Als grundlegende Literatur wurden die Arbeiten von TOLLMANN (1985) und die übersichtliche, sehr empfehlenswerte Zusammenstellung von LAIMER (2006) herangezogen. 2012 erschienen im Verlag der Geologischen Bundesanstalt die Erläuterungen zur geologischen Karte 96, Bad Ischl, die dem Interessierten sehr empfohlen werden.

### **Perm und Untertrias (das ehemalige „Permoskyth“)**

#### **Das Ostalpine Haselgebirge (Oberperm bis Anis-Basis) :**

Am Ende des Perms, welches von kontinentaler Sedimentation geprägt war, kam es am Nordrand der Paläothetys zur Bildung von Salzpfannen. Das Haselgebirge ist besonders in der Hallstätter Zone konzentriert. Obertags sind die wasserlöslichen Teile, unter anderem das Steinsalz, durch Wasserzutritt ausgelaugt. Die Plastizität des Haselgebirges führt unter Gebirgsdruck zu Einpressung (einer Migration) in Kluft- und Störungssysteme benachbarter Gesteine. Das Haselgebirge selbst besteht aus verschieden gefärbten Silt- und Tongesteinen, Steinsalz, Gips, Anhydrit und selten Dolomitmikrobrekzien.

Der Terminus „Haselgebirge“ ist ein alter bergmännischer Ausdruck aus dem Bereich der alpinen Salzlager der für ein brekziöses Gestein Anwendung findet, welches vor allem aus Ton und/oder Tonstein, Schluff und/oder Schluffstein, Gips und Anhydrit, seltener Dolomit und einer Matrix aus Steinsalz, Gips und Anhydrit in verschiedenen Volumsteilen besteht. Seltene aber bemerkenswerte Komponenten sind basische magmatische Gesteine, wie Diabas, Diabastuffe und Diabastuffite (Melaphyr). Das Alpine Haselgebirge stellt eine vom Oberperm bis zur Basis des Anis (PAK & SCHAUBERGER 1981) abgelagerte lithologische Einheit an der Basis der nördlichen Kalkalpen dar. Die Ablagerung erfolgte in einer etwa Ost-West-streichenden flachen Senke eines kontinentalen Grabenbruchs am Rande der Tethys. In diese Senke floss periodisch Meerwasser aus der Tethys. Aus dem in dieser Salzpfanne eindampfenden Meerwasser wurden Steinsalz, Gips und /oder Anhydrit und Dolomit ausgefällt und klastische Sedimente fluviatil in die Salzpfanne eingeschwemmt (sensu SPÖTL 1988). Heute findet sich das Alpine Haselgebirge der Nördlichen Kalkalpen vom Bereich des ehemaligen Salzbergbaues Hall in Tirol im Westen bis zum ehemaligen Gipsbergwerk und der heutigen Seegrotte Hinterbrühl bei Mödling im Osten.

Der Terminus „Salinar“ wird wie folgt definiert: Das „Ostalpine Salinar“ umfasst alle in den Nördlichen Kalkalpen auftretenden Vorkommen chloridischer und sulfatischer Salze zwischen Innsbruck bis Wien, und die mit ihnen in genetischem Verband stehenden karbonatischen und pelitischen Sedimente von nicht jüngerem als untertriassischem Alter ( SCHAUBERGER 1986).

Die Melaphyre werden als nichtsalinare Bestandteile klassifiziert. An der natürlichen Erdoberfläche und an Grenzflächen welche dem Grundwasser ausgesetzt sind tritt das Haselgebirge meistens in verwitterter, in durch zirkulierende Grundwässer ausgelaugter Form auf. Dieses, in der Bergmannssprache als das „Ausgelaugte“ bezeichnet, aus dem vornehmlich das ehemals eventuell vorhandene Steinsalz herausgelöst wurde, der Anhydrit durch Wasseraufnahme zu Gips

verwandelt und z.T. ebenfalls ausgelaugt wurde, bildet eine vornehmlich schluffig-tonige, extrem gering wasserdurchlässige Schwarte über dem frischen Haselgebirge und schützt Letzteres in sehr hohem Maß vor weiterer Auslaugung.

Im Bereich Bad Ischl gibt es mehrere verschiedene z.T. miteinander verbundene Salzlager: Das *Steinberglager*, den *Ischler Salzberg*, das *Trauntaler Salzlager* mit dem Vorhauptlager im *Ischler Erbstollen* (welches als Teil des Trauntaler Salzlagers beim Vortrieb des Ischler Erbstollens am Ende des vorletzten Jahrhunderts angefahren wurde) und das *Ischltaler Salzlager*, welches letztere in Verbindung mit dem Trauntaler Salzlager steht.

Das Ischltaler Salzlager besitzt zwei Kernzonen, eine im Bereich *Lindau* und eine weitere im Bereich *Windhag* (siehe dazu MAYR 2003).

Das Steinberglager wurde im Raum Bad Ischl als erstes Salzlager aufgeschlossen, und zwar durch den *Mitterberg Stollen*. Knapp danach wurde der oberste Abschnitt des Ischler Salzbergs durch den *Lipplesgraben Stollen* erschlossen.

In den Jahren 1917 und 1918 wurde versucht, durch zwei Bohrungen, die Bohrungen *Rabennest 1* und *Rabennest 2*, ein bereits damals unter dem Traun- und Ischltal vermutetes Salzlager aufzufinden. Die beiden im Rabennest südwestlich von Bad Ischl angesetzten Bohrungen mussten beide aufgrund bohrtechnischer Probleme im Ausgelaugten aufgegeben werden. Erst im Jahre 1965 wurde man dann nach geophysikalischen Voruntersuchungen durch die Niederbringung der Bohrung Bad Ischl 1 in den *Sulzbachfeldern* südlich von *Bad Ischl* fündig.

### **Werfener Schichten, untertriassische Werfener Formation:**

Die *Werfener Schichten* begleiten die Haselgebirgsaufbrüche der Salzlagerstätte, sind aber schlecht aufgeschlossen und tiefgründig verwittert. Die Werfener Schichten stehen mit zwei lithologisch unterschiedlichen Ausbildungsformen am Anfang der Karbonatsedimentation. Die Typischen Werfener Schichten (*Werfener Formation*) kommen im Bereich der *Hallstätter Zone* nur äußerst selten vor. Hier sollen ein kleines Vorkommen im *Hallstätter Hochtal* und ein weiterer Aufschluss im Schutt am Fuß der *Zwerchwand* bei Ischl Erwähnung finden. Vorkommen wie zum Beispiel im Bereich von *Sankt Agatha* mit Aufschlüssen der Werfener Formation gehören der *Dachsteindecke* an und stehen nicht in ursprünglicher Verbindung mit den Salzvorkommen der Hallstätter Zone. Es können zwei Ausbildungsformen unterschieden werden:

- Die grauen Werfener Schichten sind nach LAIMER (2006) quarzreiche, graugrüne, feinsandige bis siltige Gesteine mit einem Lagenbau im Zentimeter- bis Dezimeterbereich. Zahlreiche Sedimentstrukturen wie Rippelmarken, Schrägschichtungskörper und faunistische Hinweise belegen ein flachmarines Absatzmilieu.

- Die bunten Werfener Schichten sind meist violette bis rötliche glimmerreiche Tonschiefer. Gegen das Hangende wird der Karbonatgehalt höher und es kann zur Ausbildung von sandigen, teilweise etwas bituminösen *Werfener Kalken* kommen.

### **Mittel- und Obertrias der Dachsteinfazies:**

#### **Wettersteindolomit Ladinisch bis Unterkarnische Wettersteinformation:**

Der weiße, teilweise gelbe bis schmutziggraue *Wettersteindolomit* baut den, der Traun ostwärts liegenden Teil der *Dachsteindecke* auf. Westseitig der Traun sind zum Beispiel Vorkommen am Südabhang der *Katrin*, im *Goiserer Weißenbachtal* und im *Ramsaugebirge* bekannt. Durch sekundäre diagenetische Dolomitisierung wurde das Primärgefüge zerstört und es entstand ein zucker- bis grobkörniges Sedimentgestein ohne Schichtung, welches grusig verwittert. Nach MANDL (2001) ist der Großteil des *Wettersteindolomites* der Dachsteindecke dem lagunären Bereich zuzuordnen.

### Rhätische Kössener Schichten:

Einschaltungen von graubraunen Mergeln und dunklen mergeligen Kalken im rhätischen Anteil des tirolischen Dachsteinkalks ziehen sich als schmales Band von der *Hohen Schrott* bis in die *Rettenbachklamm* herüber und sind dort an einer einzigen Stelle in einer tiefen Erosionsrinne zwischen steil stehenden Dachsteinkalkbänken aufgeschlossen. LAIMER (2006) erwähnt zudem ein kleines Vorkommen in der Nordwand des *Höhersteins*.

### Mittelnor- bis rhätisch gebankter Dachsteinkalk:

Am *Rettenbach* tritt ein im Meterbereich gebankter Dachsteinkalk der *Loferer Fazies* auf. Dieses Gestein ist weiß bis bräunlichgrau, mikritisch bis oolithisch aufgebaut und weist eine zyklische dreiphasige Sedimentation auf, welche durch eustatische Meeresspiegelschwankungen, tektonische Einflüsse und Klimaveränderungen während der Sedimentation erklärt wird. In einem Entwicklungszyklus werden über Karbonatgeröllen einer vorherigen Erosionsphase bis halbmetermächtige Algenmatten, sogenannte *Loferite* und bis zu fünf Meter mächtiger *Megalodontenkalk* abgelagert. Der gebankte *Dachsteinkalk* setzte sich in einer Lagune an einer Riffrückseite in sehr flachem Wasser bei stetig fallendem Untergrund ab. Neben dem gebankten Dachsteinkalk wurde auch ein massiger Riffkalk in diesem Gebiet beobachtet.

### Mittel- und Obertrias der Hallstätter Fazies:

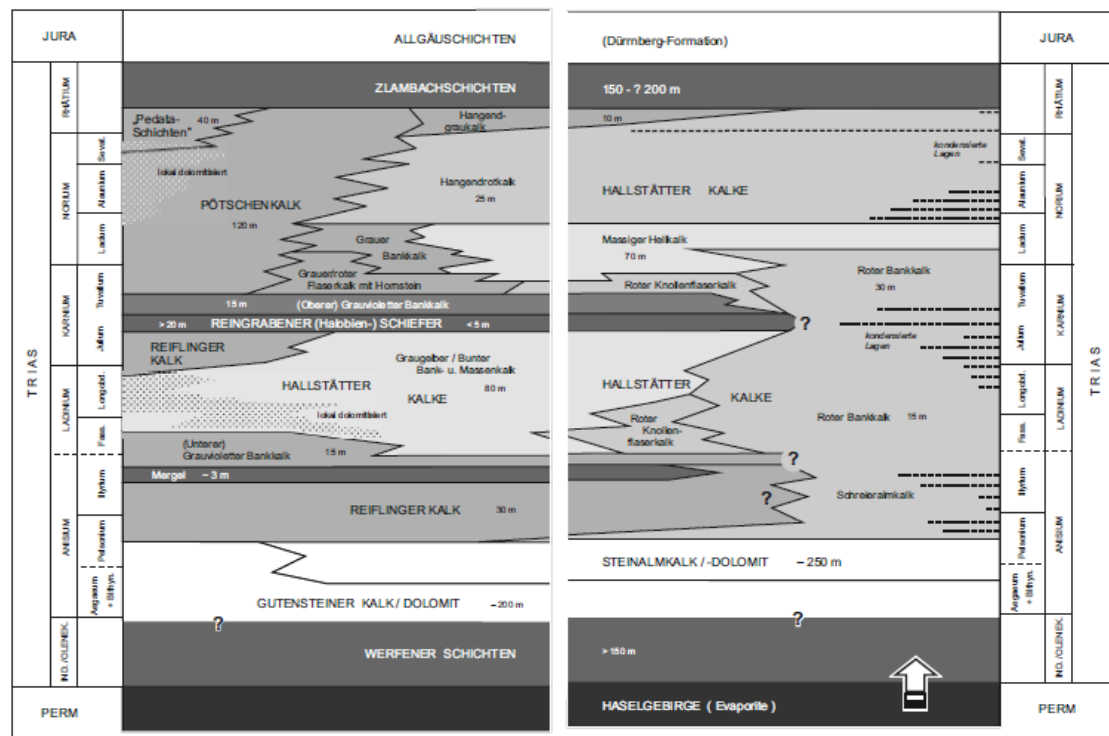


Abb. 1: Zeittafel der Trias der Hallstätter Fazies aus MANDL et. al. (2012):  
Erläuterungen zur Geologischen Karte Blatt 96 Bad Ischl

MANDL (1984) nimmt eine mittel- bis oberanisische Reliefumgestaltung durch Salzdiapirismus – also durch aus tieferen Schichten aufgestiegenes Material in der südlich der Karbonatplattformen angrenzenden Flachsee an. Die Sedimente der Hallstätter Fazies wurden in einer Becken- und Schwellenlandschaft sedimentiert, die zur Ausbildung verschiedener Gesteine führte. In den Becken wurde die *Hallstätter Graufazies* abgelagert, im sich hebenden Schwellenbereich die *Salzbergfazies*. Durch synsedimentäre Bruchtektonik kam es innerhalb der Salzgebirgsfazies zu Kluftsystemen, die mit teilweise fossilreichen Spaltenfüllungen verschlossen wurden.

#### **Anisischer Gutensteiner Dolomit:**

Der dunkelgraue, bituminöse *Gutensteiner Dolomit* mit deutlich erkennbarer Schichtung im Zentimeter- bis Dezimeterbereich verzahnt partiell mit dem *Steinalmkalk*. Wechsellagerungen von grauen Dolomitbänken mit millimeterdicken schwarzen Einschaltungen, brekziös-sedimentärer Bänken, dunklen Kalkalgen und dolomitischen Tonschiefern können beobachtet werden. Im Arbeitsbereich ist diese Gesteinsserie schlecht aufgeschlossen. Ein kleines Vorkommen, welches von PISTOTNIK (1972) nördlich des *Kleinen Rosenkogels* unterhalb von Hallstätter Kalken beschrieben wird, ist hier einzuordnen.

#### **Anisischer Steinalmkalk und Dolomit:**

Es handelt sich um einen hellgrauen Rückriff – Seichtwasserkalk mit roten tonigen Zwischenhäuten. Es ist eine massige, sekundär dolomitisierte, grobzuckerkörnige Variation von fast weißem *Steinalmdolomit* zu beobachten.

#### **Oberanisisch bis unterkarnischer Buntdolomit:**

Hier handelt es sich um eine Sonderfazies im Grenzbereich zu den *Reiflinger Schichten*. Ein Vorkommen an der Felsstufe, welche im oberen Teil den *Sandling-Schuttstrom* im Westen begrenzt, handelt es sich nach neueren Arbeiten, zuletzt HÖCHERL (1991), um Buntdolomite.

Von der Mitteltrias bis ins untere Karn setzte die untere karbonatische Hallstätter Entwicklung ein, die im mittleren Karn durch das Reingrabenevent unterbrochen wurde. In der Unterbrechungsphase wurden die *Reingrabenschiefer* sedimentiert, in der restlichen Obertrias setzte die obere karbonatische Hallstätter Entwicklung wieder ein. Letztere gliedert sich in die Graufazies und die Buntfazies.

Die *Reingrabner Schiefer*, auch oft als *Halobienschiefer* bezeichnet, bestehen aus hartem, schwarzbraunem bis schwarzem Tonschiefer oder etwas weicherem Mergelschiefer. Die Halobienschiefer wurden im Arbeitsgebiet nur an der *Leislingwand* mit fünf Metern Mächtigkeit aufgeschlossen. Die lithologische Entwicklung kann als rhythmisch bezeichnet werden, diese Wiederholungen werden durch das sogenannte Reingrabenevent (MANDL 2000), ein terrigenes tektonisches Ereignis, unterbrochen.

#### **Hallstätter Graufazies:**

#### **Obernorisch- bis rhätische Zlambachschiechten:**

In der obersten Trias wird erstmals durch das Auftreten der *Zlambachschiechten* eine terrigen beeinflusste Sedimentation angezeigt. Lithologisch handelt es sich um graubraune bis dunkelgraue Tone, Mergelschiefer, Mergel, fleckige Mergelkalke und in geringer Menge dunkle Biogen-Schuttkalke.

Stellenweise ist an der Basis Hallstätter Kalk aus der Transgression eingelagert, im Hangenden dominieren die weichen Mergel des Beckenzentrums. PISTOTNIK (1972) gliedert die Zlambachschichten in tiefere, dem Beckenzentrum zugeordnete Sedimente, und höhere, den Schwellenbereichen angerechnete Mergel. Die servatischen *Zlambachmergel* verzahnen im *Stambachgraben* mit der *Hallstätter Buntfazies*.

### **Oberkarnische bis obernorische Pedataschichten:**

Diese ebenflächig gebankten Beckensedimente werden als distaler Teil der Schuttfächer des Vorriffes angesehen. Die lithologische Entwicklung zeigt ein breites Variationsspektrum innerhalb der *Pedataschichten*.

Dunkle Plattenkalke in einer Wechsellagerung mit schwarzen Mergelkalcken und helleren hornsteinführenden Kalcken, welche den Hauptanteil dieser Formation ausmachen. Diese hellen hellgrau bis braunen, arenitischen Biogenschuttkalke mit deutlicher Bankung und massigen Dolomitpartien weisen auf eine nahe Karbonatplattform hin.

### **Oberkarnisch bis Norischer Pötschenkalk:**

Hell- bis dunkelgraue im Dezimeterbereich gebankte Kalke mit welligen Schichtflächen. Sie führen Hornsteinknollen und graugüne Tonzwischenlagen. Dieser Kalk kommt in der *Zlambachfazies* vor und bildet oft das Hangende der Pedataformation.

### **Hallstätter Buntfazies:**

#### **Anisich bis unterkarnische Hallstätter Kalke des unteren Abschnittes:**

Der graugelbe Bank- oder Massenkalk (*Fassan bis Jul*) und der grauviolette Bankkalk (*Fassan*) bilden zusammen die Hauptmasse der mitteltriadischen Hallstätter Kalke.

Über der *Gutenstein- und Steinalm Formation* wird im *Pelson bis Illyr* in seichten Lagen der rote, gut gebankte *Schreieralmkalk* sedimentiert. Im Hangenden folgt der illyrisch- bis tuvalische rote *Bankkalk*, der in der Mitteltrias mit rotem *Knollenflaserkalk* des *Fassan bis Langobard* und partiell mit dolomitisiertem, graugelbem Bank- und Massenkalk verzahnt.

#### **Oberkarnische bis obernorische Hallstätter Kalke des oberen Abschnittes:**

Der Hangendrotkalk des *Lac-Sevat* ist ein fossilreiches, plattig bis wellig ausgebildetes Sedimentgestein und mikritisch. Im Hangenden geht dieser Kalk zum hell- bis weißlichgrauen servatischen Hangendgraukalk über. Im oberen Abschnitt trifft man auf den Roten Bankkalk, einem hellroten, im Dezimeterbereich gebankten Biomikrit mit den von MANDL (1984) beschriebenen Kondensations- und Subsolutionserscheinungen von Eisen- und Manganoxiden. Es handelt sich um eine Ablagerung extremer Schwellenzonen. Es konnten Wechsellagerungen und Übergänge zu massigem *Hellkalk* oder auch rotem Knollenflaserkalk beobachtet werden.

Der meist weiße gebankte Hellkalk des *Tuval bis Lac* ist massig ausgebildet, fossilarm und mikritisch. Vom roten Knollenflaserkalk des Tuval ist ein etwa 15 Meter mächtiges Vorkommen an der *Leislingwand* in der *Raschbergmasse* bekannt geworden.

### **Jura**

An der Wende von der Obertrias zum Jura endet die Faziesdifferenzierung der Mittel- Obertrias und es kommt zu einem weitgehenden Faziesausgleich (*Allgäu Formation*) mit untergeordneten speziellen Entwicklungen.

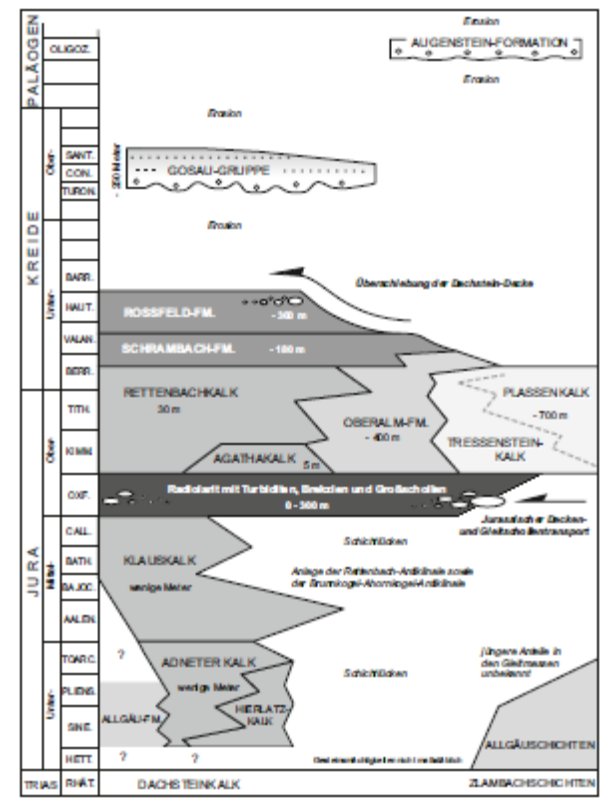


Abb. 2: Zeittafel Jura und Kreide aus MANDL et. al. (2012):  
Erläuterungen zur Geologischen Karte Blatt 96 Bad Ischl

### Die Allgäu Formation des Lias bis Dogger:

Am Beginn des Jura senkte sich der austroalpine Schelfbereich. In den (durch submarine Schwellen getrennte) Trögen eines tiefen Flachmeeres wurden graue Mergel und fleckige Kalke abgesetzt, deren Sedimentation den gesamten *Lias* bis *Dogger* andauerte.

### Klauskalke des Dogger, Adneter- und Hierlatzkalke des Lias:

Wegen der geringen Verbreitung in diesem Bereich fasst LAIMER (2006) diese Kalke in einer Gruppe zusammen. Der wenige Meter mächtige flasrig-knollige *Adneter Kalk* und der fast massige, vorwiegend aus *Crinoidendetrius* aufgebaut *Hierlatzkalk*, wurden beide in einer flachen liassischen See abgelagert. Der rotbraune, flasrig-knollige - partiell ammonitenreich – lagert vielerorts mit basaler Schichtlücke dem Untergrund auf. Sowohl im *Klauskalk* als auch im *Adneter Kalk* deutet das Vorkommen von Eisen- und Manganknollen auf Mangelsedimentation in beständig oxidierenden marinen Milieu hin.

### Radiolarit – Ruhpolding Formation des Callovien bis Oxford:

Diese Gesteine zeigen den Bereich der größten Meerestiefe im *Oxford* an. Der Radiolarit wurde in einem Tiefseebecken unterhalb der Kalk-Kompensationsgrenze abgelagert. In dieses Tiefseebecken sind im Rahmen einer jurassischen Gleitschollentektonik die heutige Hallstätter Zone sowie die Dachsteindecke eingeglichen (TOLLMANN 1981, MANDL 1984).

Es handelt sich um dunkelgraue (durch Kieselschwämme und Radiolarien bedingte) kieselige Ablagerungen der Tiefsee mit einer Schichtung im Zentimeter- bis Dezimeterbereich. Im Arbeitsgebiet kann, bedingt durch geringe Sedimentationsraten, nur eine Mächtigkeit bis maximal 30 Meter festgestellt werden.

### **Polymikte Brekzien:**

In Kieselsedimenten, welche den *Oberjura* unterlagern, sind zum Beispiel im Bereich des *Sandling* polymikte Brekzienkörper eingeschaltet, welche Materialumlagerungen im Zuge der jurassischen Großschollentektonik dokumentieren.

### **Agathakalk des Kimmerige:**

Rote bis rotbraune, selten hellgraue, knollige Einschaltungen in den *Oberalmer Schichten* und dem *Tressensteinkalk* mit schlecht erhaltenen Cephalopodenresten, früher als „*Acanthicuskalk*“ bezeichnet, kommt im Salzkammergut in geringer Mächtigkeit bis maximal zwei Metern vor.

### **Tressensteinkalk des Kimmeridge bis Thiton:**

Hier handelt es sich um einen beigen, hellbraun bis gelblichweißen, massig- bis dichtbankigem, aus bis zu 75 Prozent Feinschutt aufgebautem Kalk, der im Arbeitsgebiet eine Mächtigkeit von maximal 90 Metern aufweist. Er wird als Riffschuttkalk im Übergang vom Seichtwasserbereich zu tieferen Räumen zugeordnet. Dieser Kalk macht den Großteil der Oberjura-Seichtwasserkarbonate zwischen *Anzenberg* und *Sandling* aus. Die Bezeichnung *Tressensteinkalk* ist ein Lokalname für den *Barmsteinkalk* und ist der *Oberalm Formation* zugehörig.

### **Plassenkalk des Kimmeridge bis Berrias:**

Ein weißer bis hellbrauner massig mikritischer Typ bildet den Liegendteil dieser Fazies. Der biosparitische Plassenkalk ist in Bezug auf die Fauna durch Korallen, Hydrozoen und Nerineen geprägt. Am Anfang der alpinen Orogenese kam es zu morphologischen Aufragungen im Bereich des Beckens durch Hebung und es konnten Plattformkarbonate sedimentiert werden.

### **Bunter Oberjurakalk des Malm:**

MOJSISOVICZ definierte 1905 den *Rettenbachkalk* als „wohlgeschichtete, weiße, graue und rötliche Kalkbänke ohne oder nur mit sehr untergeordneten Hornsteineinschlüssen“ und betrachtete ihn als Variante der Oberalmer Schichten. Aus der Sicht späterer Bearbeiter dürfte MOJSISOVICZ aber auch unterlagernde triassische und jurassische Gesteine miteinbezogen haben, sodass seit Einführung der Benennung Unklarheiten über die Begriffsfassung bestanden. Heute wird dieser Kalk zum Barmsteinkalk gestellt und ist ein Glied der Oberalm Formation.

### **Barmsteinkalk des Thiton bis Berrias:**

Bräunliche Kalkarenite mit dicker Bankung, mikritisch-sparitischer Grundmasse und sporadischer Hornsteinführung. Es handelt sich um eine, in die Oberalm Formation eingelagerte Mass-flow Ablagerung. Heute werden diese Kalke den Oberalmer Schichten zugeordnet. Der Barmsteinkalk bildet eine Einschaltung in den Oberalmer Schichten und gehört ebenfalls zur Oberalm Formation.

### **Oberalmer Schichten des Thiton bis Berrias:**

Zeitlich parallel zu den vorher erwähnten Plattformkarbonaten im Seichtbereich kam es in den tieferen Becken zur Ablagerung der Sedimente der Oberalmer Schichten. Die größte Sedimentationsrate wird dem *Thiton* zugeschrieben. Es handelt sich um mittel- bis dunkelgraue im Dezimeterbereich ebenflächig gut gebankte tonige und hornsteinreiche fossilreiche Kalke mit dünnen Mergelzwischenhäuten.



Am Sandling sind zum Beispiel diese Schichten rund 80 Meter mächtig. Im Arbeitsgebiet ist eine Mächtigkeit von bis zu ca. 260 Metern zu beobachten.

## Kreide

### **Schrambachschichten der Alpenen Unterkreide:**

Die Sedimentation des Oberjuras wurde in der Kreide allmählich durch terrigene Einflüsse verändert und es kam zur Ablagerung der kretazischen *Aptychenkalke* der Schrambachformation. Es handelt sich hierbei um dichte, hellgraue bis hellrötlichbraune, graufleckige Mergelkalke und Kalkmergel, mit muscheligen Bruch und Schichtpaketen bis zu 15 Zentimetern. In der kalkmergeligen Fazies können auch Feinsandbänke eingelagert sein.

### **Rosfeldschichten, ebenfalls der Unterkreide zugeordnet:**

Schwarzblaue, dunkelbraun verwitternde Sandsteine und Sandkalke werden der höheren Schrambach-Formation zugeordnet. Im unteren Bereich sind noch Mergel und turbidische Sandsteinbänke zu beobachten, die Konglomeratbänke der *Oberen Rosfeldschichten* sind geprägt von tiefmarinen Debris-Flows. Diese Gesteine werden als Relikte einer tiefmarinen Rinnen- Hangfazies gedeutet. In ihre Bildungszeit fallen die austroalpinen Bewegungen. Gleitblöcke und ein-sedimentierte Fremdkomponenten können beobachtet werden. Durch MEDWENITSCH (1949) wurde ein solcher Sedimentationstyp als „*Ischler*“ *Brekzie* publiziert

## Tertiär:

### **Die Augensteinsande des Unteroligozäns bis frühes Untermiozän:**

Kleinste, nur punktuelle Vorkommen verschiedener Sandsteine, Sande und Mergel werden dieser Formation zugeschrieben. Sie sind im Arbeitsgebiet jedoch nicht relevant.

## Quartär bis Rezent:

Die auf dem Kartenausschnitt (Abbildung 3) ausgewiesenen Relikte des letzten Abschnittes unserer Erdgeschichte sind im ganzen Salzkammergut verbreitet, deswegen soll auf diese Epoche hier nicht weiter vertiefend eingegangen werden.

### **Geologische Übersichtskarte des Arbeitsgebietes:**

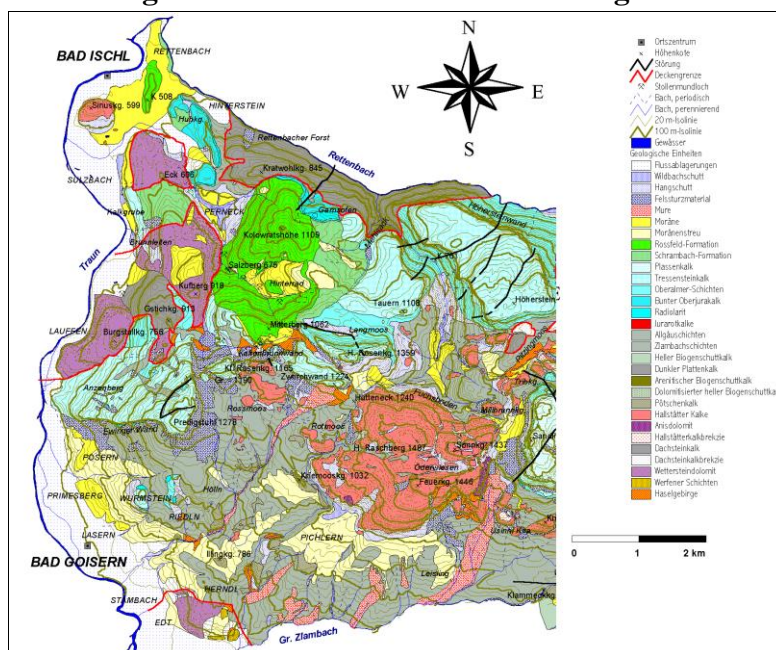


Abb. 3: Ausschnitt aus der der geologischen Karte von H. J. LAIMER (2006)

## TEKTONIK

### **Die Tektonik der Hallstätter Zone von Ischl bis Aussee:**

Die Hallstätter Zone von Ischl bis Aussee (juvavisch) lagert im Norden der *Tirolischen Staufens-, Höllengebirgs- und Totengebirgsdecke* auf und wird im Süden einige Kilometer weit von der juvavischen Dachsteindecke überschoben. Bei einer normalen triadischen Faziesabfolge der Nördlichen Kalkalpen müsste die *Dachsteinfazies* zwischen der *Hallstätter Fazies* und der *Hauptdolomitfazies* positioniert sein. Aufgrund der anfangs beschriebenen Lage nimmt die Hallstätter Zone im Rahmen der Erforschung der Nördlichen Kalkalpen eine Sonderstellung ein, und die tektonischen Vorgänge standen lange in kontroverseller Diskussion.

Mit Edmund von MOJSISOVICZ startete ab 1903 die Klärung der Tektonik dieses Bereiches. Zuerst stufte man tiefe Rinnen zwischen den mächtigen Dachsteinkalken als Ablagerungsraum der autochthonen *Hallstätter Schollen* ein.

Drei Jahre später (HAUG 1906) wurde ein erstes Schubdeckenmodell publiziert, weitere fünf Jahre später folgte durch J. NOWAK ein zweites Schubdeckenmodell. 1924 versuchte R. STAUB eine Kombination der beiden vorgenannten Modelle zu erzeugen. Die Detailforschungen gingen bis Anfang der 1980-iger Jahre weiter (TRAUTH 1937, ZANKL 1967, MANDL 1980) bis TOLLMANN (1981) ein neues Konzept entwickelte, in der er für das Salzkammergut eine dreiphasige Gleittektonik annimmt, ausgehend von drei triadischen Hallstätter Kanälen, wobei die *Mio-hallstätter Kanäle*, der *Nord-* und *Mittelkanal* fast exklusiv die norische und rhätische Graufazies repräsentieren. Es handelt sich hierbei um obertriadische Beckenbereiche, die zwischen den Seichtwasserplattformen der *Dachsteinkalke* und des *Tirolikums* einsanken. Südlich der Dachsteindecke schloss der *Euhallstätter Südkanal* vor dem Übergang zur tiefmarinen *Tethys* mit pelagischer Buntfazies ab dem Anis an. Im *Obermalm* kippte der äußerste Kalkalpensüdrand auf, was zum Eingleiten des Euhallstätter Kanals gegen Nord führt. Im Salzkammergut gleiten Teile des Südkanals über die Dachsteinmasse hinweg bis in den Bereich des *Grundlsees*, andere Teile werden auf den Nordkanal zwischen *Ischl* und *Aussee* und auch noch weiter nach Norden verfrachtet. TOLLMANN fasst die hallstätterkalkreichen Schollen des Euhallstätter Kanals als *Mitterndorfer Decke* zusammen. Die Dachsteindecke selbst wird vor- und nachgosauisch weiter gegen Norden transportiert und auf die Hallstätter Decke aufgeschoben.

MANDL (2001) weist auf Ableitung der Hallstätter Schollen aus verschiedenen Sedimentationsräumen hin, wodurch auch TOLLMANN'S Darstellungen mehrfach verändert werden. MANDL nimmt die paläogeographische Lage der Hallstätter Schollen des Salzkammergutes südlich der Dachsteindecke als wahrscheinlich an.

### **Die tektonische Entwicklung:**

In der *Trias* werden südlich der kalkalpinen Karbonatplattformen über den oberpermischen bis untertriadischen Evaporiten geringmächtige Gesteine der Hallstätter Fazies abgelagert. Nördlich einer Hebungszone sinkt im *Lias*, *Dogger* und *Unteren Malm* der kalkalpine Flachwasserschelf ab und es entwickeln sich im untersten Malm durch Schwellen getrennte Teilbecken. Darauf folgt eine Radiolaritbildung. Beim Beginn der ersten plattentektonischen Einengung gleiten die Hallstätter Ablagerungen von ihrer evaporitischen Basis in Richtung Norden in die tirolischen Radiolaritbecken ein. Durch die Gleitbewegung über das Haselgebirge kommt es zu Schollenzerlegung, Brekzienbildung und Schuttströmen. Die Hallstätter Schollen reißen dabei an Schwachstellen (sogenannte Salinarscheitel) mit geringerer Dicke durch, und die Zone von Ischl–Aussee dringt im *Oxford* weit auf die Tirolische Basis vor. Im Bereich *Zwerchwand – Hoher Rosenkogel* ist eine stark reduzierte triadische Schichtenfolge mit Salinarscheitel zu beobachten.

Im *Oberen Malm (Kimmeridege bis Tithon)* wird das Radiolaritbecken weitgehend durch Sedimente der Oberalm Formation erfüllt. Diese transgredieren am Nordrand des Beckens direkt auf tirolischem Dachsteinkalk. MANDL (2000) nimmt an, dass sich über den Hallstätter Schollen Seichtwasserbedingungen einstellten und erneut Riffbildungen einsetzten. Die Oberalm Formation mit dem Tressensteinkalk macht den Großteil dieser neoautochthonen Bedeckung aus, und plombiert mit der *Jochwand, Anzenberg, Rosenkogel Zwerchwand, Tauern und Sandling* die jurassische Gleittektonik im Bereich Ischl-Aussee (LAIMER 2006).

In der *Unterkreide* setzt sich die siliziklastische Ablagerung mit der *Rossfeld- und Schrambach Formation* (die Schrambach Formation setzt direkt über der Oberalm Formation ein und besteht nicht aus siliziklastischen sondern aus mergeligen Gesteinen über der Schrambach Formation und sedimentiert die Rossfeld Formation mit vorwiegend siliziklastischen Gesteinen) in der Ischler Unterkreidemulde fort. Am Südrand dieser Mulde entsteht durch die *Rossfeld-Tiefseerinne* ein bedeutendes Gefälle. Durch weitere Einengungen wird die Dachsteindecke nach Norden transportiert und die *Gamsfeldmasse* überschiebt die Ischl-Aussee Zone samt Jura- und Unterkreidebedeckung um einige Kilometer. Der Aufschub der Dachsteindecke auf die Ischl-Ausseezone wird durch MANDL (1982) mit Unterkreide angenommen. Durch die Ablagerungen der Gosaugruppe wird dieses Stadium fixiert, im *Turon* beginnen erste Hebungen und die Verlandung. In der Hauptphase der alpinen Orogenese im *Eozän* erfolgen bedingt durch weitere nord-südgerichtete Einengungen weitere Deformationen des Deckenstapels. Ab dem *Miozän* ist in den Ostalpen eine Fluchtschollenbewegung in Richtung Ost dominierend. Ein Teil der zentral-alpinen Bewegungen wird an sinistralen Blattverschiebungen in die Nördlichen Kalkalpen, wie zum Beispiel das als untermiozän bis karpatisch eingestufte *Königssee-Lammertal-Traunsee-Blattverschiebungs-System*, übertragen.

### **Die Lokaltektunik:**

Die lokalen tektonischen Verhältnisse sind ein Konvolut aus Salztektunik, alpidischer Tektonik und rezenter Hangtektonik. WEIGERT stellte 1971 fest, dass die Störungszonen der alpidischen Orogenese zum Teil syndementäre, salinar beeinflusste Anlagen haben.

### **Zusammenstellung der wichtigsten Störungen im Bereich Ischl-Aussee:**

#### **Totes Gebirge:**

Nordwestlich des *Altaussee Sees* über das *Hochklapfsatteltal* bis zur *Nestlergrube* verlaufen im Abstand von ein bis zwei Kilometern Täler, die nordostorientierten Störungen folgen.

#### **Höherstein:**

BUCHHOLZ hat 1999 am *Höherstein* vier Störungen kartiert, welche die Tressensteinkarbonatplatte in nordost-südwestlicher Richtung durchlaufen. Die beiden mittleren Störungen weisen einen Versatz um nur wenige Meter auf.

#### **Tauern-Hoher Rosenkogel-Zwerchwand:**

Diese von FAUSER (1998) aufgenommenen südwest-nordoststreichenden Aufschiebungen haben sehr große Ähnlichkeit zu denen am benachbarten *Höherstein*. Diese Strukturen sind durch ihre fast senkrechte Störungsspur mit geringem Versatz gekennzeichnet. Aufgrund des hohen Zerlegungsgrades des *Tressensteinkalkes* sind sie allerdings nicht weit verfolgbar. Der Aufschiebungscharakter wird durch eine deutliche Schleppung der Oberalm Formation gekennzeichnet, welche beiderseits der Störungsfläche sichtbar wird.

Der *Hohe Rosenkogel* und die *Zwerchwand* waren ursprünglich eine gemeinsame Jurakalkscholle, die durch den Aufstieg des *Salinars* in zwei 40 Grad nordnordost fallende Teile zerbrach. Zwei kleine Abschiebungen am Nordabhang des Hohen Rosenkogels werden dem Aufstieg des Haselgebirges zugeordnet.

### **Anzenberg - Großer und Kleiner Rosenkogel:**

RÖNNAU publiziert 2001 Nordost-Südweststörungen mit Abschiebungscharakter am *Anzenberg*. In einem *Tressensteinkalk* mit bis zu 50 Meter breiten Bruchstrukturen wird vom Haselgebirge mergelig-kieseliges Material in die Störung gepresst und an die Oberfläche gedrückt. Der Gipfelbereich des *Predigtstuhls* (eine Jurakalkplatte) wird von Störungen durchzogen. Die in der westlichen *Ewigen Wand* deutlich sichtbaren Störungen werden als gestaffelte Abschiebungen gedeutet. Die Ostwand des *Predigtstuhls* wird durch ein Störungssystem vom Großen Rosenkogel getrennt. Diese Störung verläuft über die *Stammbachwand* und den *Illingkogel* bis zum Hallstätter See. Eine nordwest-südost streichende Störung trennt die Hallstätter Entwicklung (Brekzie, Anisdolomit, Hallstätter Kalk) nördlich *Arzmoos* von der Tressenstein Formation der westlichen Zwerchwand. Im Bereich des *Eisenarzes* wird diese Trennlinie durch einen Graben belegt.

### **Sandling:**

Bedingt durch den Kompensationsunterschied zwischen *Malmkalkplatte* und aufdringendem Haselgebirge ist das gesamte *Sandlingplateau* intensiv zerklüftet. Die altbekannte *Sandlingstörung* (ebenfalls in Nordost-Südwestrichtung), die den *Plassen* vom *Lahngangkogel* trennt, verläuft im Westen des Hallstätter Sees zum *Hornkogel*, durchquert den Sandling und endet im *Kargraben im Toten Gebirge*. Ein zweiter, orthogonal zur Sandlingstörung verlaufender Bruch verläuft vom *Gumitzkogel* bis zum Nordrand des Plateaus und gabelt sich dort. Der Nordwestast kann bis in die Hallstätter Kalke des *Tribkogels* verfolgt werden, der zweite Ast durchörtert zumindest das Ganze Jurapaket.

### **Raschberg:**

Nach einer Detailaufnahme des *Raschberges* durch RESCH(1998) wurde die Tektonik dieses Bereiches revidiert. Die *Raschbergmasse* wurde durch die alpidische Tektonik gestaucht und bildet eine nordvergente Antiklinale mit einem steil nach Norden abfallenden Vorderschenkel, dem *Hohen Raschberg* und *Sonnberg* und einem flach nach Süden einfallenden Rückschenkel, dem *Feuerkogel* und *Leislingkogel*. Im Antiklinalkern, dort tritt die höchste Beanspruchung auf, hat sich eine west-ostverlaufende Scherfläche gebildet. An dieser tektonischen Schwächezone wurden weiche Gesteine wie die der *Zlambach-* und *Allgäu-Formation* und aller Wahrscheinlichkeit nach Haselgebirge ausgepresst. Die Erosion im *Zlambachgraben* entfernte das Widerlager der im Antiklinalkern abgerissenen Kalkschollen und führte zu hangtektonischen Prozessen in Form zweier großräumiger Talzuschübe (LAIMER 2006). Die *Raschbergscholle* bewegt sich auf der mergeligen Basalfläche gegen Norden und ist durch zahlreiche Abrisskanten und Spalten gekennzeichnet. Der *Sonnkogel* ist von der Raschbergscholle durch ein Nord-Süd angelegtes Spaltensystem getrennt. Die *Scheiblingscholle* ist durch Gleitvorgänge unterschiedlich stark zerrissen und bewegt sich west- bis südwestwärts. Das Bruchsystem zwischen Raschberg und Feuerkogel reicht bis in die östliche Scheiblingscholle hinein und es dominieren hier West-Oststrukturen. Der Schollenwestteil ist im Bereich des *Schwarzenbachlochs* von nord-südstreichenden Extensionssystemen geprägt.

Im folgenden Teil soll hier auf einzelne interessante Bereiche im Bereich *Perneck-Salzberg* wie Kleinlagerstätten und Schmelzplätze näher eingegangen werden.

### **Das Arzloch bei Perneck:**

Unweit der Ortschaft *Perneck* befindet sich in einem Graben am Weg zur *Hoisenradalm* ein den Bewohnern von Perneck lange bekannter kleiner Schurf, der auch „*Gstecka – Höhlenloch*“ genannt wird. Der Eingang erinnert an eine natürliche Höhle, direkt nach dem Portal sind bergmännische Bearbeitungsspuren ersichtlich. Über diesen Schurf konnten bis dato keine Aufzeichnungen in den Archiven aufgefunden werden.

Im September 2020 wurden wir von DI JOHANN KRANABITL und HORST FEICHTINGER auf dieses Vorkommen hingewiesen und konnten daraufhin mit HORST FEICHTINGER, FRANZ KRANABITL, DI JOHANN KRANABITL den Aufschluss aufsuchen. Unser Dank gilt dem Grundbesitzer, Herrn FRANZ SIMS, Perneck, für die Erlaubnis der Arbeiten auf seinem Grundstück!

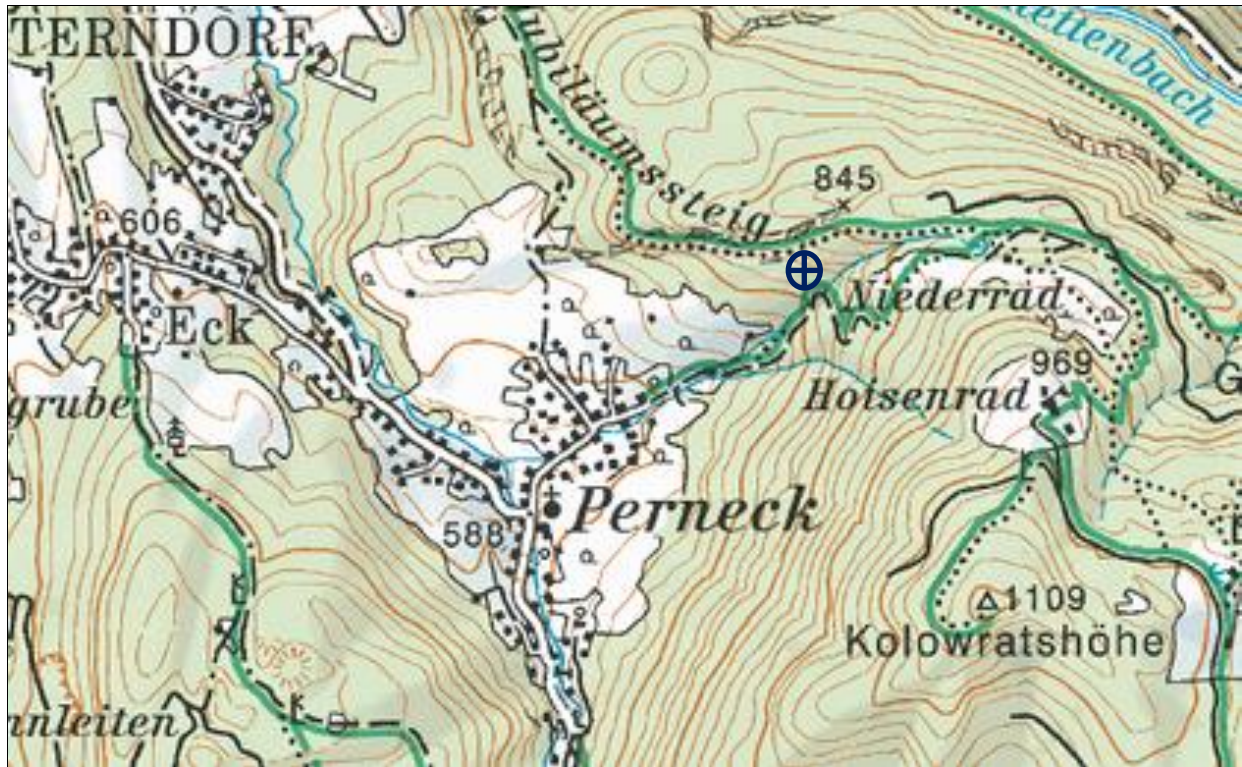


Abb.4: Lage des Arzloches (Zielkreis), Ausschnitt aus der ÖK 1:50.000 Bad Ischl

### Geologie:

Das kleine Erzvorkommen *Arzloch* liegt in einer schmalen Zone von hellem triadischem gebanktem Dachsteinkalk (auf der Karte im nachfolgenden Kartenausschnitt mit 58 gekennzeichnet) nahe der Grenze zu jurassischen mergelig- kalkigen *Allgäuschichten* (Nummer 54 ebenfalls im nachfolgenden Kartenausschnitt) des *Lias* bis *Dogger*. Der Schurf ist in einer Nord-west-Südost ausgerichteten schmalen Schwächungszone angelegt. Durch die Verkarstungsfähigkeit des Kalkes bildeten sich Taschen, Schläuche und Karsthohlformen, die sich mit Eisenoxiden und Eisenhydroxiden - entstanden durch Verwitterungslösungen lateritischer Roterden und eisenhaltiger Dolomite, SEEMANN (1979) - füllten. Solche Bildungen sind auch unter anderem vom *Gaisberg bei Molln* (ARTHOFFER 1995) und dem Bereich um *Annaberg* und *Türnitz* im südlichen Niederösterreich (HAGENGUTH et al. 1982) oftmals auch in Verbindung mit Bleierzen bekannt. Aus diesem Grund wurden Proben aus diesem Bereich mittels energiedispersiven Spektrometer X-Max 20 von Oxford Instruments auf Spurenelemente untersucht.

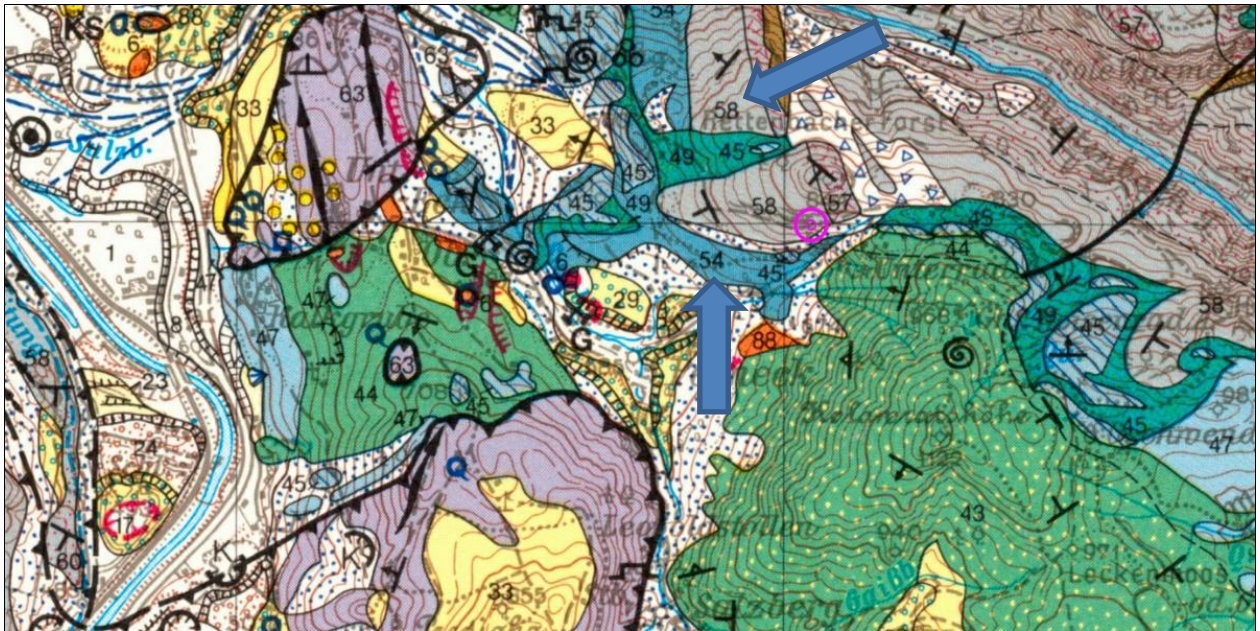


Abb.5: Ausschnitt aus der Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000 Bad Ischl (vergrößert)

### Die Vererzung:

Die Vererzung selbst besteht aus unregelmäßig geformten, oft fladenförmigen Erzaggregaten, die im Inneren porös sind und im Wesentlichen aus zwei eisenhaltigen Phasen (bereits freiäugig unterscheidbar durch hellere und dunklere Färbung) bestehen und netzartig aufgebaut sind. Die Größe der Erzbrocken schwankt von einem Zentimeter Durchmesser bis zu Dimensionen von 30 mal 30 Zentimetern bei einer Dicke von zwei Zentimetern.

Probe 32 zeigt eine Analyse (energiedispersives Spektrometer X-Max 20 von Oxford Instruments) der hellbraunen Eisenphase, Probe 33 die der dunkelbraunen Phase. Zur Ermittlung der Struktur der Eisenphasen wurde als Untersuchungsmethode Ramanspektrometrie gewählt, um die Phasen eindeutig zuordnen zu können.

Es handelt sich beim beprobten Material um *Lepidokrokit* (PR 32) und *Goethit* (PR33) in der Hauptmasse, Schwermetalle und weitere bergmännisch interessante Metalle konnten in den Proben des Arzloches nicht nachgewiesen werden, somit wird ein reiner Versuchsbau auf Eisen belegt.

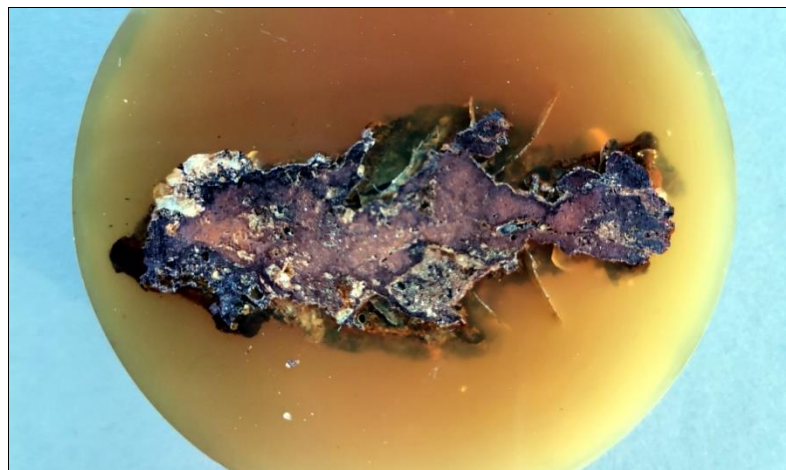


Abb.6: Anschliff einer Erzprobe im Schräglicht vom Arzloch. Man beachte die poröse Struktur, sowie die helle und dunkle Phase. Breite der Probe 50 Millimeter. Sammlung und Foto P. Arthofer

| Spectrum 3699 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 31,43 |           | 60,3     |         |
| Mg            | K series  | 0,02                   | 0,00015 | 0,42  | 0,07      | 0,52     | 0,69    |
| Al            | K series  | 0,04                   | 0,00028 | 0,61  | 0,06      | 0,69     | 1,15    |
| Si            | K series  | 0,13                   | 0,00104 | 1,82  | 0,06      | 1,99     | 3,89    |
| P             | K series  | 0,02                   | 0,00013 | 0,21  | 0,05      | 0,21     | 0,49    |
| S             | K series  | 0,02                   | 0,00015 | 0,2   | 0,05      | 0,2      | 0,51    |
| Cl            | K series  | 0,01                   | 0,00013 | 0,17  | 0,05      | 0,15     | 0       |
| Ca            | K series  | 0,06                   | 0,00057 | 0,67  | 0,06      | 0,51     | 0,94    |
| Fe            | K series  | 4,98                   | 0,04983 | 64,46 | 0,22      | 35,43    | 92,16   |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 99,83   |

| Spectrum 3700 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt %  | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
|               |           |                        |         |       |           |          |         |
| O             |           |                        |         | 31,07 |           | 60,24    |         |
| Mg            | K series  | 0,02                   | 0,00011 | 0,3   | 0,05      | 0,38     | 0,49    |
| Al            | K series  | 0,03                   | 0,00022 | 0,47  | 0,05      | 0,54     | 0,89    |
| Si            | K series  | 0,11                   | 0,00084 | 1,44  | 0,05      | 1,59     | 3,07    |
| S             | K series  | 0,01                   | 0,00012 | 0,16  | 0,04      | 0,15     | 0,39    |
| Ca            | K series  | 0,06                   | 0,00055 | 0,62  | 0,06      | 0,48     | 0,87    |
| Fe            | K series  | 5,26                   | 0,05264 | 65,94 | 0,2       | 36,62    | 94,28   |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

| Spectrum 3701 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 30,69 |           | 60,2     |         |
| Al            | K series  | 0,03                   | 0,0002  | 0,28  | 0,04      | 0,32     | 0,52    |
| Si            | K series  | 0,13                   | 0,00102 | 1,12  | 0,04      | 1,25     | 2,39    |
| Ca            | K series  | 0,05                   | 0,00041 | 0,3   | 0,04      | 0,23     | 0,42    |
| Fe            | K series  | 8,43                   | 0,0843  | 67,62 | 0,15      | 38       | 96,68   |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

| Spectrum 3702 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 30,79 |           | 60,3     |         |
| Al            | K series  | 0,03                   | 0,00024 | 0,34  | 0,04      | 0,39     | 0,64    |
| Si            | K series  | 0,12                   | 0,00094 | 1,04  | 0,04      | 1,16     | 2,22    |
| S             | K series  | 0,02                   | 0,00018 | 0,16  | 0,03      | 0,15     | 0,39    |
| Ca            | K series  | 0,03                   | 0,00025 | 0,18  | 0,04      | 0,14     | 0,25    |
| Fe            | K series  | 8,34                   | 0,08343 | 67,49 | 0,16      | 37,86    | 96,49   |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

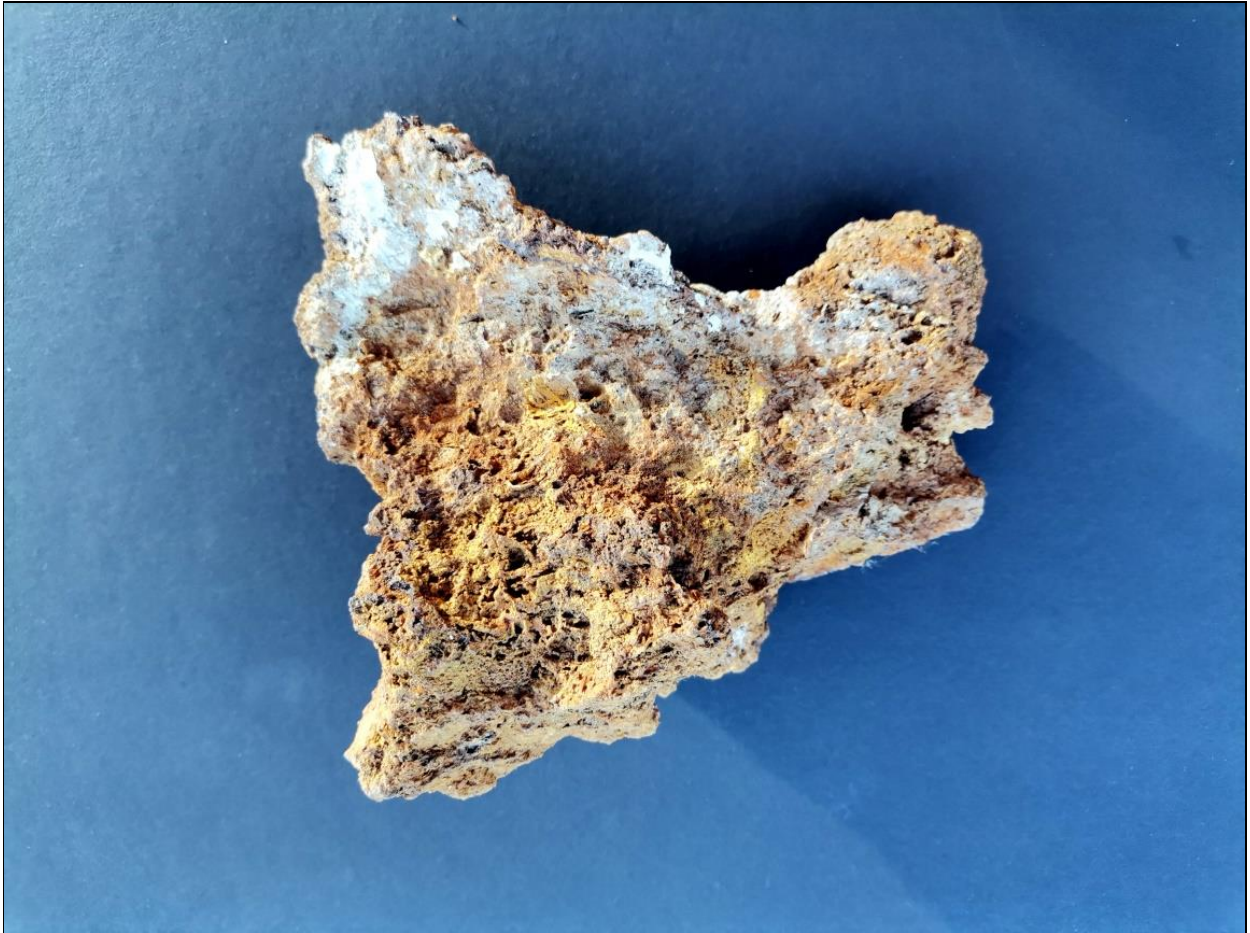


Abb.7: Eisenerzkongregation aus dem Arzloch bei Perneck. Breite der Probe 13 Zentimeter.  
Sammlung und Foto P. Arthofer

### **Die bergmännische Tätigkeit beim Arzloch:**

Da, wie bereits vorher erwähnt, keine Unterlagen über diesen Bergbau zur Verfügung standen, wurde von den Verfassern 2020 eine Neuvermessung der Anlage mit MICHAEL HOFFELLNER begonnen, die 2021 fertiggestellt wurde. Es wurde ein Plan der Anlage inklusive der Halden erstellt. Bei den Arbeiten konnte auch das zerkleinerte Erzmaterial, welches nicht abtransportiert wurde, gehäuft zu einer kleinen Halde, festgestellt werden. Der Dimension des Erzügels nach zu urteilen dürfte es sich um das gesamte Erzfördergut des Versuchsbaues handeln. Der Stollen hat eine Gesamtlänge von zirka 16 Metern bei einem Höhenunterschied vom tiefsten zum höchsten Punkt von zirka sechs Metern. Der größte Teil ist händisch mit Bergeisen geschrämt und Spuren des Feuersetzens sind vorhanden. Im Eingangsbereich ist ein Bühnloch am linken Ulm zu sehen. Es sind im Bereich dieser Anlage keine Spuren von Bohrungen festzustellen.



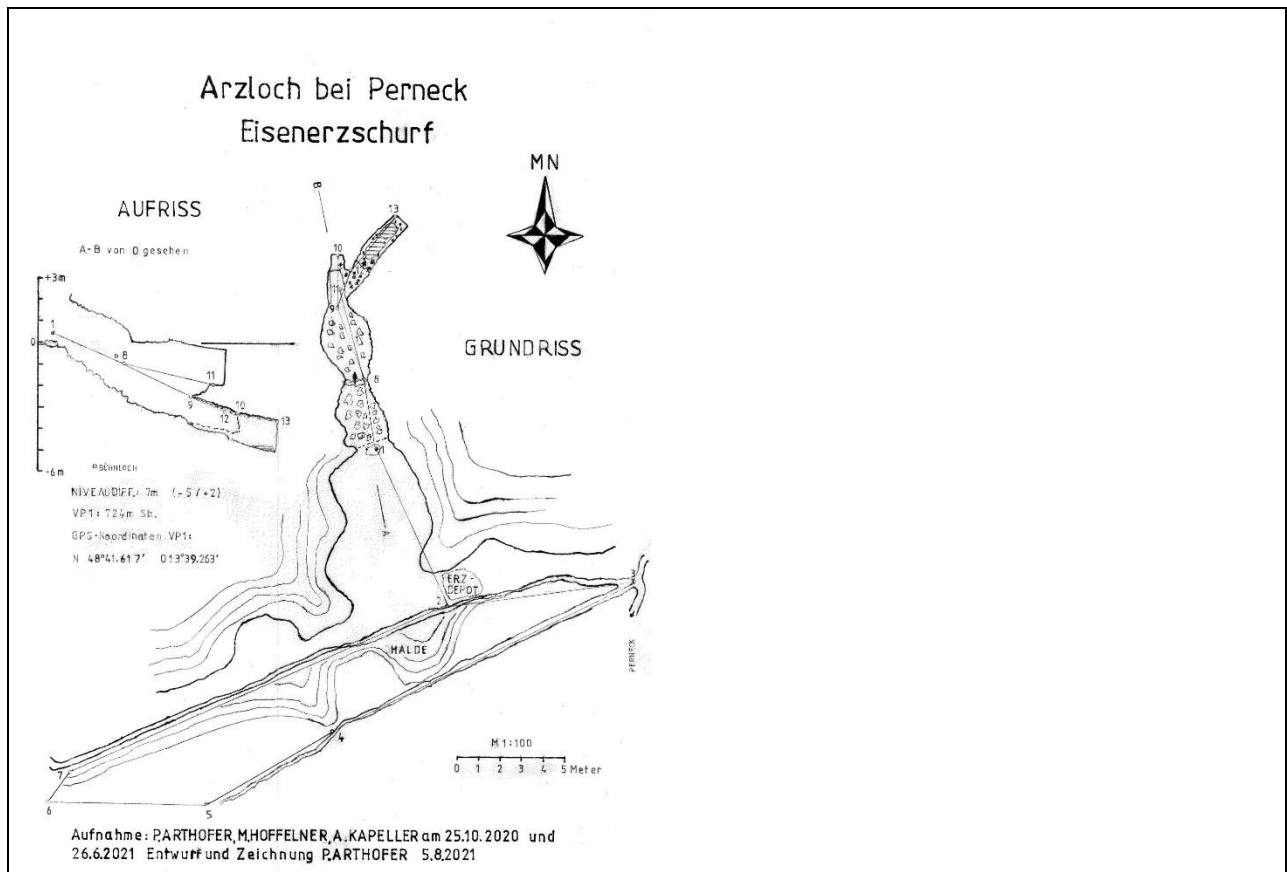


Abb.8: Neuaufnahme des Arzloches bei Perneck, (verkleinert)



Abb.9: Portal des Arzloches bei Perneck. Foto P. Arthofer, Steyr



Abb.10: Vererzung in Situ, Arzloch bei Perneck. Foto P. Arthofer, Steyr

#### **Das Alter des historischen Abbaues:**

Diesen Abbau chronologisch einzuordnen gestaltet sich, nur begründet auf die Funde einzelner Bergeisen, deren Form und Gewicht jenen der Reinfalzalme entsprechen, aber nicht charakteristisch für eine zeitliche Einordnung sind (REIBNAGEL 2013), als äußerst schwierig. Auch die bergmännische Abbautechnik hat sich über lange Zeit im Wesentlichen nicht geändert. Bei den Untersuchungen aufgefundene seltene keramische Scherben, welche eine ungefähre Datierung ermöglichen, sowie der Befehl vom 15. September 1562, die Arbeiten auf Eisen zu Gunsten des Salzabbaues einzustellen, veranlassen uns, diesen Abbau in die aktive Zeit des Bergbaues auf der *Reinfalzalme* zu stellen, also in die Zeit um etwa 1460 bis 1560. Für Arbeiten die 1694 durch GEORG FASCHL veranlasst wurden, passen die keramischen Funde nicht.



Abb.11: Bergeisen aus den Halden des Arzloches bei Perneck. Das untere Eisen hat eine Länge von neun Zentimetern. Sammlung und Foto P. Arthofer



Abb.12: Handgeschrämte Stollenbrust im Arzloch bei Perneck. Foto P. Arthofer, Steyr

### **Die Erzverhüttung im Bereich beim Leopold Stollen:**

Im ersten Teil unserer Arbeit über die Umgebung von *Perneck* im Vorjahr (ARTHOFFER & KAPPELLER 2020) haben wir bereits auf die bleihaltigen Proben in den Scheidehalden der *Reinfalzaln* sowie die bleireichen Schlacken hingewiesen.

ANTON DICKELBERGER beschreibt in seiner Salinen-Geschichte Oberösterreichs 1817 ausführlich, und vermerkt, dass über den Eisensteinbau und die Vitriolsiederei so wenige Informationen in den alten Quellen erhalten geblieben sind. Die Reste einer Verhüttung im Bereich des *Leopold Stollens* fanden durch AIGNER (1878), mit Ergänzungen aus seinen Erkenntnissen in den 1820-iger Jahren Eingang in die Literatur. In der Folgezeit wurde der Bereich der Schlackenfunde immer wieder im Schrifttum unter der Bezeichnung „Eisenschlacke“ erwähnt, allesamt auf der Bezeichnung des Erzliefergebietes Eisenarz basierend.

FRIEDRICH MORTON beschäftigte sich 1952 mit römischen Eisenschlacken aus der *Hallstätter Lahn* (MORTON 1952). Es wurde damals der Versuch einer Zuordnung der Hüttenabfälle zu bekannten Abbauen der engeren Umgebung unternommen. Die *Erze der Reinfalzaln und vom Rötelsstein bei Aussee* wurden im Labor der VOEST in Linz auf ihre Beimengungen analysiert. Die Ergebnisse der damaligen Analyse der Reinfalzerze finden sich in der Tabelle. Interessant ist hierbei der Mangangehalt der Roherze, der in der frühen Neuzeit im metallurgischen Prozess nicht ausgebracht werden konnte. Der durchschnittliche Mangangehalt mehrerer Schlackenproben beim Leopold Stollen kann mittels quantitativer Analyse mit 5,4 Prozent angegeben werden. Das Fördergut der Reinfalzaln enthält nach Morton 5,65 Prozent Mangan, jenes von Aussee 7,62 Prozent Mangan.

Von ehemaligen Aufbereitungsanlagen und Schmelzöfen sind keine Relikte mehr aufzufinden, es konnten bis dato keine Beschreibungen oder Pläne dieser Anlagen aufgefunden werden. Da die Einstellung der Schmelztätigkeiten mit dem Jahre 1562 dokumentiert ist, resultiert daraus auch die Mindestliegedauer der Hüttenabfälle dieser Werksanlage von mindestens 460 Jahren.

Im Laufe der Zeit wurde der Bereich um den *Leopold Stollen* immer wieder baulichen Veränderungen unterworfen und diente unter anderem als Parkplatz für die Fahrzeuge der Touristen der Salzbergführung. Unseren neuesten Befunden nach, wurde die erste Ischler Soleleitung mitten durch die Reste der Hüttenanlage und die Schlackenhalde verlegt. Ein Teil davon konnte zusammen mit HORST FEICHTINGER, Perneck, im Frühling 2021 freigelegt werden.

In der Zwischenzeit haben die Verfasser eine größere Anzahl von Proben (Schlacken, die Zuschlagstoffe und nicht fertig verhüttetes Röstgut und beim Prozess weggespritztes Reinblei) zur Gewinnung von Analysenspektren gewinnen können. Der gesamte Querschnitt der Proben beweist das Vorliegen der Reste eines Bleiofens, und nicht wie in der älteren Literatur angegeben, einer Eisenverhüttung. Bei den Vorarbeiten zur Beschreibung der Schlackenphasen wurde bei der Durchsicht der Literatur (besonders über das Erzlager *Reinfalz*) immer klarer, dass hierzu umfangreichere Arbeiten nötig sind, um repräsentative Ergebnisse zu erhalten. Wir erhielten von der Leitung der Salinen Austria, Herrn DI MICHAEL LANTHALER die Erlaubnis, die *Stampfer Kehr des Ischler Salzberges* unter der sachkundigen Führung von Herrn DI THOMAS LEITNER zu befahren, Proben zu nehmen und weitere Einblicke in den Aufbau der Vererzung zu erhalten. Es handelt sich hier um einen Bereich, in welchem der Eisenerzgang der *Reinfalzalm* in 400 Meter Tiefe unter dem *Hütterstollen* angefahren wird.

Für viele sachkundige Hinweise und zusätzliche Unterstützung sei den Herren DI MICHAEL LANTHALER, Herrn DI THOMAS LEITNER herzlichst gedankt. Herrn MAG. MICHAEL MAYR danken wir für die Durchsicht unseres Manuskriptes und für seine zahlreichen Hinweise zur Geologie des Gebietes aus seiner 30-jährigen Erfahrung als Geologe im alpinen Salzbergbau und zahlreiche Diskussionen über das Gebiet um Bad Ischl.

Teilweise sind die vielen zur Verfügung stehenden Daten noch in Ausarbeitung, jedoch ergibt sich für den Abbau am *Reinfalz* mittlerweile ein schlüssiges Bild:

Anfangs wurde auf der Reinfalz die Oxidationszone der Lagerstätte abgebaut. Diese bestand hauptsächlich aus einer Kalkbrekzie in Verbindung mit Limonit, Eisenkarbonaten und kleinen Mengen von Galenit und Sphalerit, welche zu vernachlässigen waren. Diese Vererzung bescherte dem *Eisenarz* seinen Namen, und es wurde, wie auch anderenorts mit einem Eisenbergbau begonnen. Nach dem Durchhörtern des „Eisernen Hutes“ bot die Vererzung jedoch ein ähnliches Bild wie in der *Stampfer Kehr*. Trümmer von Kalkstein, sideritischem Material mit größeren Mengen an Galenit und Sphalerit vererzt, die es in dieser Konzentration zu gewinnen lohnte. Das Füllmaterial war mikrokristalliner sandiger Pyrit in brauchbarer Menge. Man stellte folglich den Betrieb um, begann aus dem Pyritsand Vitriol zu erzeugen und die Bleivererzung nahe dem *Leopold Stollen* zu verschmelzen.

| Erze Reinfalzalm               |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Analyse                        | Nr.1  | Nr.2  | Nr.3  | Nr.4  | Nr.5  |
| Fe ges.                        | 28,8  | 29,8  | 34,82 | 29,47 | 31,68 |
| Fe ++                          | 27,98 | 24,62 | 31,83 | 12,55 | 26,83 |
| Fe +++                         | 0,82  | 5,18  | 12,99 | 16,92 | 4,85  |
| Mn                             | 5,15  | 6,04  | 6,91  | 4,64  | 5,51  |
| SiO <sub>2</sub>               | 1,2   | 0,62  | 2,54  | 20,32 | 0,46  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,29  | 0     | 0,75  | 5,35  | 0     |
| CaO                            | 0,62  | 0,67  | 0,56  | 0,72  | 0,62  |
| MgO                            | 8,66  | 10,42 | 5,09  | 2,64  | 11,07 |
| P                              | 0,013 | 0,005 | 0,007 | 0,016 | 0,003 |
| S                              | 1,74  | 0,49  | 0,012 | 0,07  | 0,152 |
| Pb                             | 6,54  | 1,69  | 0,15  | 0,11  | 0,07  |
| Zn                             | 1,96  | 1,42  | 2,28  | 1,52  | 0,66  |
| Glühverlust                    | 32,01 | 33,68 | 28,68 | 16,39 | 34,87 |
| K <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  |       |       |       | 2,55  |       |

| Mineralogische Zusammensetzung |        |       |       |                  |       |        |
|--------------------------------|--------|-------|-------|------------------|-------|--------|
| Analyse                        | Nr.1   | Nr.2  | Nr.3  |                  | Nr.4  | Nr.5   |
| FeCO <sub>3</sub>              | 57,55  | 51,03 | 45,3  |                  | 26    | 55,6   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,17   | 7,4   | 18,55 |                  | 24,2  | 6,92   |
| MnCO <sub>3</sub>              | 10,75  | 12,61 | 14,47 | MnO <sub>2</sub> | 7,35  | 11,53  |
| SiO <sub>2</sub>               | 1,2    | 0,62  | 2,54  |                  | 20,32 | 0,46   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,29   | 0     | 0,75  |                  | 5,35  | 0      |
| CaCO <sub>3</sub>              | 1,11   | 1,2   | 1     |                  | 1,29  | 1,1    |
| MgCO <sub>3</sub>              | 18,12  | 21,8  | 10,64 |                  | 5,51  | 23,13  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,03   | 0,01  | 0,01  |                  | 0,04  | 0,01   |
| PbS                            | 7,55   | 2,18  | 0,16  |                  | 0,13  | 0,08   |
| ZnCO <sub>3</sub>              | 3,76   | 2,72  | 4,36  |                  | 2,91  | 1,26   |
|                                |        |       |       | K <sub>2</sub> O | 2,55  |        |
| Summe                          | 101,53 | 99,57 | 97,78 |                  | 95,65 | 100,09 |

| Auswertung für geröstete Erze  |       |       |       |                  |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|
| Analyse                        | Nr.1  | Nr.2  | Nr.3  |                  | Nr.4  | Nr.5  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 41,13 | 42,52 | 49,75 |                  | 42,13 | 45,32 |
| Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> | 7,15  | 8,36  | 9,6   |                  | 6,45  | 7,64  |
| SiO <sub>2</sub>               | 1,2   | 0,62  | 2,54  |                  | 20,32 | 0,46  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,29  | 0     | 0,75  |                  | 5,35  | 0     |
| CaO                            | 0,62  | 0,67  | 0,56  |                  | 0,72  | 0,62  |
| MgO                            | 8,66  | 10,42 | 5,09  |                  | 2,64  | 11,07 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,03  | 0,01  | 0,02  |                  | 0,04  | 0,01  |
| PbO                            | 7,05  | 1,82  | 0,16  |                  | 0,12  | 0,08  |
| ZnO                            | 2,44  | 1,77  | 2,84  |                  | 1,89  | 0,82  |
|                                |       |       |       | K <sub>2</sub> O | 2,55  |       |
| Summe ber.                     | 68,57 | 66,19 | 71,31 |                  | 82,21 | 66,02 |
| Summe gef.                     | 67,99 | 66,32 | 71,35 |                  | 83,61 | 65,13 |

Tab. 1: Analyse der Reinfalzerze aus MORTON 1952

Über die Grundsätze zur Eisenverhüttung wurde bereits im ersten Teil dieser Arbeit eingegangen.

## **Grundsätzliches zu den Verfahrenstechniken der Bleierzverhüttung:**

Schlacken sind allgemein als erstarrte Silikatschmelzen anzusprechen, die nichtmetallische und metallische Beimengungen der Roherze aufnehmen und abführen (BODE 2008). Die chemische Zusammensetzung wird durch das Reicherz, die Gangart, die Zuschläge und die praktizierte Verhüttungstechnik bestimmt. Die Eigenschaften der silikatischen Schmelze, wie Viskosität, thermische Eigenschaften, Liquidustemperaturen und das Verteilungsverhalten von Spurenelementen zwischen Festkörper und Schmelze, hängt vom Anteil nichtbrückenbildender Sauerstoffe - dem Anteil von Metalloxiden - ab. Äußere Einflüsse sind Prozess Temperatur, Sauerstoffpartialdruck und die Abkühlungsgeschwindigkeit der Schmelze am Prozessende. Bei der Verhüttung speichern die Schlacken, die ein geringeres spezifisches Gewicht als die zu gewinnenden Metalle haben, die Prozesswärme und dienen als Oxidationsschutz. Ziel der Verhüttung ist, eine Schlacke zu produzieren, die möglichst geringe Menge des zu gewinnenden Metalls enthält, und bei geringer Dichte und Viskosität einen niedrigen Schmelzpunkt hat, wodurch ein optimales Absaugern der zu gewinnenden Metalle gewährleistet wird. Die Ausbildung bestimmter Phasenassoziationen ermöglicht nach BACHMANN (1980) eine grobe Einschätzung der Prozesstemperaturen im Ofen. Generell kristallisieren Schlacken mit  $\text{SiO}_2$  - Gehalten unter 35 Gewichtsprozenten, bei höherem Silikatanteil beginnen die Schlacken Glas zu bilden. Glasschlacken neigen nach TAFEL (1951) zu Unterkühlungserscheinungen und haben keinen genau definierten Schmelzpunkt.

### **Der Verhüttungsprozess:**

Schlacken der Bleiverhüttung bestehen im Wesentlichen aus den Elementen Si, Ca, Mg, Ba, Na, K, Al, Fe und Zn. All diese Elemente liegen als Oxide in der silikatischen Schmelze oder in den sich bei der Abkühlung bildenden Schlackenphasen vor (PERNICKA et BACHMANN, 1983, HAUPTMANN et al., 1988). In den Schlacken beim *Leopold Stollen* konnten auch unterschiedlich geringe Konzentrationen in oxidischer Form von Kupfer, Mangan und Arsen nachgewiesen werden. Edelmetalle wie Silber legieren fast ausschließlich mit dem Werkblei. Zur möglichst gesamten Schmelzung der Ofenbeschickung wurde im Altertum bei einer Temperatur von 950 bis 1200 Grad Celsius gearbeitet. Beim Einsatz von Blasebälgen wurde über Düsen Luft in die Ofenkammer geblasen und die Temperatur stieg schnell auf 1100 bis 1300 Grad Celsius an. Hohe Temperaturen gewährleisten einen guten Schlackenfluss und einen zügigen Verhüttungsprozess. Den Elementargehalten einiger Schlackenproben nach wurde die Ofenanlage im unteren Temperaturbereich gefahren, worauf später eingegangen werden soll.

### **Das Röst-Reaktionsverfahren:**

Es gibt zwei Wege, um Bleiglanz in metallisches Blei zu überführen. Die erste Möglichkeit ist das *einstufige Röst-Reaktionsverfahren*. Diese Methode wird bei reinen und reichen Erzen angewendet (Tafel 1951). Dazu wird das Erz im Ofen unter Luftzufuhr teilweise geröstet, damit die sulfidischen Bleierze, zuerst über Bleisulfat ( $\text{PbSO}_4$ ), zum Oxid umgewandelt werden. Bei Temperaturen von 500 bis 600 Grad Celsius dominiert die Produktion von  $\text{PbSO}_4$ . Bleioxid ( $\text{PbO}$ ) und  $\text{PbSO}_4$  können nun direkt mit dem verbliebenen Bleisulfid zu metallischem Blei und  $\text{SO}_2$ -Gas reagieren. Während des Prozessablaufes schwimmt die unaufgeschmolzene Beschickung, mit dem nötigen Brennstoff gemischt, auf dem sich nach und nach ausscheidenden Bleibad.

Die Reaktion von Bleiglanz mit  $\text{PbO}$  ist für die Metallabscheidung maßgebend. Unter Röstbedingungen kann sich im oberen Ofenbereich schon bei Temperaturen von 650 bis 700 Grad Celsius metallisches Blei bilden, welches noch vor der Schlackenbildung in den unteren Ofenbereich sickert. Nach Überschreitung des  $\text{PbS/PbO}$ -Eutektikums bei 790 Grad Celsius wird die Umwandlung beschleunigt. Die optimale Reaktionsgeschwindigkeit erfolgt ab 850 Grad Celsius, nach Eintritt des Schmelzflusses aller Komponenten im Ofen.

Es sollten trotzdem Temperaturen von zirka 1200 Grad Celsius für eine optimale Schlackenbildung angestrebt werden.

Die zweite gängige Methode, Blei zu gewinnen, ist das **zweistufige Röst-Reduktionsverfahren**. In ersten Schritt wird der Bleiglanz geröstet, um den Schwefel zu entfernen. Das nun vorliegende Bleioxid wird mit Holzkohle zu Bleimetall reduziert. Die Reduktion kann in offenen Herden weit unterhalb von 800 Grad Celsius ausgeführt werden. Das Rösten der Erze hat mehrere Vorteile: es vereinfacht die Zerkleinerung der Erzstücke und verwandelt Sulfide, Chloride und Karbonate in Oxide. Die Erze sollten aber auch beim zweistufigen Röst-Reduktionsverfahren so rein wie möglich sein. Es gestattet die sofortige Ausscheidung der Hauptmenge des Bleis bei der Reduktion und erzeugt damit sehr reines Blei (TAFEL et al.1953). Nach modernen wirtschaftlichen Maßstäben sollte die untere Grenze des Bleigehaltes (BODE 2008) des Erzgutes bei 60 Prozent liegen. Der Beschickung darf bis zu fünf Prozent Kalkstein zugeschlagen werden, höchstens aber zwölf Prozent, da sonst die Bildung von CaS die Bildung von PbSO<sub>4</sub> unterdrückt, und die Bleiausbeute herabgesetzt wird. Noch effektiver wäre Bariumoxid Zuschlag, der aber, wie aus den Analysen zu entnehmen ist, im zur Verfügung stehenden Material nicht nachgewiesen werden konnte. Bariumoxid entzieht dem Bleiglanz den Schwefel schon bei 200 bis 400 Grad Celsius. Der Kalkstein setzt als positive Nebenwirkung den Schmelzpunkt herauf und ermöglicht auf diese Weise eine vollständige trockene Röstung. Bariumoxid wirkt hingegen wie Fluorit schmelzpunktsenkend. Am Ende des Röstvorganges sollten noch etwa ein bis zwei Prozent Schwefel im Röstgut verbleiben, da vollständig entschwefelte Erze zu Staub zerfallen und der Schmelzpunkt des Werkbleis stark erhöht werden würde. Es wird zudem die Bleiausbeute negativ beeinflusst. Die Höchstgrenze des Zinkanteils liegt nach TAFEL et al. (1953) bei fünf Prozent. Diese Grenze wird nach Analysen nach MORTON (1952) und eigenen neuen Befunden unterschritten. Geringe Mengen freier Kieselsäure wirken sich beim Rösten des Erzes negativ auf den Prozess aus, da die Erzteilchen mit einer dünnen Haut von Bleiorthosilikaten überzogen werden, welche die Reaktivität verringert. Die Maximalmenge an SiO<sub>2</sub> darf fünf Prozent nicht übersteigen. Durch Kalkbeimischung wird der Kieselsäure entgegengearbeitet und das Blei wird während der Reduktion aus dem Silikat befreit. Fluorit, in den Reinfalzerzen nicht vorhanden, würde die Röstreaktion äußerst ungünstig beeinflussen und in größeren Mengen die Anwendung des trockenen Verfahrens unmöglich machen. Im Zweiten Schritt, der Reduktion des gerösteten Bleis kann man bei geringem Gehalt der Erze an Eisen und Kupfer die Fluoritzugabe und damit verbundene Schmelzpunkterniedrigung zu Nutze machen. Größere Eisen und Kupfermengen würden aber zu einer Steinbildung führen und die Charge verklumpen lassen, damit wäre das gewonnene Material unbrauchbar. Diese Vorgangsweise kommt auf Grund der Zusammensetzung des Reinfalzerzes nicht in Frage.

### **Vorgänge bei der Verhüttung:**

#### **Verhalten von Bleioxid bei der Verhüttung:**

Bleioxid besitzt eine gute Löslichkeit in der Silikatschmelze. Bei steigendem CO<sub>2</sub>/CO-Verhältnis bei der Verschlackung erhöht sich die Aktivität des PbO und damit auch linear der Bleiverlust an die Schlacke. Im Allgemeinen wird von der Schlacke mit steigender Temperatur weniger PbO resorbiert. In der Umgebung der Luftzufuhrdüsen ist mit höheren CO<sub>2</sub>/CO-Verhältnis zu rechnen, es wird aber auch die Temperatur in diesem Bereich gesteigert, somit ist mit geringerem Bleiverlust zu rechnen, da die Umwandlung von Kohlenstoff in CO<sub>2</sub> exotherm verläuft. Durch die in derselben Schlackenschicht unregelmäßige Bleiverteilung ist die Bilanzierung des Gesamtbleiverlustes ein schwieriges Unterfangen. Während des Röstprozesses entstehen bei 530 bis 700 Grad Celsius Bleimetasilikate und oberhalb 710 Grad Celsius Bleiorthosilikate, welche langsam auskristallisieren und in Schlacken äußerst selten anzutreffen sind (TAFEL et al 1953).

Der Einbau von Blei in technische Olivine und Pyroxene ist deutlich höher als bei natürlichen Kristallen, aber dennoch so gering, dass sie für die Abfuhr des Bleis in die Schlacke keine Rolle spielen.

### **Verhalten von Aluminiumoxid bei der Verhüttung:**

Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) kann bei Gehalten von über zehn Gewichtsprozent für den Hüttenprozess problematisch sein, da sich Schmelzpunkt und Viskosität der Schlacke deutlich erhöhen. Die Schlacke kann nach SCHREINER (2002) schlagartig einfrieren. Aluminium in größerer Menge stört, da es als Netzwerkformer fungiert und Ladungsdefizite verursacht, die durch andere Kationen ausgeglichen werden müssen. In geringen Anteilen ist  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in seinem Bindungsverhalten zu basischen und sauren Oxiden aber als eher unproblematisch zu sehen. Größere Mengen des Aluminiums können durch Mischglieder der Spinellreihe aufgenommen und der Rest im Schlackenglas gelöst werden.

### **Das Verhalten der Eisenoxide bei der Verhüttung:**

Ähnlich der Kupferverhüttung sind die Bedingungen der Bleiverhüttung nicht so streng reduzierend. Der Eisenanteil der Schmelze liegt generell in oxidischer Form vor. Das Siliziumdioxid stabilisiert generell das zweiwertige Eisen als Olivin und das Calciumoxid (als Calciumorthosilikat) das dreiwertige Eisen. Schwefelrestgehalte bilden zusammen mit anderen Komponenten den sogenannten Stein. Eine Reduktion der Eisenoxide ist nicht gewollt, da sich metallisches Eisen mit Blei vermengen kann, und das Werkblei unbrauchbar macht. Die Löslichkeit von Eisen in Blei selbst ist äußerst gering. Eisenführende Schlackenphasen sind in der Bleimetallurgie häufig anzutreffen, wobei das Eisen im Magnetit oder Ferritspinell gebunden ist. Ferritspinell ist in Schlacken mit mittleren bis hohen Eisenoxidgehalten vorhanden, bei adäquatem Calcium- und Eisenangebot ist auch eisenreicher Hedenbergit festzustellen. Bei sehr hohen Eisengehalten kommen in Schlackengläsern eisenreiche Fayalite vor. Bei Olivinen kann das Eisenoxid isomorph gegen Zinkoxid ausgetauscht werden. Auf diese Weise entstehen Mischreihen von Zinkfayalit bis zu Willemit.

### **Das Verhalten des Zinkoxides im Hüttenprozess:**

Die Hauptmasse des im Erz enthaltenen Zinks wird bereits durch die Röstung entfernt. Die Restmenge geht beim Hüttenprozess in die Schlacke oder wird reduziert und anschließend abgeraucht. Bei Zinkgehalten oberhalb 17 Prozent ist die Sättigungslöslichkeit des Zinkoxides im Schlackenglas erreicht und die Schlackenviskosität steigt erheblich, wodurch wieder mit hohen Bleiverlusten zu rechnen ist. Da viele der an der Schlacke beteiligten Komponenten wie Ferrite, Olivine und Pyroxene durch Substitution Zink einbauen können, wird in der Schmelze teilweise Zn inkorporiert.

### **Das Verhalten von Arsen im Hüttenprozess:**

Die Prozessparameter zur Speisebildung sind denen der Bleigewinnung sehr ähnlich. Die Hauptmasse des Arsens geht bereits während des Röstens verloren. Antimon (am Reinfalzerz und in der Schlacke nicht nachgewiesen) ist ebenfalls leicht abzurauchen. Bei reduzierender Ofenatmosphäre ist eine große Neigung zur Eisenarsenid- und Antimonidbildung festzustellen. Wenn die Bedingungen zur Speisebildung nicht optimal sind, so gehen nicht abgerauchtetes Arsen und Antimon teilweise ins Werkblei oder den Stein und als Oxid ins Schlackenglas über.



### **Die Stein- und Mattebildung:**

Die Affinität von Schwefel zur Sulfidbildung mit Eisen, Kupfer u.a. ist sehr hoch. Wenn nicht abgeraucht wird, kann sich zusätzlich zur Metall- und Speisephase, bei Schwefelgehalten über zwei Prozent, eine Steinphase bilden. Bei Gehalten unter zwei Prozent Schwefelgehalt in der Beschickung lösen das Werkblei und die Silikatschmelze einen Großteil der Sulfide. Der Stein liegt mit seinem spezifischen Gewicht zwischen Werkblei und Schlacke. Oftmals sind in der Schlacke Tröpfchen von Stein festzustellen.

### **Die Oxidphasen der Spinellgruppe:**

Ferritspinelle gehören immer zu den ersten Kristallisaten in der Schmelze und finden sich in fast allen Metallhüttenschlacken. Im Schlackenglas sind kleine Körnchen, Oktaederskelette oder scharfkantige Kristalle zu beobachten. Ferritspinelle bauen fast immer andere Kationen ein, welche das  $\text{Fe}^{2+}$  durch  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  oder  $\text{Zn}^{2+}$ , das  $\text{Fe}^{3+}$  durch  $\text{Al}^{3+}$  oder  $\text{Cr}^{3+}$  zumindest teilweise ersetzt werden. Charakteristisch sind für diese Spinelle nach TAFEL et al. 1953 auch  $\text{TiO}_2$ - Gehalte bis zwei Gewichtsprozent.

### **Die silikatischen Phasen der Schlacke:**

Die Olivinmischreihe hat große Bedeutung bei der Schlackenphasenbildung. Im Normalfall zeigt Olivin eine tafelige oder stengelige, seltener skelettartige Ausbildung. Vom Chemismus unabhängig sind Olivine sehr formenvariabel. Zonarbau mit magnesiumreichem Kern und eisenreicher Rinde sind mehrfach festgestellt worden. Die Olivinmorphologie kann Informationen über die Abkühlungsgeschwindigkeit der Schlacke geben. Bei sehr schneller Abkühlung bilden sich fiederförmige Olivine, bei langsamer Abkühlung kristallisiert der Olivin Tafelförmig. Je eisenreicher die Schlacke ist, umso mehr Zink wird bei der Olivinbildung in diesem eingebaut. In mittelalterlichen Bleischlacken aus dem Harz waren es sogar 12,75 Gewichtsprozent  $\text{ZnO}$  (CHAUDHURI et NEWSEKY, 1993). Fayalit ist in Schlacken über eine größere Bandbreite stabil. Willemit kommt in zinkreichen Schlacken vor und kann erhebliche Mangan- und Eisenmengen aufnehmen. Weitere wichtige silikatische Bestandteile der Schlacke sind Mitglieder der Pyroxengruppe, wobei in Bleischlacken am häufigsten Hedenbergit aufgefunden wurde (FRUND 1954), welcher bei etwa 1100 Grad Celsius kristallisiert, wenn genug  $\text{CaO}$  oder  $\text{MgO}$  neben  $\text{FeO}$  in der Schmelze vorhanden sind.

### **Schlackenglas:**

Bleioxid senkt den Schmelzpunkt der Schlacke stark. Bleireiche Schlacken mit hohem Silikatanteil neigen zur glasartigen Erstarrung, wenn geeignete Zuschläge zur Phasenbildung fehlen. Bei großen Anteilen basischer Zuschläge (zirka 45 bis 70 Prozent) werden bleiarmer Silikatschmelzen generiert, welche beim Erreichen einer Mindesttemperatur von 1.100 Grad Celsius sehr phasenreich (Olivin, Hyalophan, Klinopyroxen, Spinell) sein können.

### **Flussmittel und Zuschlagstoffe zum Hüttenprozess:**

Als Zuschlag werden Erze, Gesteine oder Schlacken verstanden, die den Prozess der Verhüttung optimieren sollen. Mit basischen Zuschlägen, wie oben beschrieben, werden Polymerisationsgrad und Viskosität herabgesetzt und der Anteil nicht brückenbildender Sauerstoffe erhöht. Beispiele dafür sind Baryt ( $\text{BaSO}_4$ ), Fluorit ( $\text{CaF}_2$ ), Calcit ( $\text{CaCO}_3$ ), Eisenoxide, Eisensulfide, Kalkstein und Quarz ( $\text{SiO}_2$ ). Mit dem Kalksteinzuschlag kann während des Verhüttungsprozesses an die damals übliche Obergrenze (nach neuen Erkenntnissen 12 Prozent) von 20 Prozent gegangen werden, da Calciumoxid eine starke Base ist und Bleioxid aus der Schlacke vertreibt. Magnesiumoxid reagiert ähnlich wie Calciumoxid, die Schlacke wird aber weitaus flüssiger. Quarz wird als Sand oder in kleinen Stücken zugeschlagen.

Ohne Siliziumdioxid ist eine dünnflüssige Schlacke kaum darzustellen. Es vereinigt sich schon bei niedriger Temperatur mit den basischen Zuschlägen, da es in der Hitze sehr reaktiv ist. Die hypothetischen Silikate wie zum Beispiel  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{Pb}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{PbSiO}_3$ ,  $\text{PbFeSiO}_4$  mit ihren niedrigen Schmelzpunkten ermöglichen es, bei Arbeitstemperaturen um die 1000 Grad Celsius flüssige Schlacken zu erzeugen.

Entscheidend für eine effektive Bleiverhüttung ist das Verhältnis zwischen Oxid und Silikat. Wichtige Oxide sind  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Je größer der Quotient  $\text{Oxid/SiO}_2$ , desto weniger Blei ist in den Schlacken gelöst. Als basisch reagierende Zuschläge sind vor allem Eisenerz, Kalk und Baryt gebräuchlich.

Aus den vorher beschriebenen Techniken und den Befunden der Reste der Schlackenhalde beim Leopold Stollen können folgende Rückschlüsse auf das Verfahren gezogen werden: Durch Funde von vorgerösteten Erzbrocken wird ein zweistufiges Röst- und Reaktionsverfahren belegt. Der Ofen selbst wurde mit einer Mischung aus Erz, Holzkohle (die als Brennstoff diente), hellem Kalkstein und Hornstein beschickt. Das Erz der Scheidehalde am Reinfalz (Galenit in Verbindung mit Kalzium-, Magnesium- und Eisenkarbonaten) wurde auf Grund des niedrigen Silikatanteils mit Hornstein (Siliziumdioxidzuschlag) gemischt, um den optimalen Silikatgehalt für den sauren Fluss zu erreichen.

### Das Fundgut:

Im Wesentlichen umfasst das Fundgut der Schlackenhalde am *Leopold Stollen* Verhüttungsprodukte der Zone V und des oberen Bereiches der Zone IV sowie einzelne Relikte der Zone I, wie aus der idealisierten Darstellung der beigefügten Abbildung, geordnet nach der Dichte der Hüttenprodukte mit Anmerkungen über die typische Elementverteilung am Beispiel der Blei- und Silbergewinnung von *Monte Romero, Rio Tinto, Spanien* (nach KEESMANN 1993).

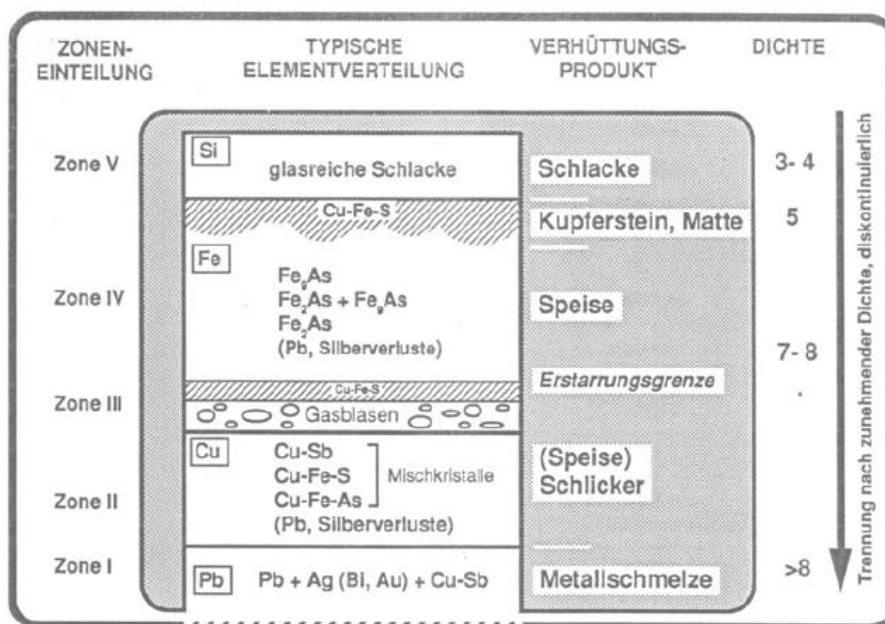


Abb.13: Idealisierte Darstellung der Zoneneinteilung beim Schmelzprozess nach KEESMANN (1993)

Die aufgesammelten Schlackenproben beweisen durch ihre Zusammensetzung und ihre - Mineralien analogen – Sekundärprodukte, dass im untersuchten Bereich zumindest temporär eine Verhüttung der „besseren“ Bleierze zur Bleigewinnung stattgefunden hat. Die Schlackenfunde können nach der Arbeit von DOONAN et al. (1996) nach dem makroskopischem Befund in drei Typen und einen Kombinationstyp unterteilt werden (siehe auch KRAUS et al. 2015).

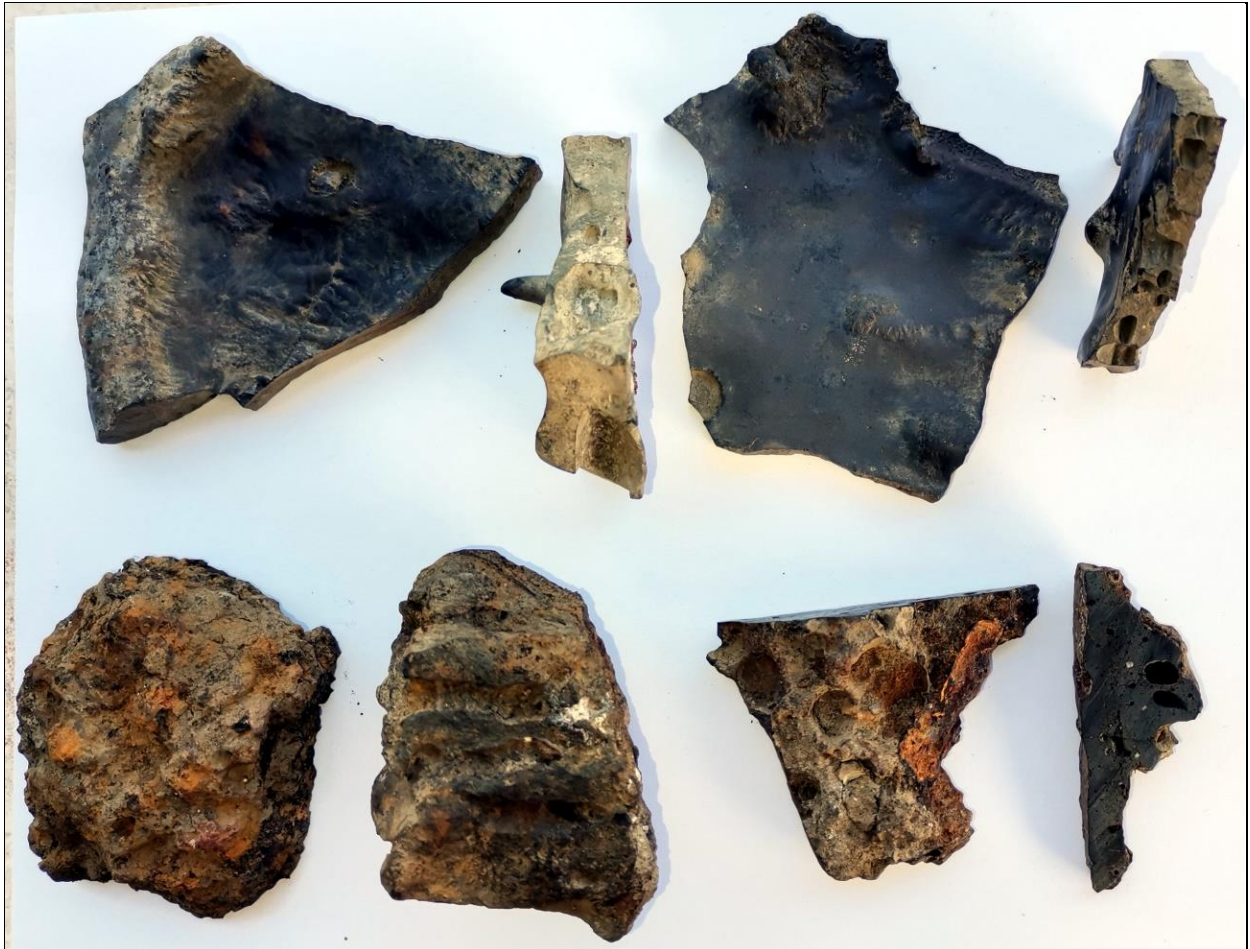


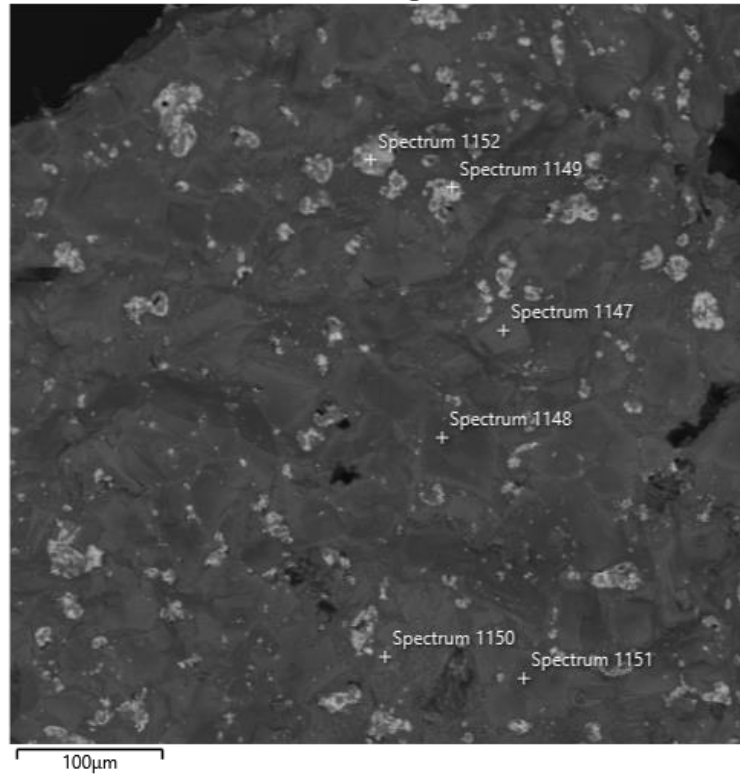
Abb.14: Schlacken des Verhüttungsplatzes beim Leopold Stollen. Oben links: Laufschlacke, oben rechts: Plattenschlacke, unten links: Blasenschlacke, unten rechts: Kombination aus Lauf- und Blasenschlacke.

*Plattenschlacken* sind von anthrazitschwarzer Färbung mit einer durchschnittlichen Dicke bis zu acht Millimetern

### **Spektren der Plattenschlacke:**

Das Bild zeigt die Struktur einer typischen Laufschlacke dieses Fundortes. Bei den dunkel gefärbten Partien mit Messmarkierung handelt es sich im Wesentlichen um Eisensilikate +/- Mangan und Magnesium, Eisen-Aluminiumoxide mit +/- Zink und Mangan der Spinellgruppe. Hell gefärbt handelt es sich um Bleianreicherungen mit teilweiser Umsetzung in Lithargit.

Electron Image 335



| Spectrum 1147 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 36,8  |           | 58,31    |         |
| Mg            | K series  | 1,86                   | 0,01243 | 7,99  | 0,06      | 8,33     | 13,25   |
| Al            | K series  | 0,06                   | 0,00041 | 0,23  | 0,03      | 0,22     | 0,44    |
| Si            | K series  | 4,69                   | 0,03967 | 18,29 | 0,08      | 16,5     | 39,12   |
| Ca            | K series  | 0,22                   | 0,00197 | 0,69  | 0,04      | 0,44     | 0,96    |
| Mn            | K series  | 2,1                    | 0,01793 | 6,89  | 0,1       | 3,18     | 8,89    |
| Fe            | K series  | 8,31                   | 0,06964 | 26,3  | 0,16      | 11,94    | 33,83   |
| Zn            | L series  | 0,49                   | 0,00322 | 2,81  | 0,09      | 1,09     | 3,5     |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

| Spectrum 1148 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 40,94 |           | 57,8     |         |
| Mg            | K series  | 6,47                   | 0,04315 | 20,36 | 0,08      | 18,91    | 33,75   |
| Si            | K series  | 5,76                   | 0,04865 | 19,41 | 0,08      | 15,61    | 41,52   |
| Ca            | K series  | 0,12                   | 0,00106 | 0,33  | 0,03      | 0,18     | 0,45    |
| Mn            | K series  | 1,39                   | 0,01186 | 3,96  | 0,08      | 1,63     | 5,11    |
| Fe            | K series  | 4,17                   | 0,03498 | 11,48 | 0,12      | 4,64     | 14,77   |
| Zn            | L series  | 0,9                    | 0,00594 | 3,53  | 0,08      | 1,22     | 4,39    |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

| Spectrum 1149 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 7,82  |           | 50       |         |
| Mn            | K series  | 0,15                   | 0,00128 | 0,21  | 0,06      | 0,38     | 0,27    |
| Fe            | K series  | 2,23                   | 0,01872 | 2,87  | 0,07      | 5,25     | 3,69    |
| Zn            | L series  | 0,14                   | 0,00093 | 0,35  | 0,06      | 0,54     | 0,43    |
| Pb            | M series  | 53                     | 0,47072 | 88,76 | 0,11      | 43,82    | 95,61   |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

| Spectrum 1150 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 28,69 |           | 53,98    |         |
| Mg            | K series  | 0,32                   | 0,00214 | 1,02  | 0,03      | 1,27     | 1,7     |
| Al            | K series  | 4,34                   | 0,03132 | 11,83 | 0,06      | 13,2     | 22,36   |
| Si            | K series  | 0,17                   | 0,00146 | 0,48  | 0,02      | 0,52     | 1,03    |
| Ca            | K series  | 0,07                   | 0,00058 | 0,12  | 0,02      | 0,09     | 0,17    |
| Ti            | K series  | 0,68                   | 0,00613 | 1,35  | 0,04      | 0,85     | 2,25    |
| Mn            | K series  | 1,34                   | 0,01139 | 2,69  | 0,06      | 1,47     | 3,47    |
| Fe            | K series  | 25,22                  | 0,21127 | 48,99 | 0,13      | 26,4     | 63,02   |
| Zn            | L series  | 1,1                    | 0,00729 | 4,81  | 0,08      | 2,22     | 5,99    |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

| Spectrum 1151 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 39,08 |           | 57,65    |         |
| Mg            | K series  | 4,77                   | 0,0318  | 16,26 | 0,07      | 15,79    | 26,97   |
| Al            | K series  | 0,12                   | 0,00086 | 0,43  | 0,03      | 0,37     | 0,81    |
| Si            | K series  | 5,2                    | 0,04399 | 17,99 | 0,07      | 15,12    | 38,49   |
| Ca            | K series  | 0,14                   | 0,00122 | 0,38  | 0,03      | 0,22     | 0,53    |
| Mn            | K series  | 1,71                   | 0,0146  | 4,96  | 0,09      | 2,13     | 6,41    |
| Fe            | K series  | 6,73                   | 0,05635 | 18,84 | 0,13      | 7,96     | 24,23   |
| Zn            | L series  | 0,46                   | 0,00302 | 2,06  | 0,07      | 0,74     | 2,57    |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

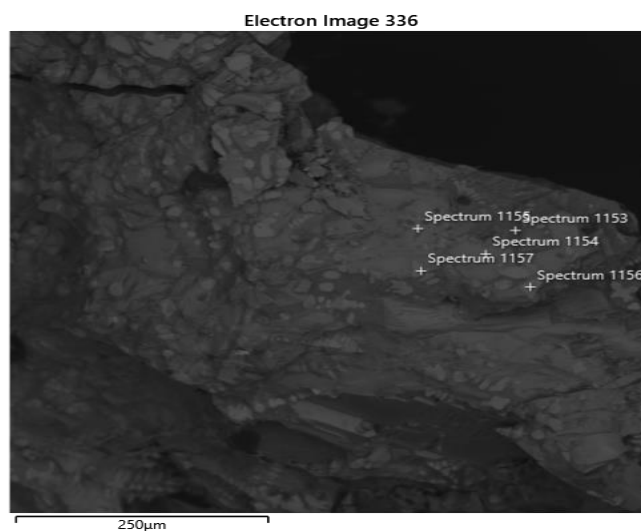
| Spectrum 1152 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 10,26 |           | 51,46    |         |
| Al            | K series  | 0,08                   | 0,00059 | 0,58  | 0,03      | 1,73     | 1,1     |
| Si            | K series  | 0,11                   | 0,00091 | 0,72  | 0,03      | 2,06     | 1,55    |
| Mn            | K series  | 0,16                   | 0,00133 | 0,91  | 0,16      | 1,34     | 1,18    |
| Fe            | K series  | 1,6                    | 0,01341 | 8,82  | 0,23      | 12,68    | 11,35   |
| Zn            | L series  | 0,03                   | 0,00017 | 0,28  | 0,07      | 0,35     | 0,35    |
| Pb            | M series  | 10,85                  | 0,0964  | 78,41 | 0,28      | 30,38    | 84,47   |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

**Laufschlacken** sind meist graugrün bis graubraun gefärbt mit einzelnen rostbraunen Verwitterungsflächen und oftmals deutlichen Fließstrukturen. Die Dicke der Proben beträgt meist zwischen zehn und 35 Millimeter. Am frischen Bruch ist ein kompaktes Gefüge mit einzelnen seltenen Gasblasen zu beobachten.

**Blasenschlacken** sind meist graubraun gefärbt und haben häufige rostbraune Oxidationsflecken. Diese Schlacken können bis zu sechs Zentimetern dick werden und sind sehr feinporös mit Gasblasen bis zu drei Millimeter. Gelegentlich sind Holzkohleeinschlüsse und einzelne angelöste Erzstücke bis zu fünf Millimetern im Durchmesser zu beobachten.

Der **Kombinationstyp** aus Lauf- und Blasenschlacke ist braun bis graubraun gefärbt und die Proben haben eine Dicke bis zu drei Zentimetern. Oberflächlich sind deutliche Fließmarken erkennbar.

Spektren des Kombinationstyps:



| Spectrum 1153 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 39,56 |           | 58,75    |         |
| Na            | K series  | 0,27                   | 0,00146 | 0,74  | 0,03      | 0,76     | 0,99    |
| Al            | K series  | 5,51                   | 0,03975 | 12,45 | 0,05      | 10,97    | 23,53   |
| Si            | K series  | 6,36                   | 0,05378 | 16,03 | 0,06      | 13,56    | 34,29   |
| P             | K series  | 0,12                   | 0,00105 | 0,32  | 0,02      | 0,25     | 0,74    |
| S             | K series  | 0,18                   | 0,00163 | 0,44  | 0,02      | 0,33     | 1,11    |
| K             | K series  | 3,66                   | 0,03083 | 7,5   | 0,05      | 4,56     | 9,03    |
| Ca            | K series  | 3,33                   | 0,02939 | 7,06  | 0,05      | 4,18     | 9,87    |
| Ti            | K series  | 0,08                   | 0,00069 | 0,18  | 0,04      | 0,09     | 0,3     |
| Mn            | K series  | 1,13                   | 0,00967 | 2,53  | 0,06      | 1,09     | 3,26    |
| Fe            | K series  | 5,7                    | 0,04772 | 12,23 | 0,11      | 5,2      | 15,73   |
| Zn            | L series  | 0,16                   | 0,00103 | 0,52  | 0,07      | 0,19     | 0,64    |
| Ba            | L series  | 0,18                   | 0,00145 | 0,44  | 0,09      | 0,08     | 0,5     |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

| Spectrum 1154 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 31,95 |           | 56,72    |         |
| Mg            | K series  | 0,21                   | 0,00139 | 1,4   | 0,04      | 1,64     | 2,33    |
| Al            | K series  | 0,04                   | 0,00032 | 0,26  | 0,03      | 0,27     | 0,49    |
| Si            | K series  | 2,35                   | 0,01988 | 13,15 | 0,09      | 13,3     | 28,13   |
| Ca            | K series  | 0,99                   | 0,00873 | 4,27  | 0,07      | 3,03     | 5,98    |
| Mn            | K series  | 3,37                   | 0,02873 | 15,66 | 0,16      | 8,1      | 20,22   |
| Fe            | K series  | 7,42                   | 0,06219 | 33,31 | 0,2       | 16,94    | 42,85   |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

| Spectrum 1155 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 36,33 |           | 58,96    |         |
| Mg            | K series  | 0,48                   | 0,00323 | 2,96  | 0,06      | 3,16     | 4,91    |
| Si            | K series  | 3,64                   | 0,03076 | 19,39 | 0,1       | 17,93    | 41,48   |
| Ca            | K series  | 0,81                   | 0,00717 | 3,52  | 0,06      | 2,28     | 4,93    |
| Mn            | K series  | 2,71                   | 0,02314 | 12,6  | 0,15      | 5,95     | 16,27   |
| Fe            | K series  | 5,62                   | 0,0471  | 25,19 | 0,19      | 11,71    | 32,41   |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

| Spectrum 1156 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 22,59 |           | 50,26    |         |
| Al            | K series  | 0,14                   | 0,00102 | 0,38  | 0,02      | 0,51     | 0,73    |
| Si            | K series  | 0,03                   | 0,00028 | 0,08  | 0,02      | 0,1      | 0,18    |
| Ti            | K series  | 0,13                   | 0,00117 | 0,23  | 0,03      | 0,17     | 0,38    |
| Mn            | K series  | 3,38                   | 0,02881 | 6,12  | 0,08      | 3,97     | 7,9     |
| Fe            | K series  | 40,39                  | 0,33834 | 70,6  | 0,11      | 44,99    | 90,82   |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

| Spectrum 1157 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 22,71 |           | 50,32    |         |
| Mg            | K series  | 0,07                   | 0,00046 | 0,23  | 0,03      | 0,34     | 0,39    |
| Al            | K series  | 0,16                   | 0,00114 | 0,44  | 0,03      | 0,58     | 0,83    |
| Si            | K series  | 0,04                   | 0,00037 | 0,11  | 0,02      | 0,14     | 0,24    |
| Ca            | K series  | 0,09                   | 0,00083 | 0,16  | 0,03      | 0,14     | 0,23    |
| Ti            | K series  | 0,16                   | 0,00147 | 0,29  | 0,03      | 0,22     | 0,48    |
| Mn            | K series  | 3,27                   | 0,02788 | 6,08  | 0,08      | 3,92     | 7,85    |
| Fe            | K series  | 38,56                  | 0,32303 | 69,14 | 0,13      | 43,89    | 88,95   |
| Zn            | L series  | 0,16                   | 0,00109 | 0,83  | 0,08      | 0,45     | 1,04    |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

Im Sinne der gültigen Definition des Begriffes „Mineral“ sind die hier beschriebenen Phasen keine Minerale, obwohl sie chemisch und strukturell mit ihnen ident sind. Über einen längeren Zeitraum konnten von den Verfassern Schlackenproben aufgesammelt werden, die teilweise mit Analysemethoden wie zB. Ramanspektroskopie und Röntgenanalysen näher bearbeitet werden konnten. Die Schlacken haben im frischen Bruch eine dunkelgraue bis schwarzgraue Färbung. Die fundfrischen Proben weisen sehr selten auffällige farbige Oxidationkrusten durch kupferhaltige Phasen auf. Frisch sind sie dunkelbraun bis schwarz, wenn sie der Verwitterung ausgesetzt sind, oft hellgrau gefärbt. Mengenmäßig sind Plattenschlacken am häufigsten anzutreffen, gefolgt von Laufschlacken. Blaugrau- und grüngelb gefärbtes Schlackenglas war in den vorhandenen Proben nur in einigen wenigen Exemplaren vorhanden.

Im mikroskopischen Bild zeigt sich ein relativ grobkörniges Gefüge, welches auf eine langsame Abkühlung des Materials hinweist. Die Phasen in den Schlacken aus dem Bereich *Leopold Stollen* sind (wie bei fast alle Schlacken) in den mikroskopischen Bereich einzuordnen, da Einzelkristalle - größer als drei Millimeter - als Ausnahme festzustellen sind.

Aufgrund der unterschiedlichen Bildungsbedingungen werden die Mineralisationen in Erzrelikten - Phasen der Schlacke, die während des Hüttenprozesses entstanden sind - einschließlich Hüttenprodukte, und zuletzt in Um- und Neubildungen im Milieu der Halde und der Verwitterung aufgliedert.

#### **Erzrelikte:**

Relikte des Ausgangserzes sind nur untergeordnet in den Schlacken anzutreffen. Galenit (PbS) wie auch Zinkblende (ZnS) sind vereinzelt, immer in Kombination mit Karbonaten und limonitischen Phasen, in Schlackenproben zu beobachten.

#### **Schmelz- und abkühlungsbedingte Bildungen:**

Hierunter ist die Grundmasse der Silikatschlacke mit ihren Einzelkomponenten sowie die intermetallischen Phasen mehrerer Metalle zu verstehen.

**Ferritspinelle:** Kleine Körnchen in der Schlackengrundmasse der Frühkristallisationsphase. Die Spektren 1156 und 1157 zeigen Eisenspinelle. Das  $Fe^{2+}$  wird teilweise ersetzt durch  $Mn^{2+}$ . Beim Spektrum 1150 ist auch ein Teil des  $Fe^{3+}$  durch  $Al^{3+}$  ersetzt. Alle Proben enthalten den bei TAFEL et al. (1953) publizierten Titangehalt, die Probe 1150 sogar 1,35 Gewichtsprozent.

**Olivin:** Ebenfalls am Aufbau der Schlacke am *Leopold Stollen* beteiligt. Im Spektrum 1148 ist ein Olivin mit leicht erhöhtem Mangananteil abgebildet. Spektrum 1151 zeigt einen Olivin mit erhöhtem Eisen- und Zinkgehalt zu Lasten des Magnesiums.

**Pyroxen:** Weiters besteht die Schlacke des Fundplatzes aus verschiedenen Gliedern der Pyroxengruppe mit einer weiten Mischungsbandbreite. Da es sich hier, wie bereits erwähnt um künstliche Phasen handelt, die über ihren Chemismus definiert werden, sprechen die Verfasser diese Gruppe als Mn- Ca- und magnesiumreiche Eisensilikate an.

**Blei:** Gediegenes Blei ist häufig in eingelagerten Kügelchen vorhanden oder überzieht Hohlraumwandungen als dünne Überzüge. Diese Metalleinlagerungen beweisen einen Verlust von Blei beim Verhüttungsprozess, sind aber kein Indikator für die Quantität des Abganges, dafür aber ein zusätzlicher Beweis, dass in dieser Schmelzanlage Werkblei produziert wurde.



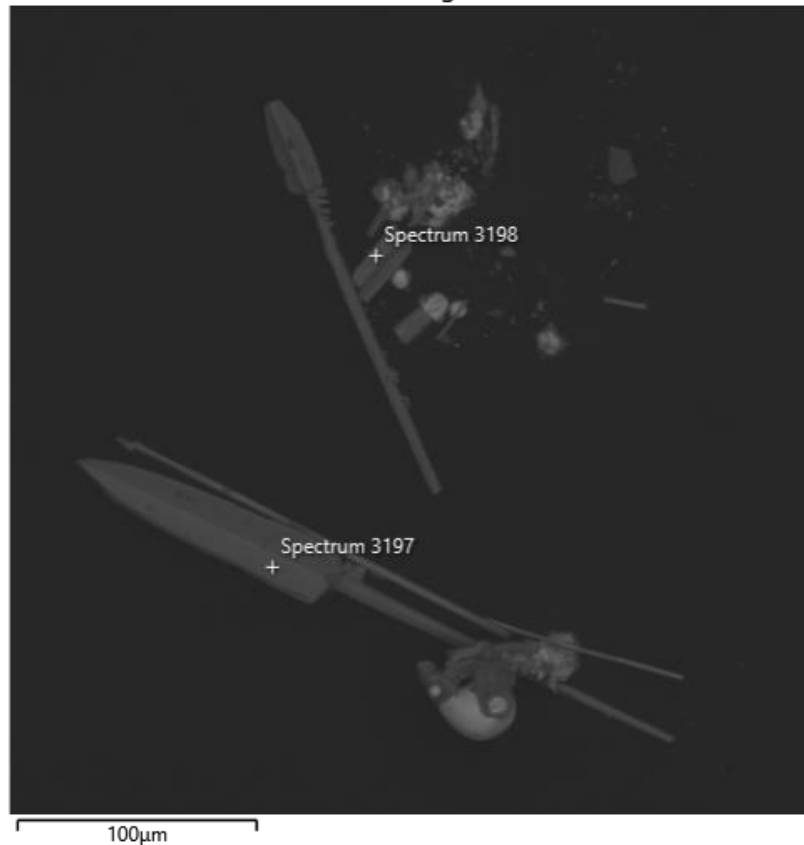


Abb.15: Werkblei aus der Schlackenhalde beim Leopold Stollen mit einer Kruste von Bleioxiden umgeben.  
Breite des größten Stückes 12 Millimeter. Sammlung und Foto P. Arthofer

**Metalloxide und Metallsulfide:** Hierbei handelt es sich um Phasen, welche als Relikte aus dem Röstprozess vorliegen oder während des Abkühlens der Schmelze entstanden sind. Metalloxide, welche als Zwischenprodukt des Hüttenprozesses aufzufassen sind, waren in den Schlackenproben exzessiv vertreten. Es wurden eine größere Anzahl von diesen Metallverbindungen mittels energiedispersivem Spektrometer analysiert. Es handelt sich hauptsächlich um die zu erwartenden Sulfide und Oxide von Blei, Zink, Eisen und Mangan. Einzelne Prüflinge der Oxidreihe enthielten interessante Spurenelemente, welche hinsichtlich des Liefergebietes der Erze hier Erwähnung finden sollen.

**ZnS analog Wurtzit:** Unter den Sulfidphasen konnte als seltenes Glied der Zinksulfidreihe Wurtzit mittels energiedispersivem Spektrometer X-Max 20 von Oxford Instruments und Raman bestätigt werden. Die Analyse des Messpunktes 3197 im Elektronenmikroskopischen Bild 1007 zeigt die relativ hohe Reinheit, also geringste Beimengungen von Spurenelementen, dieses Endgliedes.

Electron Image 1006



| Spectrum 3197 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             | K series  | 0,21                   | 0,00094 | 0,4   | 0,04      | 1,18     |         |
| S             | K series  | 26,04                  | 0,22981 | 34,92 | 0,06      | 51,73    |         |
| K             | K series  | 0,13                   | 0,00108 | 0,16  | 0,02      | 0,19     |         |
| Zn            | L series  | 65,43                  | 0,43207 | 64,53 | 0,06      | 46,9     |         |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      |         |

Aus den Analysen der Oxide haben die Verfasser drei Proben ausgewählt, die Nachweise der Elemente Arsen, Molybdän und Quecksilber in den Schlacken belegen. Da der Siedepunkt von Quecksilber bei 357 Grad Celsius und der von Arsen bei 613 Grad Celsius liegt, diese Elemente in der Schlacke verblieben sind und partiell eine Sulfidbildung in der Schlacke stattgefunden hat, wird hierdurch belegt, dass der Schmelzofen zumindest zeitweilig mit zu geringer Hitze betrieben wurde, was zu hohen Metallverlusten führte. Dieser Metallabgang wurde beim Betrieb erkannt und man begann, Teile der Schlacke dem Schmelzprozess zuzuschlagen. Im Folgenden sollen hier drei repräsentative Analysen der Oxidphasen wiedergegeben werden.

Bei der Probe für das Spektrum 3202 handelt es sich um ein Schlackenstück mit kleinen Poren und einem unverdauten Erzrelikt, dessen Kavernen mit Eisenoxidkrusten überzogen sind.

| Spectrum 3202 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 22,93 |           | 51,33    |         |
| Al            | K series  | 0,14                   | 0,00102 | 0,31  | 0,02      | 0,42     | 0,59    |
| Si            | K series  | 0,73                   | 0,0062  | 1,5   | 0,02      | 1,91     | 3,21    |
| S             | K series  | 0,13                   | 0,00114 | 0,22  | 0,02      | 0,24     | 0,54    |
| Ca            | K series  | 0,11                   | 0,00098 | 0,16  | 0,02      | 0,14     | 0,22    |
| Mn            | K series  | 0,25                   | 0,00215 | 0,38  | 0,05      | 0,25     | 0,49    |
| Fe            | K series  | 47,35                  | 0,39669 | 69,26 | 0,12      | 44,43    | 89,1    |
| Zn            | L series  | 0,2                    | 0,00131 | 0,78  | 0,04      | 0,43     | 0,97    |
| As            | L series  | 0,12                   | 0,00066 | 0,25  | 0,03      | 0,12     | 0,33    |
| Pb            | M series  | 2,12                   | 0,01882 | 4,21  | 0,09      | 0,73     | 4,53    |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

Bei der Probe 3721 wurde eine Schlacke mit zuckerkörnigem Aufbau, die im Wesentlichen aus Mangan- und Bleioxiden aufgebaut ist und einen Molybdängehalt bis 1,97 Gewichtsprozent aufwies, gemessen.

| Spectrum 3721 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 19,66 |           | 55,91    |         |
| Mg            | K series  | 0,06                   | 0,00041 | 0,62  | 0,04      | 1,15     | 1,02    |
| Al            | K series  | 0,23                   | 0,00164 | 2,01  | 0,05      | 3,39     | 3,8     |
| Si            | K series  | 0,46                   | 0,00364 | 3,67  | 0,05      | 5,95     | 7,86    |
| P             | K series  | 0,06                   | 0,00036 | 0,33  | 0,04      | 0,49     | 0,76    |
| K             | K series  | 0,05                   | 0,00042 | 0,4   | 0,05      | 0,46     | 0,48    |
| Ca            | K series  | 0,12                   | 0,00107 | 0,95  | 0,05      | 1,08     | 1,33    |
| Mn            | K series  | 2,08                   | 0,02084 | 17,9  | 0,18      | 14,83    | 23,12   |
| Fe            | K series  | 0,53                   | 0,00534 | 4,44  | 0,15      | 3,62     | 6,35    |
| Cu            | L series  | 0,08                   | 0,00075 | 1,55  | 0,17      | 1,11     | 1,94    |
| Zn            | L series  | 0,09                   | 0,00091 | 1,81  | 0,13      | 1,26     | 2,26    |
| Mo            | L series  | 0,2                    | 0,002   | 1,97  | 0,23      | 0,94     | 2,96    |
| Pb            | M series  | 4,66                   | 0,04333 | 44,67 | 0,29      | 9,81     | 48,12   |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

Das Spektrum 3711 wurde von einer Zinkeisensulfidprobe mit auffällig silbrig glänzenden Spaltflächen genommen. In dieser Phase wurde ein Quecksilbergehalt mit 2,23 Gewichtsprozent ermittelt.

| Spektrum 3711 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|
| S             | K series  | 5,87                   | 0,05058 | 30,95 | 0,12      | 47,02    |
| Mn            | K series  | 0,18                   | 0,00176 | 0,98  | 0,07      | 0,87     |
| Fe            | K series  | 3,64                   | 0,03643 | 19,75 | 0,14      | 17,23    |
| Zn            | L series  | 5,14                   | 0,05139 | 46,09 | 0,17      | 34,34    |
| Hg            | M series  | 0,34                   | 0,00304 | 2,23  | 0,21      | 0,54     |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      |

### Verwitterungsbedingte Neubildungen auf der Halde:

Bei den Phasen der Haldenneubildungen sind die häufigsten Analogien im Folgenden zusammengefasst. Einige seltene Proben sind noch in Bearbeitung und die Ergebnisse werden zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen einer Fortsetzung dieser Arbeit publiziert.

#### Elemente:

**S, Schwefel:** Hierbei handelt es sich um eine eher selten vorkommende Phase. Es konnten kleine flächenreiche Kristalle von hell- bis zitronengelber Färbung beobachtet werden. Das Vorkommen ist auf eine an Kohlenstücken und Bleisulfidresten reiche Schlacke gebunden, die Paragenese umfasst in mineralogischem Sinne Limonit, Anglesit und Gips.

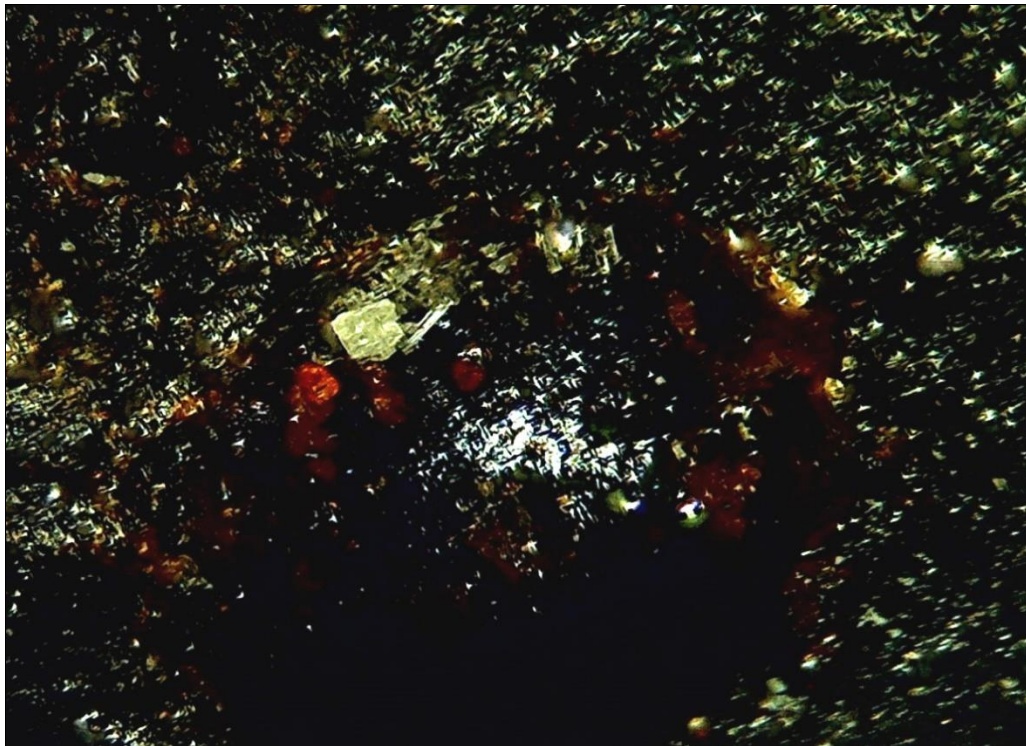


Abb.17: Elementarer Schwefel, korrodierter Kristall in einem Schlackenhohlraum.  
Durchmesser des Kristalls 0,2 mm. Foto P. Arthofer, Steyr

### Oxide/Hydroxide:

**PbO: Massicotit und Lithargit** im mineralogischen Sinne. Hierbei handelt es sich um zwei Modifikationen des Blei(II)-oxides, zum einen der orthorhombische gelbe Massicotit und zum anderen der tetragonale rote Lithargit. Bleioxide lassen sich herstellen, indem ein Luftstrom über geschmolzenes Blei geleitet wird. Diese chemische Reaktion ist die Grundlage der Kupellation, bei der Blei(II)-oxid als Nebenprodukt anfällt. Früher wurde das Produkt auch als „Bleiglätte“ oder „Glätte“ bezeichnet. Auch beim Röstprozess von bleihaltigen Erzen wie zum Beispiel Galenit kann Glätte entstehen. Bei 488 Grad Celsius beginnt Lithargit sich in Massicotit umzuwandeln. Bei tieferen Temperaturen ist die Reaktionsgeschwindigkeit sehr langsam und die gelbe Modifikation kommt als metastabile Verbindung vor.

In der Schlacke beim *Leopold Stollen* kommt Blei in Form von Sphärolithen in der Schlacke und als lose Werkbleispritzer vor. Diese Aggregate werden oberflächlich von Oxidschichten bedeckt. Hierbei ist eine Abfolge vom metallischem Blei über eine Lithargitrinde zu beobachten, die von einer Hülle aus Massicotit bedeckt wird. Abschließend werden die Sphärolithe von einer Anglesithülle bedeckt.



Abb.18: Eine zu den Analogien von Massicotit (gelb) und Lithargit (rot) umgewandelte Bleikugel. Im unteren Bereich ist rudimentäres Blei zu sehen. Durchmesser der Kugel 0,6 mm. Foto P. Arthofer, Steyr

**ZnO analog Zinkit:** Bei dieser Phase handelt es sich theoretisch um reines Zinkoxid. In unseren Proben wird Zink von Blei und Mangan zum Teil substituiert, wie aus den unten gezeigten Analysendaten ersichtlich ist. ZnO ist in den Schlacken (mit geringeren Sulfatanteil und hohem Zinkanteil) in gelben zum Teil hemimorphen Kristallen, zu kugeligen Aggregaten aggregiert, festzustellen. Auch hohlraumfüllende rote Massen sind zu beobachten. Diese Phase ist allerdings nur selten anzutreffen.

Electron Image 1171

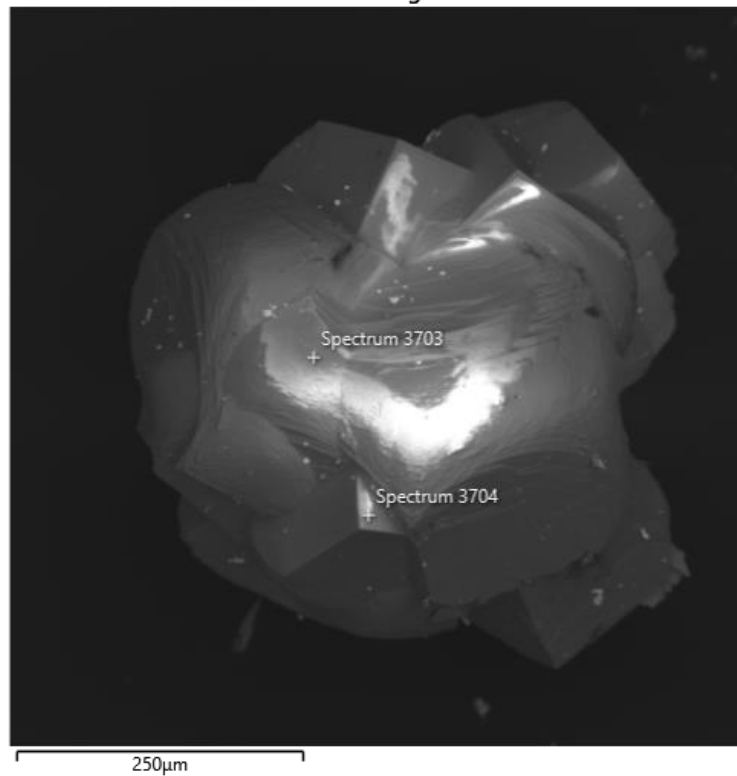


Abb.19: Zinkitanalogon, rasterelektronenmikroskopisches Bild. Sammlung P. Arthofer, Steyr

| Spectrum 3703 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 20,75 |           | 51,07    |         |
| Al            | K series  | 0,05                   | 0,00033 | 2,94  | 0,21      | 4,29     | 5,55    |
| Ca            | K series  | 0,03                   | 0,00023 | 0,92  | 0,12      | 0,91     | 1,29    |
| Mn            | K series  | 0,04                   | 0,00043 | 1,82  | 0,18      | 1,31     | 2,36    |
| Zn            | L series  | 1,27                   | 0,01269 | 68,98 | 0,51      | 41,55    | 85,86   |
| Pb            | M series  | 0,08                   | 0,00079 | 4,59  | 0,55      | 0,87     | 4,94    |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

| Spectrum 3704 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 20,85 |           | 51,13    |         |
| Al            | K series  | 0,05                   | 0,00035 | 2,36  | 0,15      | 3,44     | 4,47    |
| Si            | K series  | 0,01                   | 0,00007 | 0,38  | 0,12      | 0,53     | 0,81    |
| Ca            | K series  | 0,06                   | 0,00049 | 1,55  | 0,12      | 1,51     | 2,16    |
| Mn            | K series  | 0,25                   | 0,00246 | 8,06  | 0,24      | 5,75     | 10,41   |
| Zn            | L series  | 1,28                   | 0,01282 | 60,85 | 0,45      | 36,51    | 75,74   |
| Pb            | M series  | 0,14                   | 0,00133 | 5,94  | 0,48      | 1,13     | 6,4     |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

**Oxidische und hydroxidische Phasen des Eisens** kommen (begründet durch den Typus des verhütteten Erzes und den Eisenreichtum der Schlacken) an vielen Probestücken in Form von „Rost“ in amorphen und mikrokristallinen Überzügen durchgängig vor, wurden aber nur an einigen ausgewählten Proben näher untersucht.

**$\text{Fe}^{2+}_4\text{Fe}^{3+}_2(\text{OH})_{12}[\text{CO}_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$**  : Diese Bildung, welche früher als **Fougerit** beschrieben wurde, hat sich inzwischen als Verwachsung zweier Phasen mit unterschiedlichen  $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}$  Verhältnissen erwiesen. Die Phase mit  $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+} = 2:1$  behält den Namen **Fougerit**; die zweite mit  $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+} = 1:2$  wurde als neue Art definiert und mit dem Namen **Trébeurdenit** belegt. Beide Phasen gehören in die Fougeritgruppe (TROLARD et al. 2007). Dieses Phasengemisch tritt hauptsächlich in eisenreichen Schlacken auf und wurde früher als „Grüner Rost“ bezeichnet. Diese grünschwärzlichen sechseckigen Plättchen sind an der Luft instabil (TROLARD et al. 2006) und wandeln sich binnen kurzer Zeit zu Eisenoxyhydroxiden um. Diese Instabilität ist dem Erstautor von Proben eisenreicher Schlacken aus den Geschieben der Enns bei Steyr bekannt. Die einzige Möglichkeit den Umwandlungsprozess zu unterbrechen ist die sofortige Lagerung der Probe unter Wasser und ein Verwahren derselben in dichten Behältern.

Von Blass et al. (1997) wurden zinkhaltige Varianten publiziert, die ihren grünen Farbton beibehielten.

Beim Vorkommen am Leopold Stollen konnten nur sehr selten Proben des Phasengemisches gefunden werden. Alle diese Belege waren bereits in Eisenoxyhydroxide umgewandelt, es ist also hier die Bezeichnung „Pseudomorphose von Eisenoxyhydroxiden analog eines Mischkristalls von Fougerit und Trébeurdenit“ zu bezeichnen.

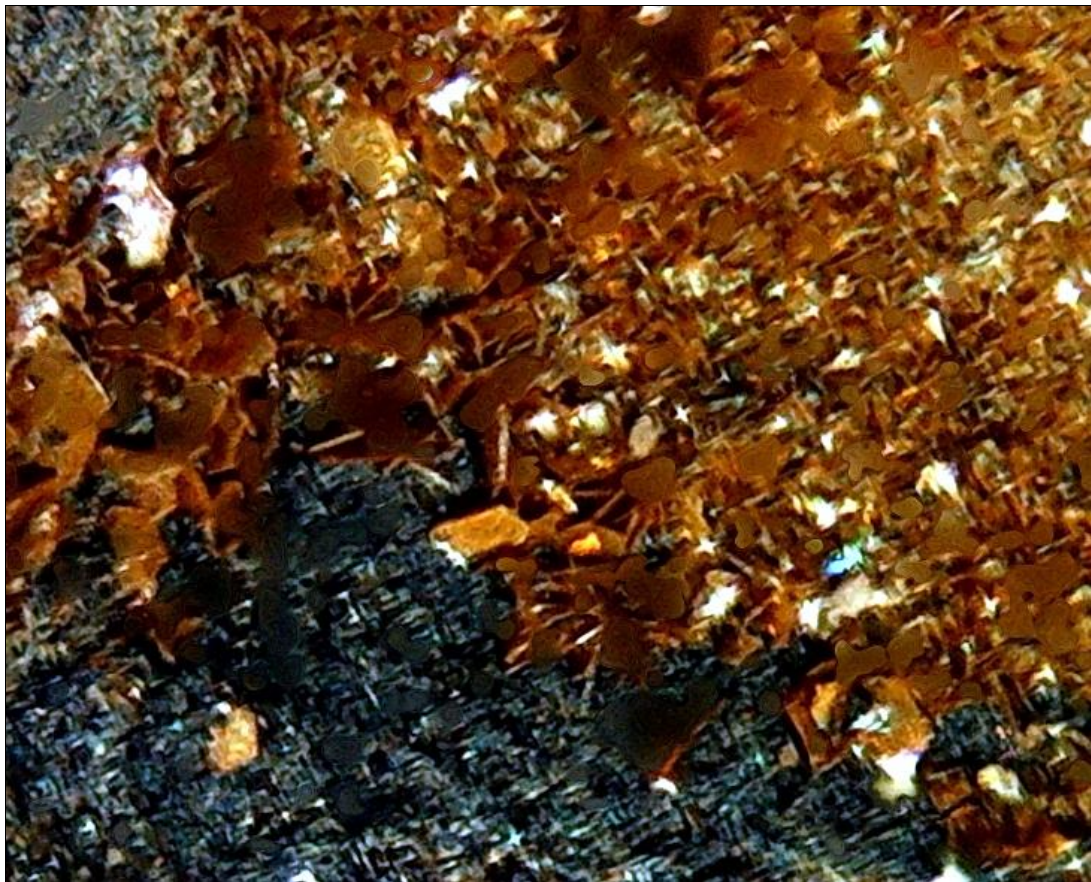


Abb.18: Pseudomorphose nach Fougerit und Trébeurdenit, Bildbreite 1,5 mm. Foto P. Arthofer, Steyr

### Karbonate:

**PbCO<sub>3</sub> ident dem Cerussit** in der Mineralogie tritt zwar in allen Schlackentypen (meist in der Plattenschlacke) von Perneck auf, ist aber seltener anzutreffen als Bleisulfat und nicht immer leicht zu identifizieren. Verschiedene Habiti konnten festgestellt werden. Am häufigsten sind nadelige Kristalle vertreten, wobei die dünnnadelige, faserige Variante sich meist zu büscheligen Aggregaten vereint, und die leicht abgeplatteten größeren Individuen einzeln in Blasen Hohlräumen anzutreffen sind. Charakteristisch Schneesternen ähnelnden Zwillingskristalle sind sehr selten anzutreffen. Eine ebenfalls typische Längsstreifung der Individuen ist vereinzelt nicht erkennbar, manchmal haben die Kristalle hohen Glanz, vielfach haben sie eine matt wirkende, angelöste Oberfläche.

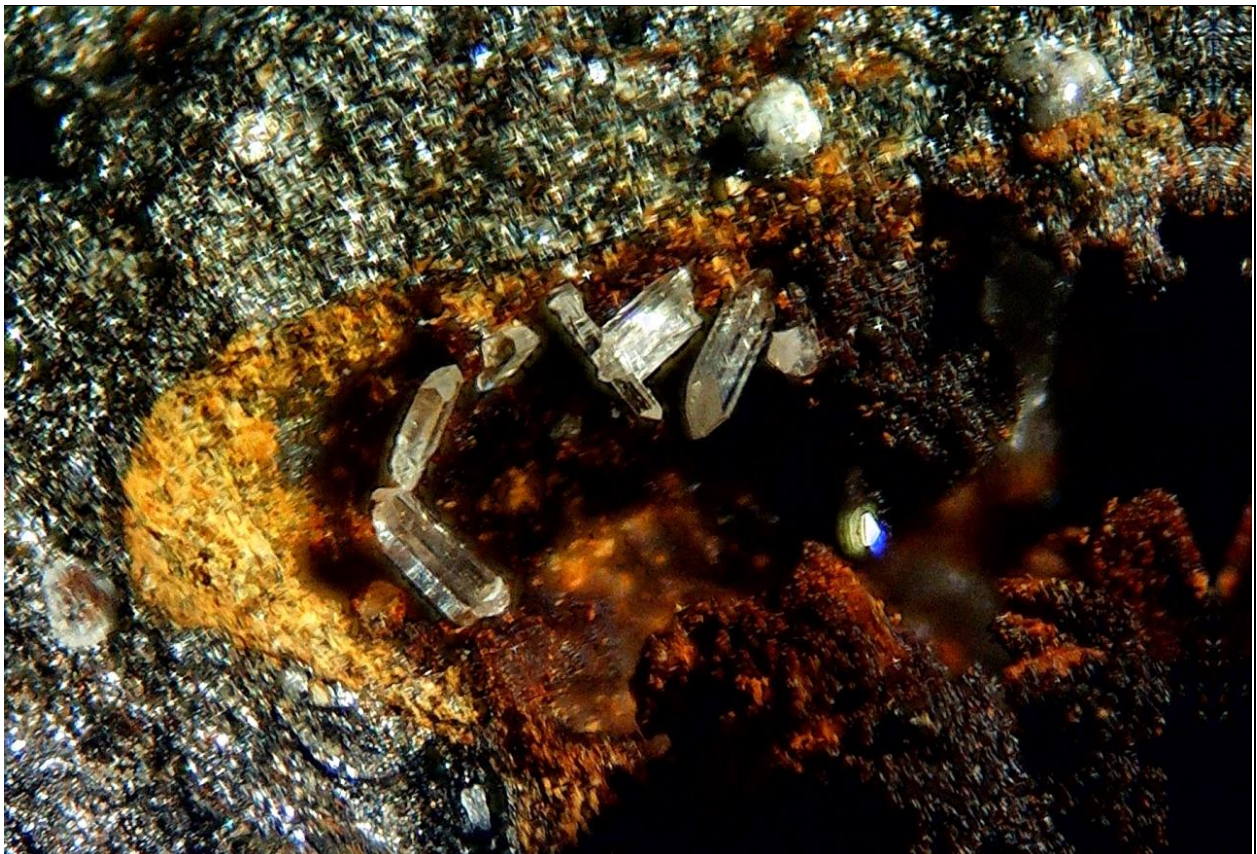


Abb.19: Cerussitanalogon, längster Kristall 0,5 mm, Foto P. Arthofer, Steyr

### Sulfate:

**PbSO<sub>4</sub>** ist das künstliche Pendant von **Anglesit**, welches in den Schlacken beim Leopold Stollen sehr häufig vertreten ist. Diese Phase zeichnet sich durch Polymorphie aus. Im Wesentlichen waren bis dato vier wichtige Ausbildungstypen in den Proben festzustellen.

- weiße bis farblose Kristallnadeln, die sich zum Ende verjüngen, einen rhombischen Querschnitt haben und eine deutliche Streifung aufweisen.
- farblose, perlmuttglänzende rautenförmige Tafeln, deren Kanten gelegentlich abgeschrägt sind.
- kurzprismatische, flächenreiche Kristalle mit hohem Diamantglanz, oft zu Aggregaten gruppiert.
- stengelige, weißgelbe Kristalle mit quadratischem Querschnitt, deren Ecken an zwei oder vier Ecken angeschrägt sind, und der Eindruck einer Endpyramide entsteht.





Abb.20: Anglesitanalogon, Länge der rautenförmigen Tafel 0,3 mm, Foto P. Arthofer, Steyr

$\text{Cu}_{1-x}\text{Al}_x(\text{OH})_2(\text{SO}_4)_{x/2} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  analog **Woodwardit**. Unter den kupferhaltigen Phasen des Fundortes die am häufigsten angetroffene Verbindung. Er bildet typische, wie auch von anderen Schlackenhalde bekannte, mikrokristalline, grünlichblaue bis türkisblaue traubige Aggregate. Nach Untersuchungen von weiteren natürlichen und synthetischen Proben (WIETZKE 1995, 1999) bildet Woodwardit eine Mischkristallreihe mit dem Zinkanalogon Glaucozerinit. Der Chemismus des Minerals kann innerhalb weiter Grenzen schwanken, ohne eine Änderung der Struktur zu bewirken. Der Sulfatgehalt korrespondiert mit dem Aluminiumgehalt. Variabel ist auch der Wassergehalt, welcher generell geringer ist als bei Hydrowoodwardit. Siliziumdioxid ist auf die Beimengung von amorpher Kieselsäure zurückzuführen.

Häufig begleitet wird diese Phase von den Analogien des Gipses und Anglesits.



Abb.21: Woodwarditanalogon, Breite des Aggregats 2,5 mm, Foto P. Arthofer, Steyr

**Pb<sub>0.5</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>** eine dem natürlichen **Plumbojarosit** analoge Phase war als Resultat des Stoffangebotes der Schlacken zu erwarten und konnte als relativ häufiges kristallines Produkt in den Schlackenhohlräumen nachgewiesen werden. Diese Phase ist in allen Schlackentypen nachweisbar, dominiert in der Blasenschlacke. Dieses, mit dem Beudantitanalogon leicht zu verwechselnde Pb-Fe-Endglied der Alunitfamilie (KOLITSCH et. al. 2013), bildet Hohlräumfüllungen aus hellbraunen erdigen Massen, über mikrokristalline dunkelgelbe Krusten bis zu einzelstehenden, dunkelrotbraunen blockigen aufgebauten Aggregaten, dünn- bis dicktafelige sechseckigen Einzelkristalle und pseudooktaedrische und pseudowürfelige Kristalle wurden aufgefunden. Charakteristisch ist jedoch immer der hohe Glanz dieser Phase. Die Paragenese umfasst hauptsächlich die Analogien von Gips und Anglesit.

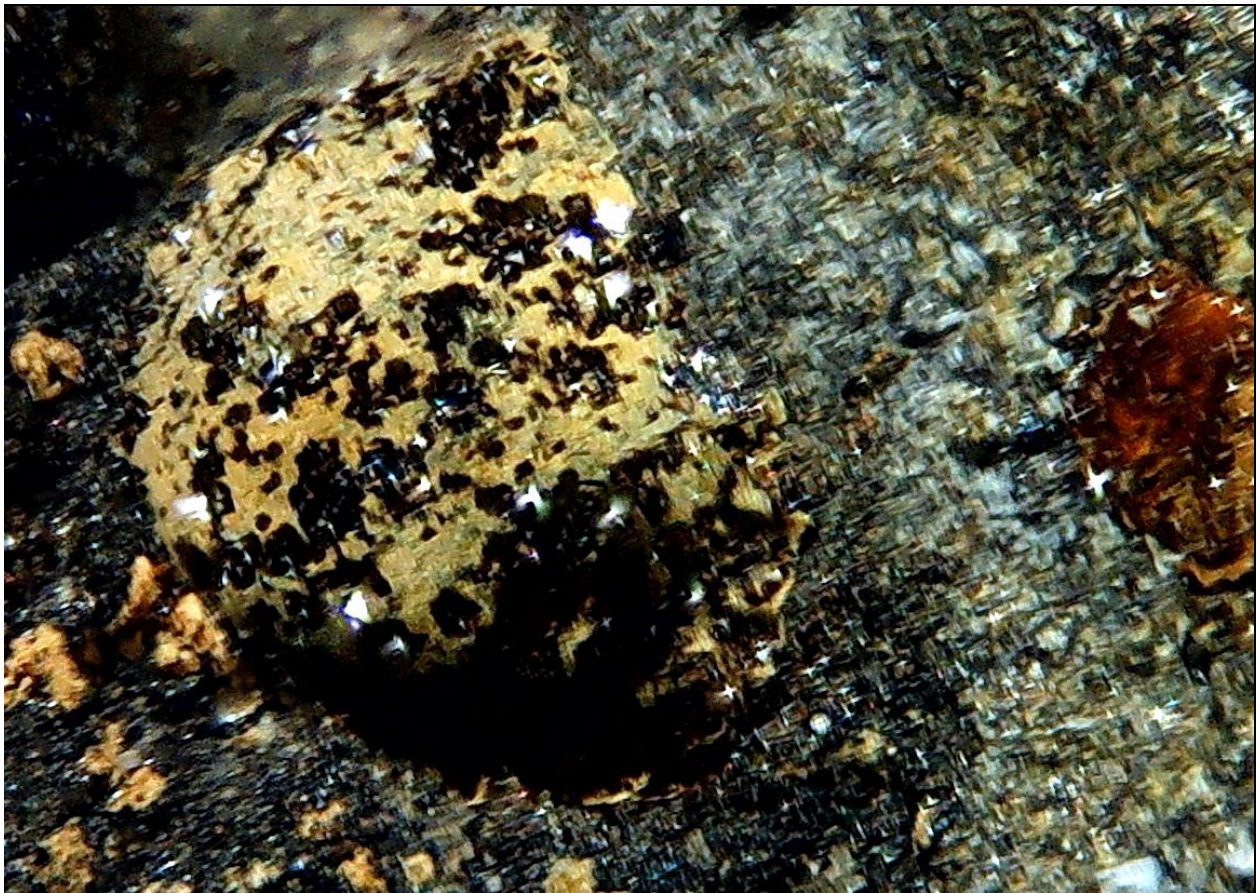


Abb.22: Plumbojarositanalogon, Breite des Hohlräumes 1,7 mm. Foto P. Arthofer, Steyr

**Pb<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)O** Analogphase des Minerals **Lanakit**. Diese Phase ist sehr selten und ist als eine der ersten Bildungen in den Blasen Hohlräumen zu sehen. Alle Proben dieser Phase fanden sich in frisch wirkenden Schlackenproben ohne oberflächliche Eisenoxide. Auffällig war, dass bei steigendem Oxidationsgrad der Schlackengrundmasse ein kontinuierlicher Übergang zu PbCO<sub>3</sub> unter Beibehaltung der Kristall- und Aggregatform zu bemerken ist. Die Probestücke enthalten kleine, klare und farblose linealförmige Kristalle, welche die Hohlräumwände zu Büscheln aggregiert auskleiden.

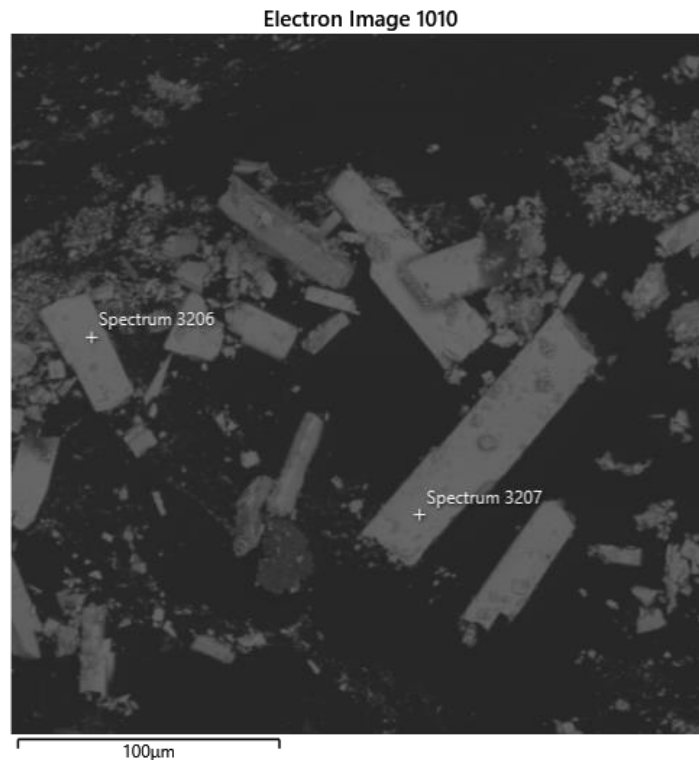


Abb.19: Lanarkitanalogon, rasterelektronisches Bild, Sammlung P. Arthofer, Steyr

| Spectrum 3206 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 15,02 |           | 62,33    |         |
| S             | K series  | 6,47                   | 0,05714 | 5,96  | 0,05      | 12,33    | 14,87   |
| Pb            | M series  | 72,79                  | 0,64653 | 79,03 | 0,09      | 25,33    | 85,13   |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

| Spectrum 3207 | Line Type | Apparent Concentration | k Ratio | Wt%   | Wt% Sigma | Atomic % | Oxide % |
|---------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| O             |           |                        |         | 14,92 |           | 62,24    |         |
| S             | K series  | 6,86                   | 0,06051 | 5,88  | 0,05      | 12,24    | 14,68   |
| Pb            | M series  | 78,27                  | 0,69516 | 79,21 | 0,09      | 25,52    | 85,32   |
| Total         |           |                        |         | 100   |           | 100      | 100     |

**CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O ident Gips:** Bei allen gefundenen Schlackentypen ist dieses wasserhältige Calciumsulfat ein Durchläufer. Die Schlacken beim *Leopold Stollen* sind sulfatdominiert.

Die gipsanaloge Phase ist meist farblos und von hoher Transparenz, gelegentlich durch Eisenoxide gelblich gefärbt, und wurde in unterschiedlichen Ausbildungen beobachtet:

- geschlossene Kristallrasen gelegentlich vom Anglesitanalogon begleitet
- nadelige Einzelkristalle oder seltener in garbenförmigen Kristallaggregaten
- tafelig gestreckte Einzelkristalle oder sonnenförmige Kristallaggregate
- flächenreiche prismatische Kristalle mit isometrischem Querschnitt
- Kristalle, welche Hohlräume zur Gänze erfüllen und im aufgebrochenen Schlackenstück wie ein Fenster in den Hohlraum wirken.

Diese gipsähnliche Phase ist die häufigste Neubildung dieses Schmelzplatzes.



Abb.23: Gipsanalagon, Bildbreite 4 mm. Foto P. Arthofer, Steyr

Die Untersuchungen am Schlackenmaterial des Schmelzplatzes beim *Leopold Stollen bei Perneck* sind noch nicht abgeschlossen und weitere neue Phasen, zumindest für Oberösterreich, sind zu erwarten. Neue Ergebnisse werden in einer späteren Ausgabe der OÖ. Geonachrichten publiziert. Für die Ausführung der Analysen sind wir unseren Kollegen am Nationalmuseum in Prag, Tschechische Republik, zu Dank verpflichtet.

### Literaturverzeichnis:

- AIGNER, A.: Über das Vorkommen von Schwefelkies im Ischler Salzberge.  
Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen, Jg. 26, S. 270-271, Wien 1878
- ARTHOFER, P. : In: Die Mineralführung der Triaskalke im Bereich Gaisberg – Dürres Eck bei Molln im Steyrtal, Oberösterreich.  
OÖ Geonachrichten 10, 21–26. Linz 1995
- BLAB, G., GRAF, H.-W., PICHLER, A.: Sekundäre Neubildungen in Schlacken von St. Martin am Silberberg in Kärnten (2).  
Mineralien-Welt: 8(6): 54-55. Haltern 1997
- BACHMANN, H.G. (1980): Early copper smelting techniques in Sinai and in the Negev and deduced slag investigations.  
In: Craddock, P. T. (Hrsg.) Scientific studies in the early mining and extractive metallurgy S. 103-134. London 1980
- BODE, M.: Archäometallurgische Untersuchungen zur Blei-/Silbergewinnung im Germanien der frühen Römischen Kaiserzeit.  
Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften im Fachbereich Geowissenschaften der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät d. Westfälischen Wilhelms-Universität Münster 276 S, Zahlr. Abb. u. Ktn. Münster 2008
- BUCHHOLZ, S.: Gologische und geotechnische Untersuchungen der Massenbewegungen im Gebiet Höherstein-Brunnkogel (Salzkammergut).  
Unveröff. Dipl. Arb. Univ. Karlsruhe (TH) 118S. 109 Abb. Karlsruhe 1999
- CHAUDHURI, J. N. B./NEWESELY, H.: Mineralogical characterization of old Harz Mountain slags.  
Canadian Metallurgical Quarterly 32, S. 1-12. Pergamon Press 1993
- DOONAN, R. C. P., KLEMM, S., OTTAWAY, B. S., SPERL, G., WEINEK, H.: The east Alpine Bronze Age copper smelting process – Evidence from the Ramsau valley, Eisenerz, Austria.  
In: Ş. Demirci, A. M. Özer & G. D. Summers (eds.), Archaeometry '94. The proceedings of the 29th International Symposium of Archaeometry, 18–22. 1996

- FAUSER, T.: Geologische und geotechnische Untersuchungen der Fels- und Blockgleitungen südlich des Rettenbachtals (Bad Ischl / Oberösterreich).  
Unveröff. Dipl. Arb. Univ. Karlsruhe (TH) 100 S, 69 Abb. Karlsruhe 1998
- FREUND, H.: Handbuch der Mikroskopie in der Technik.  
Band II, Teil II: Mikroskopie der Erze, Aufbereitungsprodukte und Hüttenschlacken.  
654 S. Frankfurt 1954
- HAGENGUTH, G., POBER, E., GÖTZINGER, M. A., LEIN, R.: Beiträge zur Geologie, Mineralogie und Geochemie der Pb/Zn-Vererzungen Annaberg und Schwarzenberg (Niederösterreich).  
Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt 125, 155-218 Wien 1982
- HAUPTMANN, A./PERNICKA, E./WAGNER, G. A.: Untersuchungen zur Prozesstechnik und zum Alter der frühen Blei-Silbergewinnung auf Thasos.  
Der Anschnitt, Beiheft 6, S. 88-112. Bochum 1988
- HAUG,É.: Les nappes de charriagedes Alpes Calcaires Septentrionales. 1. Et 2. Parties.  
Bull. Soc. Geol. France, (4) 6, S. 357-422, Paris 1906
- HÖCHERL, A.: Geologische und ingenieurgeologische Untersuchungen im Einzugsgebiet des Michlhallbaches zwischen Bad Goisern und Altaussee (Oberösterreich/ Steiermark).  
Unpubl. Diplomarbeit Univ. Erlangen-Nürnberg, VI+129 S., Erlangen 1991
- KEESMANN, I.: Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur antiken Kupfer und Silberverhüttung in Südwestspanien.  
In: Steuer, H./Zimmermann, U. (Hrsg.) Montanarchäologie in Europa - Berichte zum Internationalen Kolloquium "Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa" 4. bis 7. Oktober 1990.  
Archäologie und Geschichte, Bd. 4 S.105-122. Sigmaringen 1993
- KOLITSCH, U., BRANDSTÄTTER, F., SCHREIBER, F., FINK, R., AUER, C. :Die Mineralogie der weltweit einzigartigen Schlacken von Waitschach, Kärnten.  
Ann. des Naturh. Mus. Wien, Serie A, 115, S.19-87 Wien 2013
- KRAUS, S.; SCHRÖDER, C.; KLEMM, S.; PERNICKA E.: Archaeometallurgical studies on the slags of the Middle Bronze Age copper smelting site S1, Styria, Austria  
In: Andreas Hauptmann Diana Modarressi-Tehrani Archaeometallurgy in Europe III, S. 301-308, 8 Abb Bochum 2015
- LAIMER, H. J.: Karstwasserdynamik des Ischler und Ausseer Salzberges.  
Salzburger geographische Arbeiten Bd.41, 263 S., 67 Abb., 36 Tab. , 1 CD – Rom, Salzburg 2006
- MANDL, G.W.: Zur Geologie der Ischler-Ausseer Hallstätter Zone W. des Raschberges  
Unveröff. Vorarb. Inst. Geol. Univ. Wien, 65 S, 37 Abb. Taf. Wien 1980
- MANDL, G.W.: Jurassische Gleittektonik im Bereich der Hallstätter Zone zwischen Bad Ischl und Bad Aussee (Salzkammergut, Österreich).  
Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., 28, 55–76, Wien 1982
- MANDL, G.W.: Zur Tektonik der westlichen Dachsteindecke und ihres Hallstätter Rahmens (Nördliche Kalkalpen, Österreich).  
Mitt. Österr. Geol. Ges., 77/1984, S. 1–31, Wien 1984
- MANDL, G.W.: The Alpine sector of the Tethyan shelf – Examples of Triassic to Jurassic sedimentation and deformation from the Northern Calcareous Alps. –  
In: Neubauer, F. & Höck, V. (Eds.): Aspects of Geology in Austria. Mitt. Österr. Geol. Ges. 92/1999, 61–77, Wien 2000
- MANDL, G.W.: Die Geologie der Dachsteinregion. –  
In: Scheidleder, A., Boroviczeny, F., Graf, W., Hofmann, Th., Mandl, G.W., Schubert, G., Stichler, W., Trimborn, P. & Kralik, M.: Pilotprojekt „Karstwasser Dachstein“. Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen.  
Arch. f. Lagerst. forsch., 21, S. 13–37, Geol. B.-A., Wien. 2001
- MANDL, G.W.; HUSEN, D.; LOBITZER, H.: Erläuterungen zur geologischen Karte 96 Bad Ischl. 215 S.; 29 Abb., 10 Tab.; 4 Taf., Wien 2012
- MAYR, M. (2003): Die Salinen Austria AG und die Geologie ihrer Salzlagerstätten im Salzkammergut. –  
Mitt. IAG BOKU, Bd. 13, S. 53–97, Wien.
- MEDWENITSCH, W.: Die Geologie der Hallstätterzone von Ischl – Aussee.  
Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 1/2, 1–27, Wien 1949
- MEDWENITSCH, W.: Die Geologie der Salzlagerstätten Bad Ischl und Alt-Aussee (Salzkammergut).  
Mitt. Geol. Ges. Wien, 50/1957, S. 133–200, Wien 1958
- MOJSISOVICS, E. v. : Übersicht über die geologischen Verhältnisse des Salzkammergutes.–  
In: Suess, E. (Hrsg.): Bau und Bild Österreichs, 383–391, Wien–Leipzig 1903
- MOJSISOVICS, E. v. (1905): Erläuterungen zur Geol. Spezialkarte der Österr.-Ungar. Monarchie 1:75.000, Blatt Ischl und Hallstatt. Geol. R.-A., 60 S., Wien 1905
- MORTON, F.: Analysen von Eisenschlacken aus der römischen Niederlassung in der Lahn bei Hallstatt sowie von Eisenerzen aus der weiteren Umgebung von Hallstatt.  
Germania, Anzeiger der römisch – germanischen Kommission des Deutschen Archäologischen Instituts, Jg.30, H.1, S. 106 - 110, 4 Taf., Frankfurt 1952

- NOWAK, J.: Über den Bau der Kalkalpen in Salzburg und im Salzkammergut.  
Bull. Acad. Sci. Cracovie, 1911, 57–112, Cracovie 1911
- PAK, E. & SCHAUBERGER, O. (1981): Die geologische Datierung der ostalpinen Salzlagerstätten mittels S-Isotopenuntersuchungen. –  
Verh. Geol. B.-A., Bd. 2, S. 185–192, Wien.
- PERNICKA, E./BACHMANN, H.-G. (1983): Archäometallurgische Untersuchungen zur antiken Silbergewinnung in Laurion. III. Das Verhalten einiger Spurenelemente beim Abtreiben des Bleis.  
Erzmetall 36, S. 592–597. Clausthal – Zellerfeld 1983
- PISTOTNIK, U.: Bericht 1971 über Aufnahmen auf Blatt 96 Bad Ischl.  
Verh. Geol. B.-A., A56–A57 Wien 1972
- REIBNAGEL, H.M.: Gezähe im Mittelalter und in der frühen Neuzeit.  
Unveröff. Dipl. Arb. F. Ur- und Frühgesch. 198 S. Wien 2013
- RESCH, M.: Geologische und ingenieurgeologische Untersuchungen der Talzuschubs-Systeme am Hohen Raschberg bei Bad Goisern (Oberösterreich).  
Unpubl. Diplomarbeit Univ. Karlsruhe, XI+113 S., Karlsruhe 1997
- RÖNNAU, C. (2005): Risikobetrachtung von gravitativen Naturgefahren im alpinen Bereich – Anwendung auf das Arbeitsgebiet Hallstatt/Plassen im UNESCO Weltkulturerbe Hallstatt–Dachstein/Salzkammergut. Diss., Univ. Karlsruhe, XVII+160 S., Karlsruhe 2005
- RÜSENBERG, K.A., PAULIS, P.: Umbildungen und Neubildungen in den Schlackenhalde der Blei- und Silberhütte von Příbram/CR.  
Der Aufschluss 47, S. 267–287, 30 Abb. Heidelberg November/Dezember 1996
- TAFEL, V./WAGENMANN, K.: Lehrbuch der Metallhüttenkunde. Band I, 2. Auflage. 693 S. Leipzig 1951
- TAFEL, V./WAGENMANN, K.: Lehrbuch der Metallhüttenkunde. Band II, 2. Auflage 760 S. Leipzig 1953
- TOLLMANN, A.: Oberjurassische Gleittektonik als Hauptformungsprozess der Hallstätter Region und neue Daten zur Gesamttektonik der Nördlichen Kalkalpen in den Ostalpen.  
Mitt. österr. geol. Ges., 74/75, 167–195, Wien 1981
- TOLLMANN, A.: Geologie von Österreich, Bd. II: Außerzentralalpiner Anteil. – XIII+710 S., Wien 1985
- TRAUTH, F.: Über die geologische Gliederung der östlichen Nordalpen.  
Mitt. Geol. Ges. 29, S. 473–573 Wien 1937
- TROLARD, F., BOURRIÉ, G.: Structure of fougérite and green rusts and a thermodynamic model for their stabilities.  
Journal of Geochemical Exploration: 88(1-3) S. 248–251. Elsevier 2006
- TROLARD, F., BOURRIÉ, G., ABDELMOULA, M., REFAIT, PH., FEDER, F.: Fougérite, a new mineral of the pyroaurite-iowaite group: description and crystal structure.  
Clays and Clay Minerals: 55 S. 323–334. Springer 2007
- SCHAUBERGER, O.: (1986): Bau und Bildung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars.  
Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., Bd. 7 S. 217–254 Wien.
- SCHEINER, M.: Mineralogical and geochemical investigations into prehistoric smelting slags from Tepe Sialk/ Central Iran.  
Dissertation Freiberg, 82 S. Freiberg 2002.
- SEEMANN, R.: Die sedimentären Eisenvererzungen der Karstgebiete der Nördlichen Kalkalpen.  
Annalen des Naturhistorisch Bd. 82, S. 209–289, Wien 1979
- SPÖTL, CH. (1988): Sedimentologisch-fazielle Analyse tektonisierter Evaporitserien – eine Fallstudie am Beispiel des Alpinen Haselgebirges (Permoskyth, Nördliche Kalkalpen).  
Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, Bd. 15, S. 59–69, Innsbruck.
- WEIGERT, U.: Zur Geologie der Hallstätter Zone östlich Bad Goisern (Oberösterreich).  
Unpubl. Diss., Geol. Inst. Universität Wien, 146 S., Wien 1971
- WIETZKE, T.: Untersuchung natürlicher sulfathaltiger hybrider Schichtstrukturen: Charakterisierung, Systematik, Strukturmodellierung und Rietveld-Verfeinerung.  
Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle 1995
- WIETZKE, T.: Hydrowoodwardite, a new mineral of the hydrotalcite group from Königswalde near Annaberg, Saxony Germany and other localities.  
Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, S. 75–86, Stuttgart 1999
- ZANKL, H.: Die Karbonatsedimente der Obertrias in den nördlichen Kalkalpen.  
Geol. Rundschau (Int. J. Earth Sc.), 56, 128–139, Stuttgart 1967

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://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: 2021

Band/Volume: [36](#)

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

Artikel/Article: [Der Salzbergbau von Perneck bei Bad Ischl in Oberösterreich und das darüberliegende Eisen- und Bleiglanzvorkommen der Sudhüttenwand am Ischler Salzberg. Geologie des Arbeitsgebietes und der Aufschlüsse außerhalb des Salzbergbaues 3-48](#)