

Der Salzbergbau von Perneck bei Bad Ischl in Oberösterreich und das darüberliegende Eisen- und Bleiglanzvorkommen der Sudhüttenwand am Ischler Salzberg.

Die Abbaue im Eisenarz, der Aufschluss in der Stampfer Kehr und die Eisenverhüttung am Stambach bei Bad Goisern

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

Im vorliegenden dritten Teil unserer Arbeit gehen wir näher auf die Vererzung „Im Eisenarz“, einem Bereich der Sudhüttenwand, ein. Miteinbezogen werden konnte der 400 Meter tiefer liegende Aufschluss *Stampfer Kehr*, welcher nur über die Strecken des Ischler Salzberges erreichbar ist. Ebenfalls konnten die Abbaue und Schmelzanlagen auf der nach Bad Goisern zugewandten Bergseite näher untersucht werden. Im Weiteren konnten die Arbeiten an der Schlackenhalde des Fundpunktes am Leopold Stollen weitergeführt werden. Die Ergebnisse werden im vierten Teil 2023 in dieser Reihe zur Verfügung stehen.

Geographische Lage

In diesem Jahr konzentrierten sich unsere Arbeiten auf das Gebiet „Im Eisenarz“ an der Zwerchwand, die darunter liegende Stampfer Kehr und einen kleinen Bereich im Mittellauf des Stambaches auf der Bad Goisern zugewandten Seite des Salzberges.

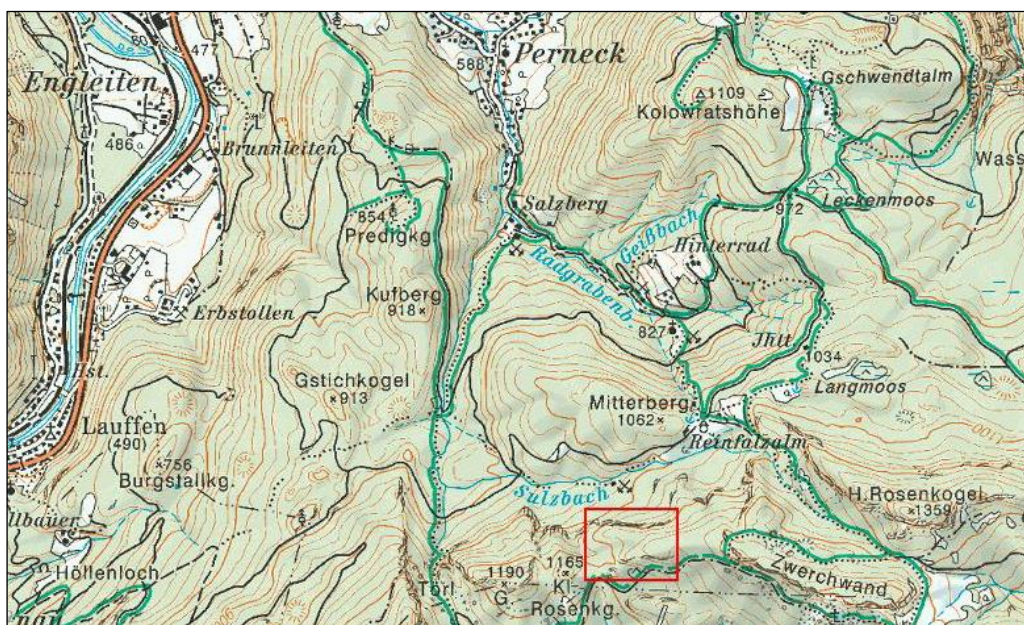


Abb.1: Bergbau im Eisenarz, Ausschnitt der ÖK 1:50.000 Blatt 96, Bad Ischl

*) Peter Arthofer, Alexander Kapeller
Sertlstraße 15
4400 Steyr
arthoferp@gmail.com

Grundsätzliches zur Entstehung von Blei- und Zinklagerstätten in den Nördlichen Kalkalpen

In den Nördlichen Kalkalpen sind eine Reihe von Blei- und Zinkvorkommen mit mehr oder weniger assoziierter Baryt und/oder Fluoritmineralisation, untergeordnet gelegentlich Coelestin (GÖTZINGER & GRUM 1992) bekannt geworden. Diese Vorkommen sind meist nahe tektonisch beanspruchter Zonen, vorwiegend an Deckengrenzen situiert. Besonders im Bereich bituminöser Gutensteiner Schichten in der Nähe von Evaporiten treten Vererzungszonen auf. Die Mineralogie solcher Vorkommen wurde im Wesentlichen von GÖTZINGER intensiv bearbeitet. Mit der Geologischen Situation befasste sich anfangs CERNY (1989). GÖTZINGER publizierte 1985 den anchi-zonal überprägten Charakter der Trärgesteine und 1991 (GÖTZINGER in WEBER et. al. 1997) diese Vorkommen als intraformationale Lagerstättenbildungen. Im Erzbezirk Salzkammergut befasste sich letztlich unter anderem LAMPL(2006) und STRASSER(2008) mit der nahegelegenen Lagerstätte Arikogel am Hallstätter See.

Die Genese der Erzlager wurde in neuester Zeit durch LÄNTZSCH (2015) übersichtlich zusammengestellt. Diese Arbeit kann dem Interessierten für weitere Details empfohlen werden. Für die Erzlagerstätten in den Nördlichen Kalkalpen war bis 1914 die inzwischen heute nicht mehr haltbare Theorie der „Epigenetischen Lagerstätten“ gängig. In dieser These stufte man die Erze ausnahmslos jünger ein als das Muttergestein. SCHNEIDERHÖHN vertrat ab 1905 die Theorie einer „hydrothermalen Lagerstättenbildung“- LÄNTZSCH (2015), welche über längere Zeit nur von wenigen Lagerstättenkundlern angezweifelt wurde. Der erste bayerische Geologe, FLURL publizierte bereits 1792 in seiner „Beschreibung der Gebirge von Baiern“ das Bleivorkommen am Rauschberg bei Inzell als „*Höhlungen - erst in etwas späteren Zeiten, wo erzwangeres Wasser über den selben gestanden sein mag, zog sich selbes in diese Höhlungen, setzte die in ihm aufgelösten Erzteile ab.....*“

1861 publizierte der königliche Bergmeister C.W. LÄNTZSCH in seiner „Geognostischen Beschreibung des bayerischen Alpengebirges:“ *Die Erze sind auch hier putzen- und nesterweise ja selbst in feinen Körnchen ursprünglich in dem in den festen Kalksteinen lagerweise eingesprengt erhalten. Aus diesen zerstreuten Erzpunkten haben sich durch nachfolgende Umbildung ... die metallischen Substanzen unter der Vermittlung des Wassers und der Luft auf größere Spalten und Klüfte angesammelt und regeneriert. Dieses sekundäre Erzvorkommen hält sich daher an die Richtungen und Klüfte.*“

FLURL's Theorie wird heute in der modernen Lagerstättenforschung als „hydratisch deszendente Lagerstätten-theorie“ (absteigende wässrige Erzlösungen) bezeichnet.

C.W. GÜMBEL muss als Vater der „Thesis der syngenetischen Entstehung der primären Erze und der Diagenese“ (diesen Begriff hat GÜMBEL selbst geprägt), und der späteren Anreicherung in tieferen Horizonten (Sekundärlagerstätten) gesehen werden (LÄNTZSCH 2015)

1953 gelang SCHNEIDER bei Professor MAUCHER und 1954 TAUPITZ bei Professor BORCHERT der endgültige Durchbruch zur Erkenntnis dieses Lagerstättentyps. Nach längerer Diskussion wurde schlussendlich die „Theorie der syngenetischen Entstehung der Erze“ allgemein anerkannt. Unter Syngeneese ist hier eine Erzanreicherung gleichzeitig mit der Sedimentation des späteren Muttergesteines unter dem Meeresspiegel zu verstehen. Hiermit ist die Theorie der „hydrothermalen Entstehung“ für einen großen Teil der Blei- und Zinkvorkommen widerlegt.

Die „hydrothermale Theorie“ basierte auf metallhaltigen Lösungen, welche aus dem Pluton unter hohem Druck und bei Temperaturen bis zu 450 Grad Celsius wässrige metallhaltige Lösungen bilden, beim Aszendieren abkühlen und auf ihrem Wege zur Oberfläche hoch-, mittel- und niedrig temperierte Phasen abscheiden.

CERNY (1989) gliederte die Blei- und Zinklagerstätten in „submarin-exhalative Lagerstätten“ (Metallzufuhr ausschließlich durch ausströmende vulkanische Dämpfe und Gase, schichtgebunden auf vulkanischem Untergrund), „sedimentär-exhalative Lagerstätten“ (Metallzufuhr ausschließlich durch ausströmende vulkanische Dämpfe und Gase, ebenfalls schichtgebunden auf sedimentärem Untergrund), und „karbonatgebundene sulfidische Lagerstätten“, welche durch SAWKINS (1984) in drei weltweit vorkommende Subtypen weiter gesplittet wurden.

Der Nordalpine Lagerstättentyp kann nach LÄNTZSCH (2015) durch folgende Fakten charakterisiert werden:

- Die Erzablagerung und Anreicherung erfolgte im Riffgürtel der Tethys.
- Speziell die im Ladinium bis Karnium gebildeten synsedimentären Erze sind stets mit einer bituminösen (anoxischer) Fazies verknüpft.
- Die Erzzusammensetzungen sind fazies- und tektonikkontrolliert.
- In der oberen Trias kam es mehrfach zu Regressionen (Rückzügen) und folgenden Transgressionen (Überflutungen) durch Änderungen des Meeresspiegels.
- Beim wiederholten Trockenfallen der Erzablagerungsgebiete sind die Vorkommen den terrestrischen Einflüssen ausgesetzt. Beispielsweise fördert der Süßwassereintrag die Verkarstung. Bei nachfolgender Transgression können sich in Karstschloten neue Erzablagerungen bilden.
- Durch die Auflast der im Jura und in der Kreidezeit abgelagerten Gesteinspakete auf die erzführenden ladinischen und karnischen Schichten entstehen Druck-Temperatur-Bedingungen, bei denen Erze in einer Weise verändert wurden, die der Bildung hydrothermaler Lagerstätten ähnlich sehen.
- Faziesbedingt lokal hohe Gehalte an Fluorit und Baryt.
- Die Erzvorkommen sind synsedimentär und meist syndiagenetisch.
- Die Vererzung steht im Zusammenhang mit großen tektonischen Events, wie beispielsweise das Periadriatische Lineament, also eine sogenannte „Syntektonische Diagenese“.
- Nordalpine Lagerstätten können:
 - konkordant sein: Ungestörte Ablagerung von jungen auf älteren Schichten oder
 - diskordant sein: mit Schichtlücke auf noch älteren Schichten abgelagert, daher auch als sekundäre Lagerstätten bezeichnet.

Wichtige Faktoren bei der Entstehung von synsedimentären alpinen Blei- und Zinklagerstätten

- Druck durch jüngere auflastende Schichten.
- Temperatur für die Umformung der Erze (z.B. im Wettersteinkalk 100 Grad Celsius bis maximal 200 Grad Celsius)
- Erzbildner sind Blei, Zink und Silber.

- Begleitende Elemente Barium (Ba) in Baryt, Fluor (F) in Fluorit, Silicium (Si), Eisen (Fe), Antimon (Sb), Arsen (As), Kupfer (Cu), Wolfram (W), Molybdän (Mo), Vanadium (V), Strontium (Sr), Gallium (Ga), Germanium (Ge). Baryt und Fluorit kommen nicht als Gangart in diskordanten Lagerstätten vor.
- Gangart besteht aus Karbonaten wie Calcit CaCO_3 oder Dolomit MgCO_3
- Vorhandensein von reaktionsfähigen Elementen und Gasen wie Schwefelwasserstoff (H_2S), Sauerstoff (O_2), Kohlendioxid (CO_2), Fluor (F), Schwefeltrioxid (SO_3), Chlor (Cl), Ammoniak (NH_3 bzw. $[\text{NH}_4]^+$), Schwefel (S) und die daraus entstehenden Säuren Kohlensäure (H_2CO), Schweflige Säure (H_2SO_3), Salzsäure (HCl), Fluorwasserstoffsäure (HF), diese größtenteils durch Vulkanausbrüche lokal stark angereichert.
- Die Herkunft der Metalle kann aus primären synsedimentären Lagerstätten über eine Fällung von Schwefelwasserstoff, exhalativ durch vulkanische Gase und Dämpfe, aus Vulkanausbrüchen oder durch terrestrischen Eintrag von Blei- und Zinklagerstätten aus

TAUPITZ erklärte 1954 die Mineralisation dieser Lagerstätten in vier Phasen:

Die **erste Phase** ist (bedingt durch das Gefüge) als sedimentär zu bezeichnen.

In der zweiten und dritten Phase finden sich Mineralisationen, die aus Lösungen gebildet wurden, die MAUCHER als hydratische Bildungen bezeichnet.

Die **zweite Phase** ist eindeutig vor der Faltungstektonik einzugliedern. In dieser Etappe, der „diagenetisch-hydratischen“ Phase nach MAUCHER, werden die Erzschlämme und Gele durch Druck und Temperatur unter Wasser verfestigt.

Die **dritte Phase** setzt nach der ersten größeren Faltung ein. In dieser, als „syntektonische-hydratische Phase“ zu bezeichnenden Etappe, herrschten hier Auffüllungen der Tektonischen- oder Auslaugungshohlräume vor. Es kam hierbei zu einem Wechsel von Auflösung und Mineralabsatz.

In der **vierten Phase**, die als „deszendente-oxidische Phase“ bezeichnet wird, herrschen stark oxidierende Bedingungen vor. Sulfidische Erze werden oxidiert und umgelagert. Deszendente werden Eisenhydroxid, Vanadium und Molybdän aus arider Verwitterung zugeführt

Die synsedimentären Lagerstätten entstehen in Riffen. Am nördlichen Schelfrand der Tethys bildeten sich Strandriffe (oft mehrere hundert Kilometer lang) in Form von Barriereriffen und Atollen aus. Beim supratidalen Bereich, der für die Metallogenese maßgeblich ist, handelt es sich um sporadisch kurz überflutete Spritzwasserzonen oberhalb der Gezeitenzone. Bei temporärem trockenem und heißem (also aridem Klima), bildeten sich in Mulden anoxische Sedimente, also unter Sauerstoffabschluss gebildeter Faulschlamm. Der dabei entstehende Schwefelwasserstoff scheidet die durch Verdunstung angereicherten metallhaltigen Lösungen als sulfidische Erze ab. Bei Gegenwart von Chlorionen werden bei hypersalinen Verhältnissen, das bedeutet, bei einem Salzgehalt von weniger als fünf Prozent, vor allem Blei und Zink abgeschieden.

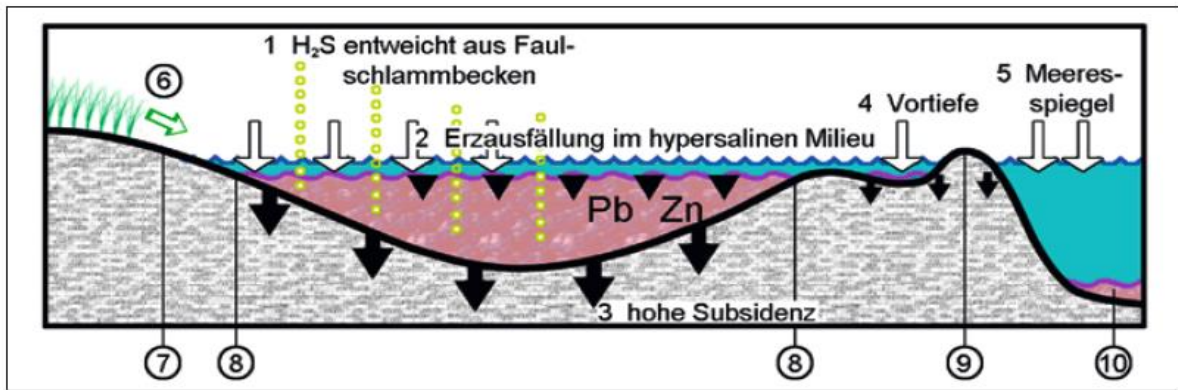


Abb. 2: Vereinfachte schematische Darstellung der Erzablagerung am Beispiel der Oberen Trias aus LÄNTZSCH (2015)

6: Windabtragung und Eintrag von Staub. 7: Terrestrische Abtragung und Eintrag 8: Anoxisches Sedimentbecken (Faulschlamm) 9: Rifffamm trennt offenen Ozean von d. Lagune 10: Primäre sulfidische Ablagerung auf dem Schelf.

Die Entstehung eines abbauwürdigen Lagers hängt im Wesentlichen von folgenden Parametern ab:

Ausfällungsbedingungen über einen ausreichend langen Zeitraum.

- Räumlich begrenztes Absinken (Subsidenz) der Lagunen zum Beispiel im Ladin. Dort unterlagen diese Bereiche einer schnellen und langfristigen Subsidenz. Es konnte Wettersteinkalk bis zu einer heutigen Mächtigkeit von 2000 Metern abgelagert werden.
- Häufiger Switch zwischen Regression und Transgression, dadurch bedingt ein temporäres Trockenfallen und terrestrische Verwitterung bei aridem Klima. Durch oberflächliche Verkarstung wurden Wege für deszendente meteorische Wässer sowie für ascendente Brines, beispielsweise Salzlösungen, geschaffen.
- Erhöhte Metallgehalte durch lokale submarine vulkanische Exhalationen
- Bei Festlandnähe erhöht sich der Mineralgehalt durch Eintrag von Verwitterungsprodukten durch Erosion von erzureichem Material im terrestrischen Bereich.

Der Bleiglanz- und Eisenbergbau im Eisenarz und der Aufschluss in der Stampfer Kehr

Lage der Erzvorkommen im Eisenarz

Die Erzvorkommen im Eisenarz sind in einem Einschnitt zwischen dem Steilabfall der Sudhüttenwand und dem nördlichen Ausläufer der Zwerchwand situiert. Das Gelände erstreckt sich von Osten nach Westen auf etwa 600 Meter und von Norden nach Süden auf etwa 300 Meter und überwindet dabei einen Höhenunterschied von etwa 200 Metern.

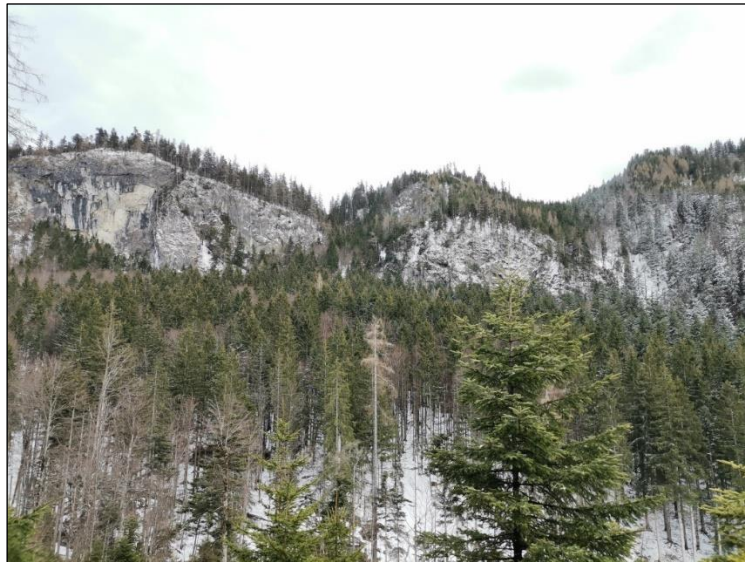


Abb. 3: Taggegend des Bergbaues im Eisenarz, die Bergbauanlagen befinden sich im linken Graben.
Foto P. Arthofer, April 2022

Arbeiten

Obertage wurde das Areal mehrfach begangen und die Überreste des Bergbaues wurden befahren. Die historischen Fakten sind bereits im ersten Teil unserer Arbeit (ARTHOFFER & KAPPELLER 2020) publiziert worden. Die Vererzung im steilen Graben wurde nach unserer Ansicht über drei Horizonte erschlossen. Der oberste Einbau, der sogenannte „Hütterstollen“ auf 1105 Metern Seehöhe, der als Haupterz im Wesentlichen limonitische Erze angefahren hat, ein namenloser Stollen auf 1040 Meter Seehöhe, welcher unter anderem auf die Bleivererzung traf und der als „Unterer Vitriolstollen“ bezeichnete Bau auf 1026 Metern Seehöhe, welcher das Erzlager (zumindest nach den Haldenbefunden) nie erreichte. Im Bereich zwischen 1000 bis 1105 Metern Seehöhe fanden sich eine Reihe von kleinen Halden, die zur Zeit der Arbeiten von ANTES & LAPP(1962) und einer Exkursion des Verfassers 1998 noch von reicher Vegetation verdeckt waren. Heute ist das Gelände besser einsehbar. 2021 haben die Verfasser mit M. HOFFELNER begonnen, die von ANTES & LAPP (1962)gefertigte Karte und die Aufnahmen des Verfassers mit H. THALER (1998) zu einem Gesamtbild zusammenzuführen, die Halden im Gelände einzumessen und Fixpunkte im trotz besserer Verhältnisse auch heute noch unwegsamen Gelände zu erstellen. Der höchstgelegenen Stollen, der „Hütterstollen“, ist unserer Ansicht nach der Ausgangspunkt der Abbauarbeiten, da hier ein Erzausbiss am Tag festzustellen ist. Der Mittlere Stollen wurde, wie an partiell vorhandenen Einbruchspingen zu sehen ist, bereits weit durch Hangschutt vorgetrieben, um den Hütterstollen zu unterfahren. Der Untere Vitriolstollen wurde in erzfreiem Kalkgestein angeschlagen und in Richtung der Vererzung vorgetrieben, um die Lagerstätte zu unterfahren.

Obertägige Aufschlüsse im Anstehenden:

Im Gelände findet sich, wie schon bei ANTES & LAPP (1962) beschrieben, ein Aufschluss eines Harnisches oberhalb des Hütterstollens. In diesem Bereich ist eine mit 50 Grad gegen Norden einfallende nahezu geradlinig verlaufende Dolomitwand anstehend. Es handelt sich hierbei um eine partiell bis zur Unkenntlichkeit schuttüberdeckte Bewegungsfläche zwischen Trias und Jura. In diesem Bereich sind Aufschleppungen von Werfener Schiefer und Lettenausquetschungen zu beobachten. Der Harnisch ist an offenliegenden Stellen mit einer exogenen Limonitschichte bedeckt. An einem aus dem Harnisch gebrochenem Handstück konnte von ANTES & LAPP (1962) eine fingerdicke Bleiglanzader festgestellt werden.

Der Hütterstollen bietet auch heute noch einen, wenn auch sehr begrenzten Einblick in den oberen Bereich der Vererzung. Wenn man den niedrigen Eingang des Hütterstollens durchkriecht, erreicht man die erste Kammer, in welcher noch Reste der alten Verzimierung zu sehen sind, weiters eine kleinere Kammer im Dolomit. Seitlich zweigt eine ebenfalls kriechbare Engstelle zu einer weiteren Kammer ab. Während die beiden zuerst erwähnten Kammern im Dolomit stehen, ist in der zuletzt genannten Kammer der tektonisch sehr beanspruchte Grenzbereich zwischen Dolomit und Werfener Schiefer festzustellen.

Im Frühjahr 2022 führte DI TH. LEITNER, Salinen Austria, eine Aufnahme des Bergbaugesbietes mittels eines mobilen Laserscanners, ZEB Horizon, durch. Aus der Lasermessung wird eine Punktwolke berechnet, mit der es möglich ist, ein dreidimensionales Bild zu erstellen. Störender Bewuchs muss mittels Nachbearbeitung entfernt werden. Zusätzlich zur Vermessung wurde die Umgebung mit dem digitalen Oberflächenmodell 50 cm aus der aktuellen Airborne Laserscan Vermessung des Landes Oberösterreich dargestellt (Ref. <https://www.land-oberoestereich.gv.at/217846.htm> / (Eindeutiger Identifikator: db406b08-914a-4895-84bef93760f19db2). Das gescannte Gelände wurde mit GPS-Koordinaten über das Oberflächenmodell positioniert. Aus diesem erstellten Modell ist es möglich, die Kubatur der Halden zu berechnen bzw. abzuschätzen. Datentechnisch wurden die durch den Bergbau bewegten Gesteinsmassen des Mittleren Stollens (zirka 1.045 Kubikmeter), des Unteren Vitriolstollens (zirka 540 Kubikmeter) und der Scheidehalde-Aufbereitung mit etwa 950 Kubikmetern berücksichtigt. Die im Eisenarz verbliebenen bergbaulich bewegten Gesteinsmassen belaufen sich also auf etwa 2.535 Kubikmeter. Die Halde des Hütterstollens wurde nicht in Bezug auf die Kubatur berücksichtigt, da dieses Haldenmaterial in den steilen Abhang verbracht wurde, sich mit der schuttbedeckten Geländeoberfläche konturlos vermischt hat und keine Möglichkeit bietet, das Lockermaterial mengenmäßig zu separieren.

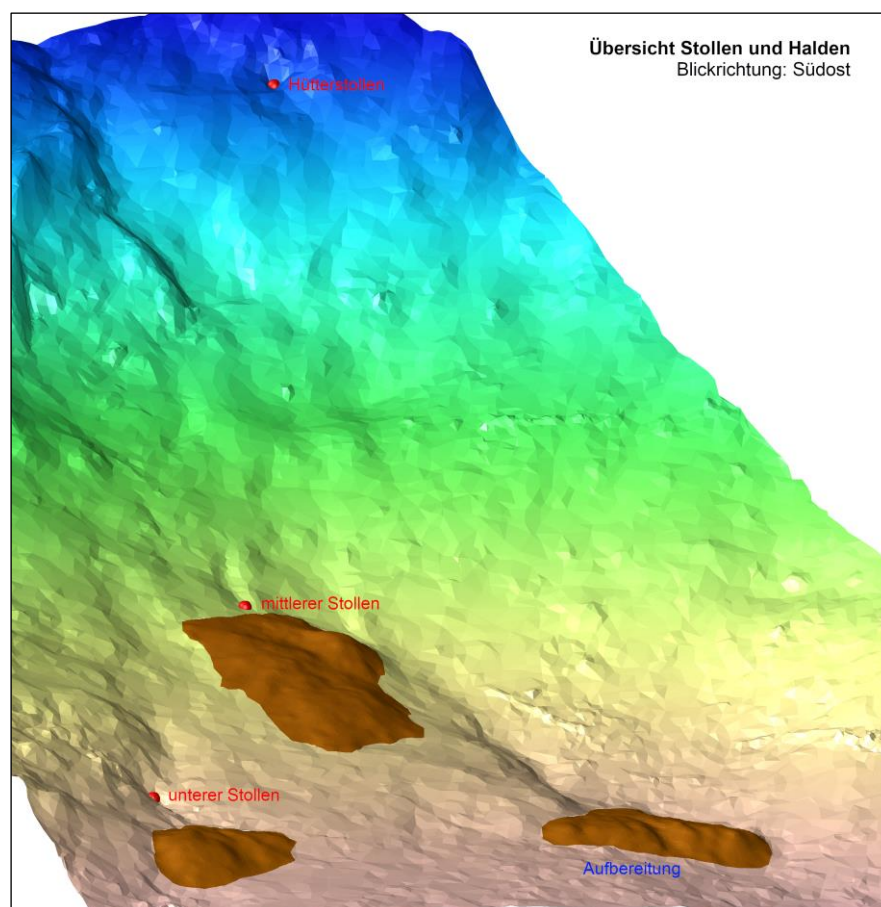


Abb. 4a: Dreidimensionaler Geländescan der Halden im Eisenarz aus zwei Blickrichtungen (sh. auch Abb. 4b).
Erstellt und bearbeitet von DI TH. LEITNER. Die Haldenkegel sind mit brauner Farbe hervorgehoben

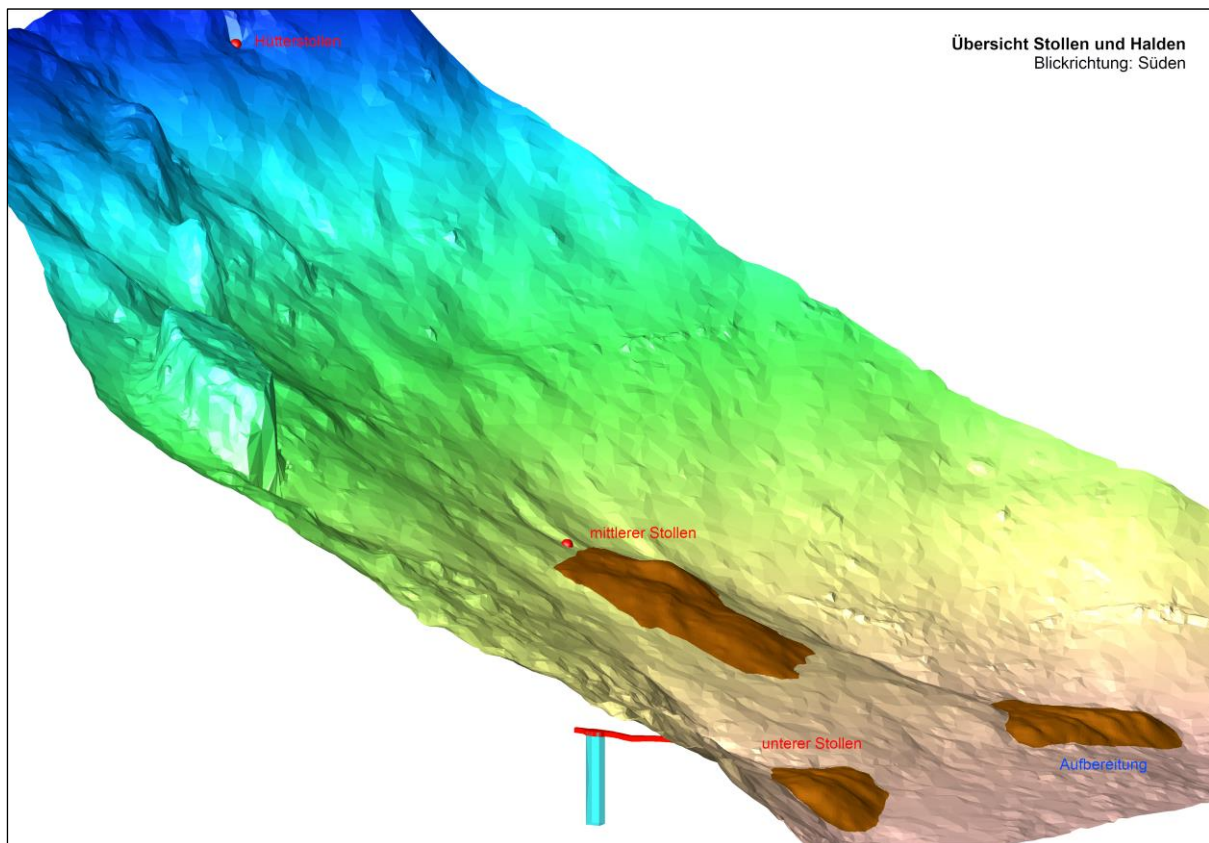


Abb. 4b: Dreidimensionaler Geländescan der Halden im Eisenarz aus zwei Blickrichtungen (sh. auch Abb. 4a).
Erstellt und bearbeitet von DI TH. LEITNER. Die Haldenkegel sind mit brauner Farbe hervorgehoben.

Die Lage der Stampfer Kehr im Ischler Salzberg

Untertage wird die Vererzung in der Stampfer Kehr im Maria Theresia Horizont (Das Mundloch der Hauptschachtricht liegt auf 680 Metern Seehöhe) angefahren. Dieser nahezu genau nach Süden geführte Grubenbau ist der erste südliche Querschlag der westlichen Richtstrecke (Riethaler Kehr) des Maria Theresia Stollen.

Der Zugang zur Stampfer Kehr erfolgte für unsere Probenahmen über den Erbstollen, hinauf in den ehemaligen Schaubergwerksbereich im Maria Theresia Horizont, in die Stampfer Kehr. Ein großer Teil der Stampfer Kehr ist im „Deutschen Türstock“ ausgebaut. Die Ulmen sind in diesem Bereich nur an wenigen Stellen einsehbar. Ab der Abzweigung zum *Kudernatsch Schurf* beginnt eine dicke Betonausmauerung die keine Möglichkeit zur Einsicht in die Schichtabfolge bietet. Diese ausgemauerte Strecke reicht bis fast an den Vererzungsbereich heran. Der letztere Bereich steht seit fast 160 Jahren ohne Ausbau. Dieser Abschnitt ist der Quellzutrittsbereich des sogenannten Stampferwassers. Die Sohle steht zum Teil bis zu 50 Zentimeter unter Wasser und die Feuchtigkeit in Verbindung mit den Wettern haben dicke Oxidschichten an den Wänden hinterlassen. Diese Umstände erschwerten verständlicherweise die Beprobung des Bereiches.



Abb. 5: DI TH. LEITNER, Salinen Austria an einem Quellzutritt der Stampfer Kehr, dem Stampferwasser.
Im Bild ebenfalls zu erkennen, die deutliche Rostrotfärbung der Wände durch die Oxidation der Sulfidvererzung.
Foto P. Arthofer 2022

Erforschung Lagerstätte

Der Beginn der Erforschung der Lagerstätte folgte auf die Entdeckung eines Erzausbisses in der Flur „Im Eisenarz“, und dauerte bis zur Betriebsschließung auf allerhöchste Weisung des römischen Kaisers Ferdinand I. im Jahre 1562 an. Obige Annahme des Bergbaubeginnes am Hütterstollen erzeugt durch den an dieser Stelle offenliegenden Erzgang, den Fund einer Halde mit nicht mehr abtransportierten kleingekuttetem Hauwerk (solche Kleinstückigkeit weist auf ein hohes Alter der Halden hin, es handelt sich hier um ein limonithaltiges minderwertiges Erz), als auch durch die Angabe der Literatur als Eisenvorkommen ein schlüssiges Bild. Im Hütterstollen treten die Bleierze stark in den Hintergrund und sind wirtschaftlich zu vernachlässigen.

Das gegenständliche kleinräumige Eisenvorkommen gab dem Eisenarz seinen Namen. Der anfängliche Bergbau könnte einige Jahre in Produktion gestanden haben, da die Unterfahrung mit dem Mittleren Stollen durch die Geröllhalde damals sicherlich lange Zeit in Anspruch genommen haben dürfte. Erst beim Aufschlag in der Teufe kamen reichere Bleierze und wirtschaftlich verwertbare Sulfiderzkonzentrationen zu Tage. Man begann die Galeniterzstücke auszuklauben und beim Leopold Stollen zu verhütten. Talwärts vom Mittleren Stollen wurde auf verschiedenen Aufbereitungsstationen das Grubenklein für einen Betrieb zur Vitriolherstellung (siehe ARTHOFER & KAPPELLER 2020) vorbereitet. Die Bezeichnung Sudhüttenwand leitet sich von der Vitriol-erzeugung her. Dies wird durch unsere Beprobungen der kleinen Halden und Plateaus belegt. Das Sideriterz wurde zur Gewinnung von Eisen ebenfalls abgeschieden. Es liegt also hier eine nach Einzelprozessen getrennte Ablauforganisation der Erztrennung vor. Mit dem Betriebsende geriet dieses Vorkommen wieder fast in Vergessenheit.

1694 schickte der Sachverständige des Salzamtes, *GEORG FASCHL* (BREUER 1971), unter anderem Proben von der Reinfalzalpe an die Hofkammer in Wien.

1820 erwähnt *DICKLBERGER* die Reinfalzalpe, jedoch waren damals die Spuren der Eisenabbau fast verwischt und von Jungwald bewachsen.

Etwa aus dieser Zeit stammt ein Schnitt durch den Ischler Salzberg aus dem Archiv der Salinen Austria, bei dem der Erzgang nach damaliger Ansicht kartiert wurde.

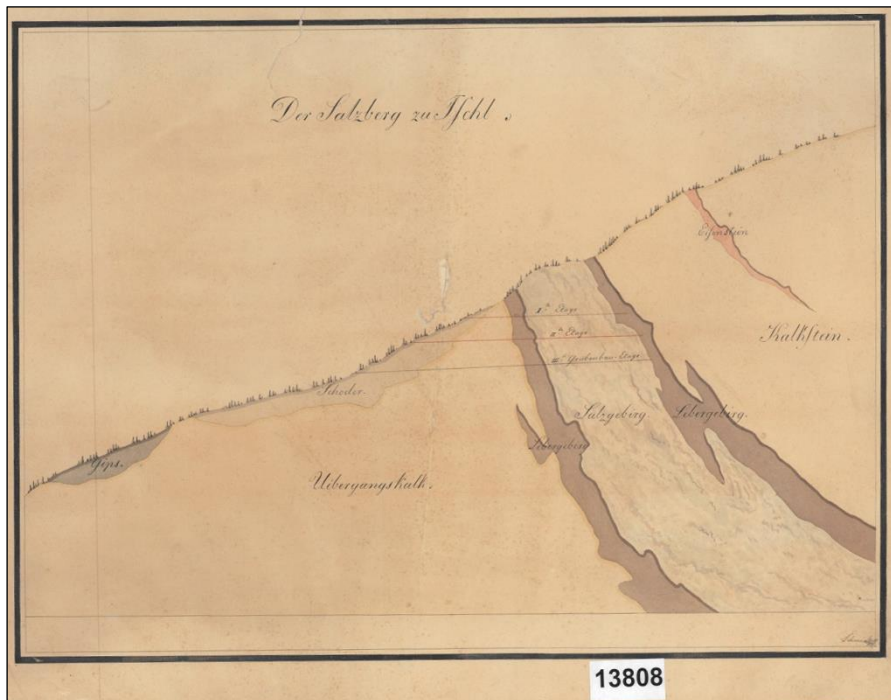


Abb. 6: Schnitt durch den Ischler Salzberg mit dem Erzgang der Reinfalzalpe (rot gefärbt).
Archiv der SAAG, ohne Jahresangabe.

1858 wurde beim Auffahren der Stampfer Kehr im Maria Theresia Horizont der Erzgang in der Tiefe durchörtert.

1878 publizierte *AIGNER* seine Erkenntnisse über diese Erzformation, mit der er sich eingehend befasste. Die Stampfer Kehr wurde angelegt, um das nach damaliger Anschauung muldenförmig gedachte Salzlager gegen Süden aufzuschließen. *AIGNER* sieht das Erzlager als eine „Schichte des Schwefelkieses, welcher zwischen den Lagen von grauem Kalke und buntem Sandsteine eingelagert ist. Wird von dem Anfahrungsstelle des Schwefelkieses im Horizonte Theresia die Verflüchtigungslinie bis zu Tage geführt, so trifft dieselbe in der sogenannten Rheinfalzalpe fast genau mit einem Punkte zusammen, welcher historisch bereits durch eine uralte, daselbst befindliche Vitriolsiederei bekannt ist“. Aigner veranlasste Schürfungen im Eisenarz, wobei nur wenige Gesteinsproben erschürft wurden, die für Rückschlüsse über den Aufbau des Kieslagers brauchbar waren. Zum einen beschreibt Aigner rote Schiefer, welche nach seinen Fossilbefunden zu den Schichten des bunten Sandsteins gehören und welche beim Auffahren der Stampfer Kehr angetroffen wurden. Zum anderen fand er Stücke von erdig-sandigem Schwefelkies mit in Brauneisenstein umgewandelter Oberfläche. Erwähnung finden auch die Schlacken im Tal von Perneck und die Vitriolerzeugung an der Sudhüttenwand. Das geologische Profil der Stampfer Kehr wird näher beschrieben. Nach dem Austritt der Kehr aus dem Salzlager tritt die Strecke in eine Region aus schwarzem Ton mit grauen Anhydritbänken ein, in der sich rote Gipsschnüre und rötliche Tone befinden, ein Material, welches der Bergmann als Lebergebirge bezeichnet. Die rötlichen Tone von glänzendem pelitischen Charakter sieht *AIGNER* als Übergangsform des darauffolgenden bunten Sandsteines, der im weiteren Verlauf eine Mächtigkeit von 39 Metern erreicht.

Dieses Gesteinspaket ist ein ziegelroter Sandstein mit feinen Glimmerplättchen, der optisch durch Eisenoxid zementiert zu sein scheint. Im weiteren Streckenverlauf Richtung Süden verliert sich die rötliche Färbung immer mehr, der Sandstein wird grünlich und der Glimmer verschwindet. Darauf folgt ein drei Meter mächtiger Einschub aus schwarz-glänzendem Tonschiefer, der wie ein Salband auf eine darauffolgende, zwei Meter mächtige Kiesbank betrachtet werden kann. Diese Bank hat ein sehr erdiges amorphes Aussehen. AIGNER nimmt an, dass es sich nicht um reinen Schwefelkies, sondern einen mit Pyrit imprägnierten Mergel handelt. Nach einer Analyse des k.k. Generalproberamtes enthält das Material 35,76 % Schwefel, also ein relativ armes Erz.

AIGNER (1878) befasste sich mit der Frage der Abbauwürdigkeit des Kieslagers und eine mögliche wirtschaftliche Nutzung desselben. Er hält fest, dass dieses Kieslager nur im Eisenzug sowie in der Stampfer Kehr aufgeschlossen ist. Die 40 Meter tiefer gelegene Schmied Kehr des Leopold Stollen steht in ihrem Feldort im festem grauen Anhydrit und hat die Kiese noch nicht durchsetzt. Dadurch nimmt AIGNER, wenn nicht eine Verwerfung das Kieslager stört, eine horizontale Verdrückung oder Verschiebung nach Süden an. AIGNER schlägt zur Klärung der Verhältnisse einen Vortrieb der Schmied Kehr und die Auffahrung einiger Querschläge in höheren Horizonten gegen Süden. Ausgehend von den geologischen Verhältnissen der Stampfer Kehr nimmt AIGNER einen relativ leichten Vortrieb der Sondierstrecken durch Tonschichten und Werfener Schiefer an. Zur Verwertung der Kiese empfiehlt AIGNER, sich mit den um die Salinen angesiedelten chemischen Fabriken über zusätzliche neue Produkte kurzzuschließen.

1936 konnte vom linken unteren Stollen im Eisenzug eine Skizze angefertigt werden, die aus heutiger Sicht als tiefste dokumentierte Befahrung in diesem Stollen gilt und dem Interessierten nicht vorenthalten werden soll.

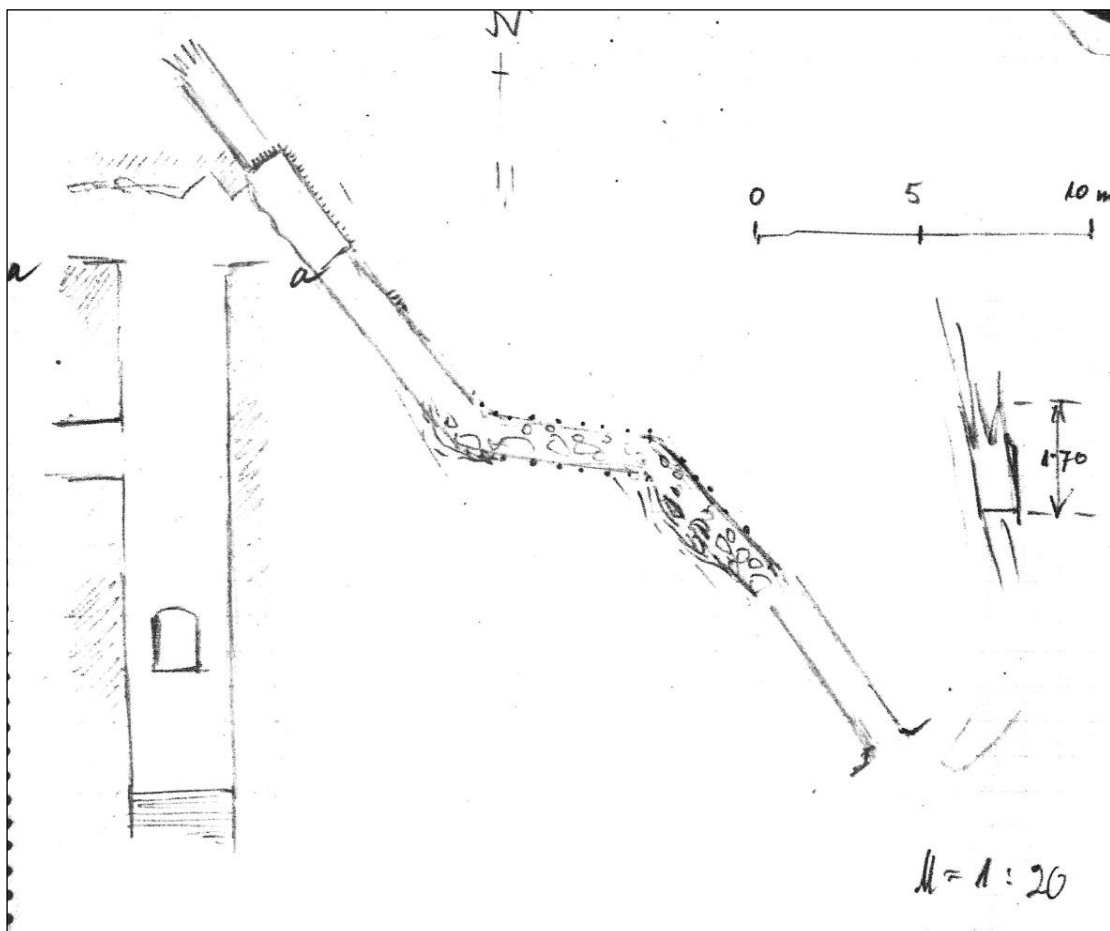


Abb. 7: Skizze Unterer Vitriolstollen umgezeichnet nach einer Skizze ohne Autorenangabe vom 15.8.1936. Sichtbar ist hier der Verlauf der Strecken im Schacht.

Der ehemalige oberösterreichische Landesgeologe JOSEF SCHADLER führte im Gebiet um Bad Ischl Kartierungen durch, welche er 1949 veröffentlichte. Von SCHROLL (1954) wurden Erzproben geochemischen Analysen zugeführt. Die Ergebnisse der Analysen von Galenitproben in Parts per million (ppm) ergaben 100 ppm Silber, 1000 ppm Arsen, 50 ppm Antimon, 3 ppm Wismut und 100 ppm Thallium.

1962 wurde die Lagerstätte im Eisenarz obertage von ANTES und untertage in der Stampfer Kehr von H. Lampl im Rahmen einer Diplomarbeit an der Montanuniversität Leoben bearbeitet. Teile dieser Arbeit waren unter anderem die Kartierung der Bergbaureste im Eisenarz, die geologische Aufnahme des Abbaubereiches, untertage die Aufnahme der Sulfidvererzung in der Stampfer Kehr und die Erforschung der Stratigraphie dieses Bereiches. Aus den Vermessungsprotokollen und der Beschreibung der Arbeiten wird dem Leser klar, mit welchen widrigen Umständen die beiden Autoren damals konfrontiert waren. Das Taggelände war damals teils dicht mit Jungwald bewachsen, ein Bereich war eine verwachsene Vernässungszone. Der obere Bereich ist ein Steilgelände. Untertage in der Stampfer Kehr behinderte der dauerhafte Zufluss des Stampferwassers sowie dick mit Oxiden überzogener Fels die Sicht auf das Gestein. Ein gereinigter Probenpunkt konnte nur einige Minuten saubergehalten werden, bevor er wieder vom breiartigen Massen zugedeckt wurde.

Die Taggegend der Vererzung ist größtenteils von Hangschutt, Haldenmaterial und Waldboden bedeckt. Das Probenmaterial konnte aus den Deponien der verschiedenen Aufbereitungsstufen und aus dem Anstehenden im Hütterstollen entnommen werden. Hierbei handelt es sich um Reichbleierz, Eisensulfiderze für die Vitriolsiederei, unverarbeitetes Hauwerk und Abraum mit geringer Erzführung.

1962 untersuchte HASLINGER sieben Erzvorkommen im Salzkammergut, wobei auch die Lagerstätte im Eisenarz ein Teil seiner Arbeit war.

1971 reichte BREUER unter MEIXNER eine Hausarbeit über mineralogisch- petrographische Vorkommen um Bad Ischl ein, bei der auch das Vorkommen im Eisenarz noch einmal Eingang fand.

Die Schichtenfolge sowie die geologische Position des Bereiches der Bergbaue im Eisenarz und der Stampfer Kehr

Obertägig liegt die Vererzung in den Nordhängen eines 1185 Meter hohen Höhenzuges nach HASLINGER (1962) zwischen dem Hochmoor Arzmoos und der Reinfalzalpe an der Oberfläche eines Ausläufers des Ischler Salzberges. An der Grenze von zwei Schuppen der Oberen Hallstätter Decke tritt die Vererzung linsenförmig zutage. Der Verlauf dieser Nordwest nach Südost ausgerichteten länglich geformten Vererzungszone lässt sich im Gelände, auch in den von Bergsturzmassen teilweise bedeckten Bereichen, durch das Vorhandensein von alten Halden und Röschen belegen. Die weitere, fast geradlinige, Fortsetzung der Schuppengrenze wird nach WINTERLEITNER (2009) vom Fuß der Zwerchwand aus Barmsteinkalk und dem daraus hervorgehenden, zu Lebergebirge zersetztem Haselgebirge geprägt.

Nach HASLINGER (1962) liegt eine, an ihrem Ostteil vererzte Schuppe aus Werfener Schiefer, Muschelkalk Dolomit, einer Brekzie aus Hallstätter Kalk, teilweise dolomitisiert als eine steil nach Norden einfallende und verkehrt liegende Schichtfolge vor. Diese etwa 700 Meter lange, West-Ost streichende Schuppe keilt an beiden Enden zwischen Barmsteinkalk und Liasfleckenmergel aus.

Die zweite, nach HASLINGER (1962) im Norden angrenzende, Schuppe an der linken Seite des Sulzbaches besteht ebenfalls aus Barmsteinkalk und Liasfleckenmergel von geringer Ausdehnung. Die Liasfleckenmergel bilden dort Verwitterungsböden mit vereinzelt Lesesteinen. Diese ebenfalls nach Norden steil einfallende Schuppe ist nicht vererzt, allerdings ist dieser Bereich schlecht aufgeschlossen. Nach MEDWENITSCH (1957) handelt es sich bei diesen beiden Schuppen

um wesentliche Teile der Oberen Hallstätter Decke. Steinalmkalk der vererzten Schuppe wurde als südliche Begrenzung des Haselgebirges in der Stampfer Kehr aufgeschlagen. Demnach muss der vererzte Werfener Schiefer und Steinalmkalk des Maria Theresia Horizontes auseinanderweichen. Die obertage anstehenden Schollen von Hallstätter Kalk im Arzmoos liegen eingebettet im Liasfleckenmergel. Etwa 50 Meter südöstlich des Ostendes der Vererzungszones findet sich nach HASLINGER (1962) der erste kleine Haselgebirgsausbiss zwischen Barmsteinkalk und Liasfleckenmergel, welches als Beweis anzusehen ist, dass das Salinar zwischen beiden Schuppen heraufgedrückt wird. Auf die Abbildung einer geologischen Karte dieses interessanten Bereiches wird vorerst verzichtet, da weitere Begehungen geplant sind, um die Gesteine und Gesteinsgrenzen detaillierter eingrenzen zu können.

Die Stampfer Kehr lässt heute nur im nichtausgebauten Teil einen Einblick auf die durchörterten Gesteine zu. Die geologischen Befunde beim Vortrieb der Strecke wurden von AIGNER (1878) festgehalten (siehe Abschnitt Erforschung). Bei unseren Befahrungen war der Streckenabschnitt der Aufnahme von ANTES & LAPP (1962) einsehbar. Es wurden Proben zur weiteren Bearbeitung gewonnen, und die damalige Aufnahme verfeinert. Der offene Streckenverlauf steht in einer tektonischen Brekzie aus Steinalmkalk und vereinzelt Glanzschiefer. Dieses Material setzt sich aus unterschiedlich großem Blockwerk zusammen. Die Hauptmasse wird von Karbonat gebildet. Nur in zwei kleinen Bereichen ist schwarzer Tonschiefer aus dem nahen Haselgebirge eingearbeitet, so am rechten Ulm beim Durchstieg aus der betonierten Fassung. Die Zwischenräume des Blockwerkes sind mit vornehmlich Eisensulfiden ausgefüllt. Die Sulfidzwickelfüllung nimmt in Richtung des Endes der Stampfer Kehr ab.

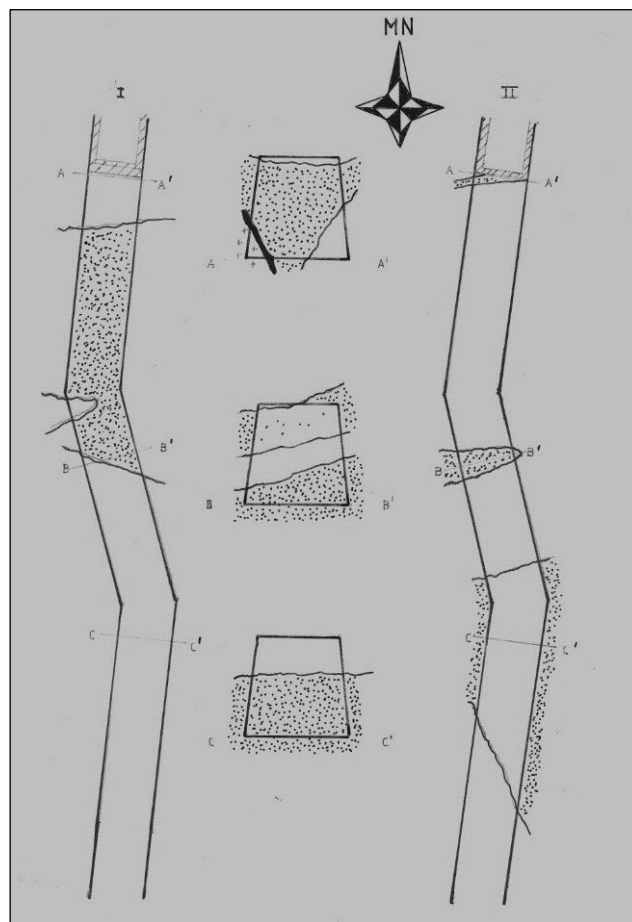


Abb. 9: Detailplan der Stampfer Kehr, angefertigt durch die Verfasser. Kartengrundlage: ANTES & LAPP (1962). Die punktierten Bereiche markieren die sulfidische Vererzung, mit + ist der Glanzschiefer markiert. Die breitere schwarze Zone ist das Lettenband. Weiß sind die Kalkschollen der Steinalm-Formation geblieben. Der Streckenverlauf ist in der Originalskizze der Verfasser im Maßstab 1:100 gezeichnet, die Querschnitte im Maßstab 1:50
I: Firstbild, II: Sohlbild. Abbildung verkleinert.

Die Schichtglieder im Bereich des Eisenarzes:

Das Alpine Haselgebirge

In dem von WINTERLEITNER (2009) kartierten Gebiet handelt es sich um ein Mischgestein mit überwiegend toniger Grundmatrix. Früher bezeichnete man diese Gesteine als „Lebergebirge“ (früher oftmals als Gips führender Letten bezeichnet) oder Ausgelaugtes, da die löslichen Komponenten (wie zum Beispiel Steinsalz) durch die Verwitterung abtransportiert wurden. Eingeschaltet in der richtungslosen Matrix finden sich eingelagerte Blöcke von Gips und Anhydrit mit teilweise erhaltenen primären sedimentologischen Strukturen wie Gefüge und Schichtung. Meist ist der Ton des Haselgebirges dunkelgrau bis schwarz-rötlich gefärbt, stellenweise sind aber auch intensiv rot gefärbte Ton-Gips-Brekzien zu beobachten. Diese Parameter lassen auf das Bunte Salztongebirge im Sinne SCHAUBERGER (1986) schließen, welches als Mittel- bis Oberskyth eingestuft wird. Diese Alterseinstufung wird nach VOZAROVA et al. (1999) als nicht typisch für das alpine Haselgebirge, das Perm, angesehen. Diese Einstufung würde mit den Evaporiten des Reichenhaller Niveaus gleichgesetzt. WINTERLEITNER (2007) schließt nicht aus, dass das Salzvorkommen der Saline Bad Ischl zwei unterschiedlichen Liefergebieten zuzuordnen ist. Denkbar wären einerseits das fern transportierte Alpine Haselgebirge und andererseits die Evaporite des Tirolikums, welche diapirartig aufsteigen müssten. Aufschlüsse der Evaporite sind südlich und westlich der Zwerchwand zu beobachten. Charakteristisch für diese Bereiche sind im Gelände eine Verflachung und Vernässung sowie kleinere Quellaustritte in den Übergangsbereichen zum Haselgebirge.

Tonschiefer / Glanzschiefer

Diese Haselgebirgskomponente wird hier genauer behandelt, da sie untertage direkt in der Vererzungszone anstehend beprobt werden konnte. Der größte Teil des Hangenden Grenzgebirges ist aufgebaut aus einer Wechsellagerung von geringmächtigen Bänken aus Anhydrit und Glanzschiefer (einem stark tektonisierten Tonschiefer). Dieses Gestein wird zum ostalpinen Haselgebirge (Oberperm bis möglicherweise Anis-Basis) gerechnet und ist einer der Bestandteile der Brekzie der Stampfer Kehr. Das Gestein ist im Handstück schwarz gefärbt. Gegen das Hangende zum Kudernatsch Schurf hin, steigt der Anteil der Glanzschiefer an, die Farbe wechselt immer häufiger gegen Rot. Die schwarze Färbung ist nicht auf enthaltenen Kohlenstoff zurückzuführen.



Abb. 10: Glanzschiefer, kleiner Aufschluss an der rechten Sohle am Übergang von der Betoneinfassung zum nicht verbauten Teil der Stampfer Kehr. Im linken oberen Bildbereich ist die massive Eisensulfidbank zu sehen. Der Glanzschiefer, hier schwarz, ist teilweise von Oxidationsüberzügen der Sulfidzersetzung bedeckt (2022).

Foto: P. Arthofer

Werfener Schiefer:

Untertage konnten keine Werfener Schiefer nachgewiesen werden.

Obertage kommt der Werfener Schiefer in verschiedenen Varianten im Haldenmaterial vor:

Roter Werfener Schiefer:

Schiefer ohne feststellbare Vererzung ist in einem kleinen Bereich der Halde des Unteren Vitriolstollens im Abraum enthalten, wie schon von ANTES & LAPP (1962) beschrieben haben. In der Halde der Aufbereitung konnten ebenfalls alle Typen des Werfener Schiefers, vererzt und unvererzt nachgewiesen werden. Das Anstehende konnte trotz intensiver Begehungen nicht aufgefunden werden. Das Haldenmaterial zeigt sich in klassischer Ausbildung: Ein hämatitroter Siltstone, dünnplattig bis schiefrig, manchmal mit Hellglimmern an den Schichtflächen.

Grauer Werfener Schiefer:

Haldenfunde dieses Gesteinstyps sind wesentlich sandiger, härter und weisen eine gröbere Bankung auf. Sulfidierung konnte nicht beobachtet werden, jedoch ist ein höherer Gehalt an Barium zu vermerken. Dieser wird zudem durch das Auftreten von Barytkristallen belegt.

Auf den erzführenden Werfener Schiefer wird später eingegangen.



Abb. 11: Die Variationsbreite der Werfener Schiefer im Eisenarz. Links roter, rechts grauer sandigerer Typ. Obertägige Haldenfunde im Eisenarz. Sammlung und Foto: Verfasser.

Steinalmkalk/ Steinalmdolomit inklusive Siderit

Das Schichtglied und seine stratigraphische Einstufung, welches im Eisenarz auf die Werfener Schiefer folgt, bereitete im Rahmen unserer Arbeiten Schwierigkeiten. Verschiedene Autoren-MEDWENITSCH beschreibt 1957 Gutensteiner Kalk und Dolomit, HASLINGER (1962) spricht von Muschelkalk, STRASSER (2008) beschrieb in seiner Arbeit über die Vererzung am Arikogel bei Prof. M.A. GÖTZINGER einen Steinalmkalk/Dolomit in ähnlicher stratigraphischer Position.

Die Definition eines Gesteinstyps und dessen Einstufung zieht auch Änderungen der zeitlichen Positionierung der Lagerstätte nach sich. Es stellte sich auch die Frage nach einer Schichtlücke im Bereich des Eisenarz. Zur Zeit werden durch MOSER & WAGREICH (2022) neue biostratigraphische Daten, abgeleitet vom Stratotyp der Gutenstein-Formation aus Gutenstein in Niederösterreich bearbeitet, welche dazu dienen, die seit langem bestehenden Probleme in der Stratigraphie des Anis in den Nördlichen Kalkalpen zu lösen. Die Schichtglieder der Gutenstein-, Annaberg- und Steinalmformation werden als Fazies gleichen Alters aber unterschiedlicher Ablagerungsmilieus gedeutet. Eine vollständige lithostratigraphische Definition der Gutenstein Formation und ihrer Mitglieder sowie der angrenzenden stratigraphischen Einheiten ist noch im Gange.

Obertage im Haldenmaterial:

In den Halden des Eisenarz konnten mehrere Stücke von Steinalmkalk und -dolomit geborgen werden. Der Steinalmkalk ist im Handstück graugrün, oft ockrig verwittert, bedingt durch Gehalte an primärem Pyrit. Die biogenen Komponenten sind großteils sandig bis grusig, zum Teil sind Fossilreste erkennbar. Der Steinalmkalk zeigt partiell brekziösen Aufbau, teilweise sind Lösungshohlräume von sulfidischen Erzen in einzelnen Brekzienkomponenten in mikroskopischer Dimension nachweisbar.

Der Steinalmdolomit ist im Handstück hellgrau bis dunkelgrau, massig und strukturlos. Vereinzelt sind im frisch angeschlagenen Gestein dünne tonige Häutchen zu beobachten. Die dunkelgraue Färbung ist auf deutliche Bitumengehalte zurückzuführen. Gelegentliche kataklastische Brüche sind teilweise mit jüngerem Karbonat gefüllt. In diesen Karbonatrissefüllungen sind sporadisch rosa Kristallaggregate von Schwerspat festzustellen. Die Hauptmasse der Steinalmkalke und -dolomite auf den Halden im Eisenarz sind durch Metasomatose zu Siderit umgewandelt und wurden als Erz abgebaut. Diese Eisenerze werden unter den „Erztypen“ näher behandelt.

Vereinzelte Funde eines hellen Gesteins, aufgebaut aus zuckerkörnigem Dolomit mit örtlichen Anreicherungen aus Asphalt, stellen ein Relikt des Steinalmdolomits dar, aus dem alle Akzessorien wie auch die leicht mobilisierbaren organischen Komponenten extrahiert wurden und nur der Dolomit halbwegs beständig ist.

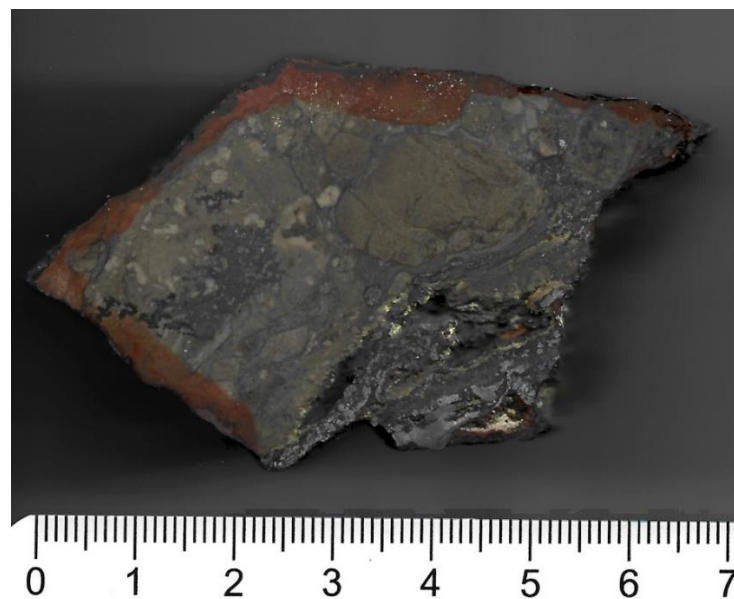


Abb. 12: Probe von Steinalmkalk mit sichtbaren Fossilresten. Nicht sideritisiertes Material. Am rechten unteren Bereich die Eisensulfide Pyrit und Markasit. Obertägiger Fund im Eisenarz. Skala in Zentimetern. Sammlung und Schliff: Verfasser

Untertage in der Stampfer Kehr

Die Gesteinsabfolge der Stampfer Kehr besteht im Wesentlichen aus Trümmern von Steinalmkalk als Komponenten einer Brekzie. Die Beschreibung entspricht den Proben aus den Halden. Das untertägige Material, ist „frisch“, ohne die Verfärbungen durch Eisenoxide und Eisenhydroxide. Eine Sideritisierung konnte in der Stampfer Kehr nicht festgestellt werden.

Hallstätter Brekzie

Im ungestörten Bereich tritt der Kontakt zwischen Steinalmkalk und -dolomit (bzw. Siderit) und Hallstätter Kalk nie scharf auf. Meist liegt eine Zone eines stark brekziösen Hallstätterkalkes mit Untermengung des Steinalmkalk/dolomit in einer 5 Meter bis 30 Meter mächtigen Zone dazwischen. Die dolomitischen Komponenten bilden quantitativ einen fließenden Übergang, indem sie im Bereich des Steinalmkalkes stärker auftreten und dann immer mehr zurücktreten, bis eine reine Brekzie aus Hallstätter Kalk vorliegt. Anfangs erscheint die Grundmasse noch dolomitisch, geht aber danach bald in feinkörnigen Hallstätter Kalk über.

Hallstätter Kalk

Die Schichtglieder der Hallstätter Fazies sind im Allgemeinen schlecht aufgeschlossen und von Blockschutt überdeckt. ANTES & LAPP (1962) erwähnen rötlich-weiße Kalke mit muscheligen Bruch. Massive ungestörte Schichtverbände sind seltener, meist liegt nach HASLINGER (1962) ein von sekundären Kalkspatadern durchschwärmter stark endogen brekziöser Kalk vor. Der Hallstätter Kalk tritt vielfach schollenförmig im jurassischen Radiolarit eingebettet auf.

Der Barmsteinkalk der Oberalm-Formation - Hoher Rosenkogel/Zwerchwand:

Diese, früher als „Tressensteinkalk“ kartierten Gesteine wurden von WINTERLEITNER (2009) neu bearbeitet. Die wichtigsten Anmerkungen zu den Begriffen „Barmsteinkalk“ und „Tressensteinkalk“ sollen hier wiedergegeben werden.

Als Barmsteinkalk beziehungsweise Tressensteinkalk werden in der Literatur die Resedimente der oberjurassischen Karbonatplattformen bezeichnet. Im Zuge der Erforschung wurden die beiden Begriffe verschiedentlich gedeutet. Anfänglich wurde der Barmsteinkalk als distaler Ausläufer des als Vorriffschuttmaterial interpretierten Tressensteinkalkes, eingeschaltet in die Oberalm-Formation angesehen (FENNINGER & HÖTZL 1965, 1967). Eine detaillierte sedimentologische und mikrofazielle Analyse des Barmsteinkalks aus der Typlokalität führte STEIGER (1981) durch und charakterisierte sie als Schüttungskörper von Kalkturbiditen, in denen Komponenten einer Karbonatplattform resedimentiert wurden. 2005 wurde durch die Bearbeitung des Materials der Typlokalität von GAWLICK et al. eine vorläufige konsequente Abgrenzung erarbeitet. In dieser Arbeit werden die Hauptunterschiede wie Sedimentationsmechanismen, Ablagerungsraum und Fazieszuordnungen der resedimentierten Flachwasserkomponenten den Literaturangaben dem Tressensteinkalk gegenübergestellt. Als eines der Hauptkriterien zur Unterscheidung wurden die verschiedenen paläogeographischen Positionen der Sedimentationsräume genannt.

- Demnach wird der **Barmsteinkalk** im Taugelboden-Becken (das bedeutet **Tieftirolikum**) abgelagert und entwickelten sich sukzessive aus der Taugelboden-Formation heraus. Sie sind in der pelagisch dominierten Oberalm-Formation eingeschaltet und werden von der Schrambach-Formation überlagert.

- Der **Tressensteinkalk** wird dagegen erst im Bereich des **Hochtirolikums** abgelagert.

Nach WINTERLEITNER (2009) baut Barmsteinkalk, eingeschaltet in die Oberalm Formation einen Großteil des Hohen Rosenkogels auf und erreicht eine Mächtigkeit von etwa 90 bis 100 Metern. Der tiefste Profilabschnitt ist im Westen des Hohen Rosenkogels aufgeschlossen. Dort setzen die Massflow-Ablagerungen unmittelbar über den grauen Wackestones der Agatha-Formation ein. Es handelt sich hierbei um turbiditische Lagen in denen immer wieder grobe Massflow-Ablagerungen eingeschaltet sind. Mikrofaziell sind diese Turbidite durch gut sortierte Packstones (teilweise Grainstones) gekennzeichnet.

Insgesamt sind nach WINTERLEITNER (2009) im Barmsteinkalk des Rosenkogels drei unterschiedliche Fazieszuordnungen der Klasten (feste Gesteinsbruchstücke welche aus der mechanischen Zerstörung anderer Gesteine stammen) differenzierbar. Die Einteilung der Faziesbestimmung basiert auf jenem Konzept, das von SCHLAGINTWEIT & GAWLICK (2003) bzw. von SCHLAGINTWEIT et. al (2005) für die Plassen Formation der Typlokalität aufgestellt wurde.

- Bei den Komponenten die der Fazieszone Tidal Flat 2 (Übergang zur offenen Lagune, geschlossene Lagune und „Riff“ bis Rückrifffazies) entsprechen, handelt es sich um dunkle, schwarzgraue Algal-Bindstones. Der primäre Ablagerungsraum dieser Karbonate entsprach einem seichten intertidalen bis supratidalen Bereich. WINTERLEITNER (2009) setzt sich mit dem mikropaläontologischen Inhalt dieses Typs eingehend auseinander und stellt fest, dass die Abgrenzung zur Tidal Flat 1 Zone hier recht schwierig und eventuell nicht eindeutig ist. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass dieser Klastentyp in höher energetischen Bereichen der Plassen Karbonatplattform abgelagert wurden und damit in den Mittelabschnitt des Tithons zu stellen ist.
- Der zweite Typus entspricht der geschlossenen Lagune des höheren Tithons. Mikrofaziell sind dies Mudstone- bis Wackestoneklasten. Wackestoneklasten sind häufig zu beobachten. Vereinzelt lassen sich Mudstoneklasten mit Tempestitlagen beobachten.
- Der dritte Klastentyp, der häufig anzutreffen ist, sind Onkoide, entweder als Einzelklaste oder im Verband mit Benthosforaminiferen, Bryozoen, Korallenbruchstücken und Pelloiden abgelagert. Die Form der Onkoide (rundliche, oftmals knollenartige bis blumenkohlartige, auch gestreckte, meist sandig-tonige Sedimente, welche durch biogene Karbonatfällung entstanden sind) ist sehr variabel und von der Art und Beschaffenheit des Kernes abhängig. Als Fazieszuordnung kommt hier ein Riff beziehungsweise der Übergang zur geschlossenen Lagune des Ober-Tithon der Karbonatplattform in Frage. In den hangenden Anteilen des Profils geht die Schichtfolge in deutlich feinkörnigere Sedimente über. Es kommt zur Wechsellagerung von Karbonatturbiditen mit feinkörnigen mikritischen Lagen der Oberalm-Formation. Bei den Turbiditen handelt es sich um gut sortierte Grain- bis Packstones, oft mit erosivem Basiskontakt zu den unterlagernden Mikriten. Teilweise sind kleinere, bis zwei Millimeter große Extraklasten vorhanden, darunter auch dunkle mikritische Klasten. Die mikrofaziellen Eigenschaften wie auch Biogenvergesellschaftung sprechen für ein höherenergetisches, eher seichtes Liefergebiet, dem der obere Hangbereich der Karbonatplattform entsprechen dürfte.

Generell sind die Barmsteine der Zwerchwand denen des Hohen Rosenkogels sehr ähnlich, trotzdem konnten durch WINTERLEITNER (2009) durch mikrofazielle Analyse Unterschiede herausgearbeitet werden. **Hauptunterschied ist das Zurücktreten der groben Stylobrekzien mit älteren Komponentenbestandteilen der Plassen-Karbonatplattform wie sie aus den tieferen Profilabschnitten des Rosenkogels beschrieben wurden.** In den basalen Anteilen treten noch immer Dasycladales-Wackestones auf, die der geschlossenen Lagune der Plassenkarbonatplattform zuzuordnen sind. Gegen das Hangende gehen diese Brekzienlagen aber schnell in grobe Turbiditschüttungen und Massflows über. Diese sind mikrofaziell geprägt durch Packstones bis Grain-Rudstones. Auffällig bei diesen Lagen ist das häufige Vorkommen einer Benthosforaminifere, *Andersenolina alpina*, welche in der Schichtfolge des Rosenkogels nur sehr untergeordnet auftritt. Weiters treten vermehrt Reste von Hydrozoen, größere Korallenbruchstücke und *Crescentiella morronensis* auf.

Auch das vermehrte Vorhandensein von Onkoiden ist charakteristisch für die Zwerchwand. Ein weiterer markanter Unterschied zum Barmsteinkalk des Hohen Rosenkogels ist das Auftreten von Extraklasten, welche nicht von der Ober-Jura-Flachwasserentwicklung stammen. Dabei handelt es sich hauptsächlich um braune bis dunkelrote/schwarze Radiolaritklasten, die in den basalen Einheiten bereichsweise recht häufig sind aber in den hangenden Lagen nicht gefunden wurden.

Paragenese/Mineralogie

Bei der Durchmusterung der verschiedenen Halden und des vielfältigen Probenmaterials mussten verschiedene Faktoren, welche die Mineralparagenese - besonders die Sekundärphasen – beeinflussen können, beachtet werden.

Einerseits anthropogene Einflüsse durch das Erhitzen des Gesteins (bedingt durch das Feuersetzen, die gängige Abbaumethode dieser Zeit. Die im Gestein enthaltenen Erzbutzen waren, je näher an der Hitzequelle, im Prinzip einer Röstung unterworfen (WITTERN 1988). Aus dem Schwefel der Sulfide konnte sich Schwefeldioxid - SO_2 bilden. Dieser Prozess schafft zusätzliche Voraussetzungen für die Bildung schwefelsäurehaltiger Lösungen, da der Erhitzungsprozess feine Kapillarrisie entstanden, welche dem Wasser Möglichkeiten zum Eindringen eröffnete. Auch der Metallinhalt des Gesteins wurde teilweise oxidiert. Durch diese Rahmenbedingungen wird die Mobilisation der Metallionen forciert und kann die Entstehung neuer Oxidationsminerale begünstigen (WITTERN 1994).

Zum anderen wirken exogene Einflüsse ebenfalls auf die Zusammensetzung der Haldenmineralisation ein. Mit dem Sturz des pyritreichen Materials auf Halde wurde durch Einwirkung von Sonne und Regen auf das Erz der Prozess der Auszeitigung in Gang gesetzt, und die Bildung eines schwefelsauren Milieus begann.

Sphalerit (Zinkblende)

Obertage: Zinkblende kommt sowohl im „rostigen“ vererzten Werfener Schiefer als auch im Steinalmkalk und -dolomit vor.

Im vererzten Werfener Schiefer sind die Sulfide entlang von Spaltrissen eingedrungen. Bleiglanz verdrängt Bindemittel des Werfener Schiefers und wird von Zinkblende verdrängt. Der Sphalerit dieser Proben ist charakterisiert durch geringen Eisengehalt und Gehalte von 550 bis 1100 ppm Cadmium.

In den Steinalmkalken und deren in Siderit umgewandelten Varianten werden die reichlich vorhandenen ehemaligen Hohlräume durch Sphalerit und Karbonat erfüllt. Galenit wird manchmal von Zinkblende umgeben. Ebenso sind Verdrängungen von Galenit durch Sphalerit festzustellen. Zinkblende im nicht sideritisierten Steinalmkalk ergab Messwerte zwischen 200 bis 550 ppm Eisen. Im zu Siderit umgewandelten Steinalmkalk konnte Sphalerit mit bis zu 1650 ppm Kupfer bei 1800 bis 3700 ppm Eisen diagnostiziert werden.

Im Haldenbereich sind in den Gesteinsbrocken, die von der Zersetzung betroffenen sind, oftmals Hohlräume mit einer weißen pulvrigen Substanz zu finden, die ihren Ursprung in ehemaliger Zinkblende haben. Dies mag unter anderem auch an der leichten Löslichkeit des Zinksulfides unter obertägigen Bedingungen begründet sein (siehe Hydrozinkit).

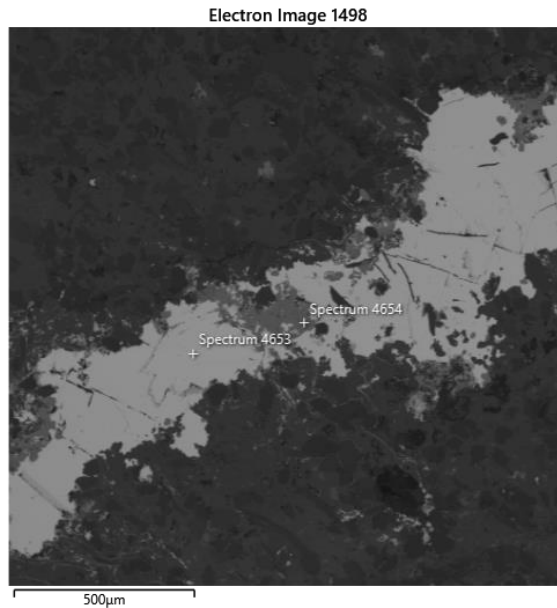


Abb. 13: Vererzter Werfener Schiefer Probe Nr. WS R 36a.
Hell ist Galenit (4653), der in einem Riss das Bindemittel des Schiefers teilweise verdrängt
und seinerseits von Sphalerit (4654) verdrängt wird.
Obertägige Halden im Eisenarz.
Schliff und Sammlung: Verfasser

Untertage: Die Zinkblende des Glanzschiefers ist analog dem oben beschriebenen Vorkommen im vererzten Werfener Schiefer als Rissfüllung ausgebildet.

Sphalerit ist in der Stampfer Kehr wesentlich häufiger anzutreffen als in den Halden im Eisenarz. In der Stampfer Strecke sind Sphaleritvorkommen nur in der bereits erwähnten Scholle von Glanzschiefer (gemeinsam mit Pyrit und Galenit), in der Übergangszone Steinalmkalk/Kiesbank (bis zu 1800 ppm Eisen) und innerhalb der Eisensulfidbänke eingelagert, nachzuweisen. Die Zinkblende in der Kieslage enthält zwischen 350 bis 1200 ppm Eisen, feine Rissfüllungen, in Paragenese mit Pyrit fenthalten zwischen 400 und 700 ppm Eisen im Zinksulfid.

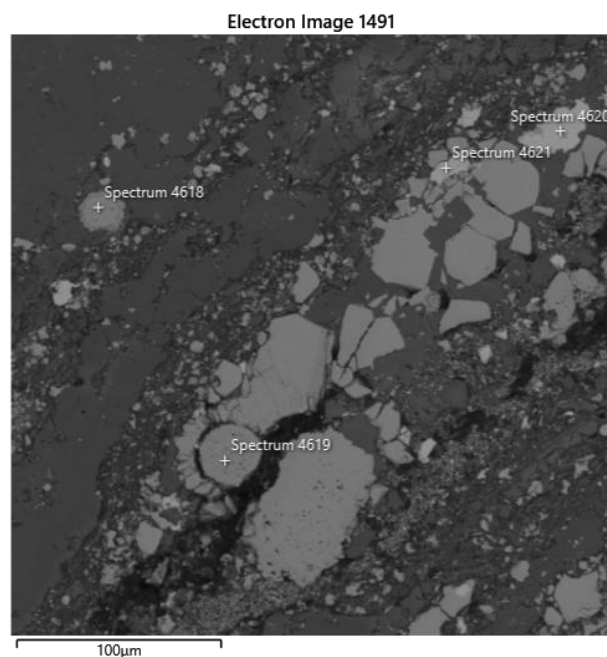


Abb. 14: EDX-Beprobung der tektonisch zerriebenen Eisensulfidvererzung der Stampfer Kehr, Übergang Sulfidbank zur Karbonateinlagerung. Bei den Spektren 4620 und 4621 handelt es sich um Sphalerit inmitten der zerbrochenen Eisensulfide (Markasit, 4618 und 4619). Schliff und Sammlung: Verfasser

In der feinkörnigen pyritischen Spaltenfüllung sowie in der grobkörnigeren Sulfidanreicherung am Übergang Schwefelkiesbank zur Karbonateinlagerung sind Partien, reich an einem Granulat von kleinen Zinkblendekörnchen enthalten. Bei diesen Sphaleriten konnte mittels EDX ein durchschnittlicher Eisengehalt um 1,5 Gewichtsprozent bestimmt werden.

Wurtzit

Von ANTES & LAPP (1962) wurde bereits gelförmig ausgeschiedenes Zinksulfid mit schalenartigem Aufbau aus der Stampfer Kehr beschrieben. Wie auch unsere Beobachtungen kommen diese Aggregate in Paragenese von zerbrochenem „Gelpyrit“ im Übergangsbereich Kiesbank zur Kalkeinlagerung vor. Wurtzit ist ein sehr unbeständiges Mineral, welches schon beim Zerreiben zur Probenvorbereitung wieder in Zinkblende übergehen kann. Das Material erinnert an Paramorphosen des aus kalter saurer Lösung entstandenen Wurtzits zu Zinkblende (RAMDOHR 1975). Eine endgültige Überprüfung der Zinkblende konnte mittels RTG erbracht werden.

Chalkopyrit (Kupferkies)

Bereits HASLINGER (1962) erwähnt als Rarität in den Erzen der Reinfalzalme winzige, (bis 0,3 Millimeter Durchmesser) Kupferkieseinsprenglinge als Verdränger des Galenits. In der Brekzie I konnten die Verfasser ebenfalls Chalkopyrit in winzigsten Mengen mittels EDX nachweisen. Bei der Verhüttung beim Leopold Stollen wurde in den Schlacken Kupfer in geringer Menge nachgewiesen. Der Kupferkies scheint hier zumindest für einen Teil des Kupfers Lieferant zu sein.

Galenit

Die Bleiglanzvererzung ist im Eisenarz in Werfener Schiefer, Steinalmkalk (inklusive Siderit) und Steinalmdolomit sowie in der Stampfer Kehr als Anreicherung innerhalb der feinkörnigen Pyritmatrix und als Spaltenfüllung im Glanzschiefer positioniert.

Obertage:

Im vererzten Werfener Schiefer, wie unter Sphalerit beschrieben, als Gangfüllung, verdrängt Karbonate in Spaltrissen. Im Steinalmkalk (inklusive sideritisierendem Typ) sind idiomorphe Körner oftmals kataklastisch deformiert, verbogen und auseinandergedrängt. Zwischenräume sind von Karbonat und Zinkblende erfüllt. Umsetzung des Galenits zu Anglesit und Cerussit ist häufig bei den Proben zu beobachten. Galenit verdrängt oftmals Karbonat und wird selbst wiederum von Zinkblende verdrängt.

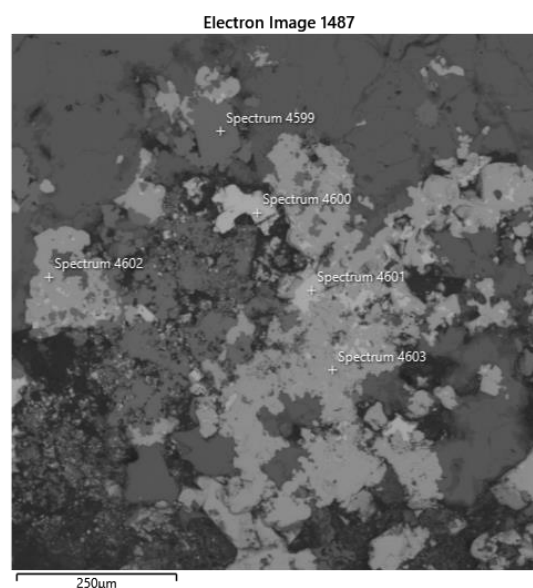


Abb. 15: Reliktischer Galenit (Spektren 4600, 4601) zum großen Teil durch Anglesit ersetzt (4600, 4601) mit Sphalerit (4599) in den Randbereichen. Obertägige Halden im Eisenarz. Schliff und Sammlung: Verfasser

In der Brekzie II kommen gelegentlich idiomorphe Aggregate mit Karbonat vor. In einer Brekzie aus endogen brekziösem, sehr feinkörnigem Siderit mit einzelnen grobspätigen Sideritfragmenten sind die Bleiglanzeinsprenglinge meist am jüngsten und mit einer großen Zahl an Spaltrissen durchzogen. Vereinzelt ältere idiomorphe Körner sind kataklastisch deformiert. Im Bleiglanz des zu Siderit umgewandelten Steinalmkalks konnten Arsenwerte zwischen 500 und 850 ppm ermittelt werden.

Recht selten wurden kleine Galenitkristalle in nicht verfüllten Hohlräumen gefunden. Bei den Stücken herrschen im sideritischen Material Oktaeder, in tektonischen Klüften des Steinalmkalks Würfel vor.



Abb. 16: Verwachsene Galenitoktaeder mit oberflächlicher Umwandlung in Anglesit und Cerussit in einem der seltenen Hohlräume des Siderits der Brekzie II, Halden im Eisenarz, Bildbreite 4 mm.
Fund, Foto und Sammlung: Verfasser

Galenit liegt in den Erzen der Reinfalzalim jedenfalls in mehreren Generationen vor.

Untertage: In der Stampfer Kehr konnte Galenit in feinen Rissen des Glanzschiefers als Fällung eines Remobilisates in feinen Rissen beobachtet werden. Diese Risse treten nur oberflächlich bis in eine Tiefe von maximal 20 Zentimeter in den Glanzschiefer hinein auf. Tiefer im Material konnten die Verfasser keine Sulfidvererzung mehr feststellen. Im Steinalmkalk kommen in der Grundmasse idiomorphe Galenitkristalle, teilweise kataklastisch deformiert, vor. Diese Vererzung des Kalkes war im Dunkeln der Stampfer Kehr am Handstück nicht auszumachen und konnte erst bei der Bearbeitung entdeckt werden.

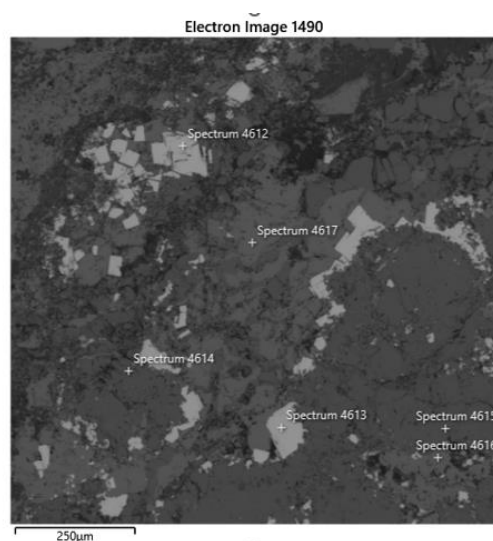
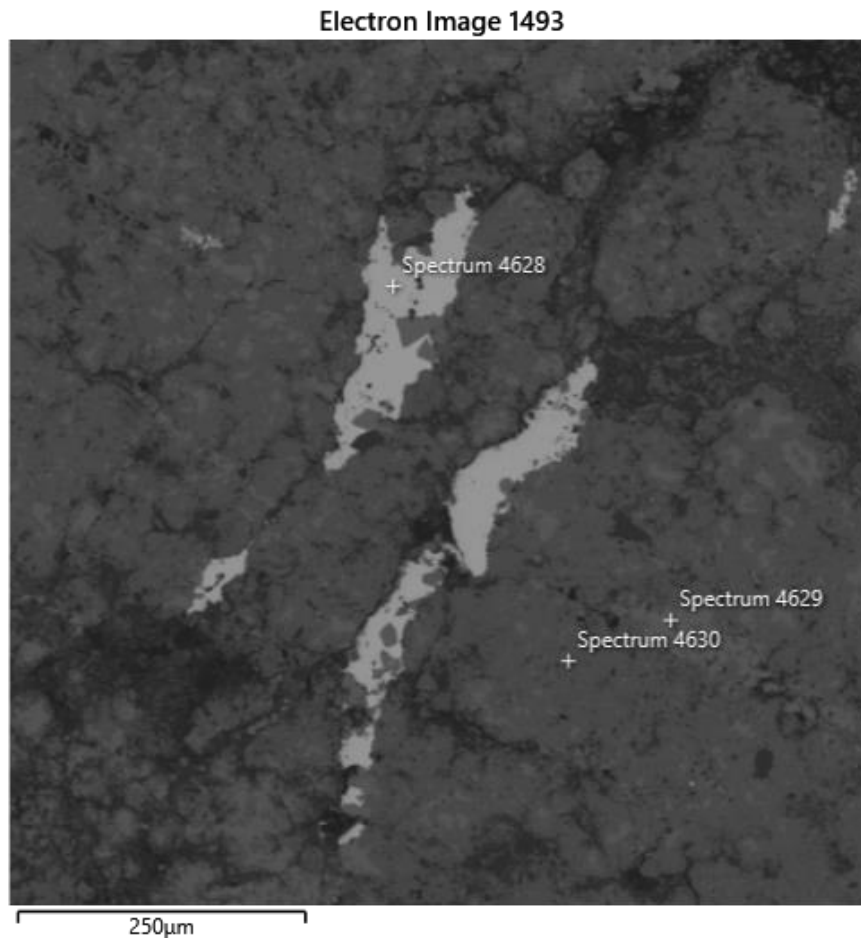


Abb. 17: Idiomorphe Galenit weiß (Spektren 4612, 4613) in Paragenese mit mangan- (4614) und arsenhaltigem (4615) Pyrit und einzelnen Körnern von Sphalerit (4616). Stampfer Kehr, Karbonatische Einlagerung.
Schliff und Sammlung: Verfasser

Eisensulfidbänke: Galenit kommt sporadisch in Form von dünnen Schnüren und kleinen Aggregaten innerhalb der Füllmasse aus Eisensulfiden vor. Die Verfasser betrachten zumindest die dünnlagigen Galenitschnüre als Fällung eines Remobilisats, die massigeren Körner als Bestandteil der Brekzie.

Abb.18: Galenit (Spektrum 4628) mit einem Korn eisenhaltiger Zinkblende (4629) in der feinkörnigen



Pyritmatrix (4630) der Kluffüllung. Stampfer Kehr.
Schliff und Sammlung: Verfasser

Pyrit

Sulfidische Eisenerze waren zur Betriebszeit des Bergbaues im Eisenarz zum Zwecke der Vitriolerzeugung Gegenstand des Abbaues. Pyrit ist in den Erztypen ein Durchläufer, allerdings die enthaltenen Mengen variieren stark. Bedingt durch die Instabilität der Eisensulfide gegen exogene Einflüsse sind nur gelegentlich pyritische und markasitische Proben, in gegen Verwitterung geschützten Bereichen erhalten geblieben.

Obertage: In den vererzten Werfener Schiefen ist Pyrit nur vereinzelt als Spaltenfüllung rudimentär erhalten geblieben, meist ist dieses Eisensulfid zu Eisenoxiden wie Limonit umgewandelt. In den nicht sideritisierten Steinalkalken tritt Pyrit in Form von mikrokristallinen Aggregaten in der Grundmatrix auf. In den sideritisierten Erztypen tritt Pyrit mengenmäßig in der Grundmatrix stark zurück.

Die Hauptmenge der Eisensulfide, welche bergwirtschaftlich nutzbar gemacht werden konnten, stammen aus einer Verfüllung tektonischer Hohlräume mit Pyrit, Markasit und „Melnikovit“. Pyrit füllt-wie beim vererzten Werfener Schiefer-schmale offene Risse und Spalten aus. In Bereichen mit etwas größerem Raumangebot verfüllt feinkörniger „Pyritsand“ die Spalten zwischen den Komponenten der Brekzie aus. In diesem Feinpyrit sind kataklastische Fragmente von aus Gelen entstandenem „Melnikovit“ und Markasit ein. ^

Untertage: Im schwarzen Glanzschiefer als Rissfüllung in Paragenese mit Galenit und Sphalerit.



Abb. 19: Anschliff von Glanzschiefer der Stampfer Kehr.
Bei den hellen Streifen parallel der Schieferung handelt es sich um Pyrit,
die weißen breiteren Spots bestehen aus Galenit. Bildbreite 4,5 Zentimeter.
Sammlung: Verfasser

Im Steinalmkalk in Form von winzigen Kristallen in der Grundmasse eingesprengt, in Paragenese mit Galenit und Sphalerit, Pyrit der kleine Risse im Steinalmkalk erfüllt, enthält bis zu 250 ppm Arsen.

Wie im darüber liegenden Bergbau im Eisenarz ist auch in der Stampfer Kehr feinstkristalliner Pyrit (aus dem auch die Kiesbänke bestehen) als Rissfüllmaterial allgegenwärtig. Subbestandteil dieser Füllmasse sind auch Fragmente von Markasit und „Melnikovit“ Galenit und Sphalerit.

Markasit „Melnikovit“

Die früher in der Literatur als „Melnikovit“ bezeichnete Phase stellt ein Mineralgemenge aus Pyrit und Markasit, abgeschieden aus FeS_2 Gel dar. Bereits RAMDOHR (1975) erwähnte, dass Melnikovit unter Beibehaltung der schaligen Struktur meist vollkommen zu Pyrit oder Markasit übergeht, und diese Phase oftmals Arsen bindet. Auch grobkristalline Varianten, welche an idiomorphen Markasit erinnern, kommen vor. An den ersten Schliffen fiel bereits die starke Anisotropie dieses Materials im Polarisationsmikroskop auf. Mittels Ramanspektren konnten die Verfasser das Vorliegen von Markasit nachweisen.

Obertage: An vereinzelten Proben konnte als äußere Umkrustung frischer Markasit mit Melnikovitstruktur nachgewiesen werden. Bei einzelnen Schnitten durch die Erzbrocken aus den Halden ist die ehemalige Gelstruktur und selten auch ein radialstrahliger ehemaliger FeS_2 -Saum - umgewandelt in Limonit - zu erkennen. Dieser Markasit mit Melnikovitstruktur enthält 250 bis 350 ppm Kobalt.

Untertage: In der Stampfer Kehr konnte Markasit angereichert im Grenzbereich zwischen Steinalmkalk und der eisensulfidischen Spaltenfüllung an mehreren Stellen nachgewiesen werden. Die schaligen Strukturen, ehemals im Verbund, sind durch tektonische Ereignisse fragmentiert (im Schliff sind reichlich Kataklasten zu beobachten) und bilden eine Trümmerschicht aus Sulfiden (Sphalerit, Pyrit) die durch karbonatisches Bindemittel verfestigt sind. Quantitativ überwiegt der schalige „Melnikovitaufbau“, in einem Einzelfall konnte ein „strahlig aggregierter Melnikovit“ im Sinne von RAMDOHR (1975) geborgen werden. Die grobkörnigen Markasitklasten - eingebettet in der feinen Pyritmatrix der Kiesbank und am Übergang Kiesbank zu Steinalmkalk - enthalten 200 bis 350 ppm Kobalt und bis zu 400 ppm Arsen.

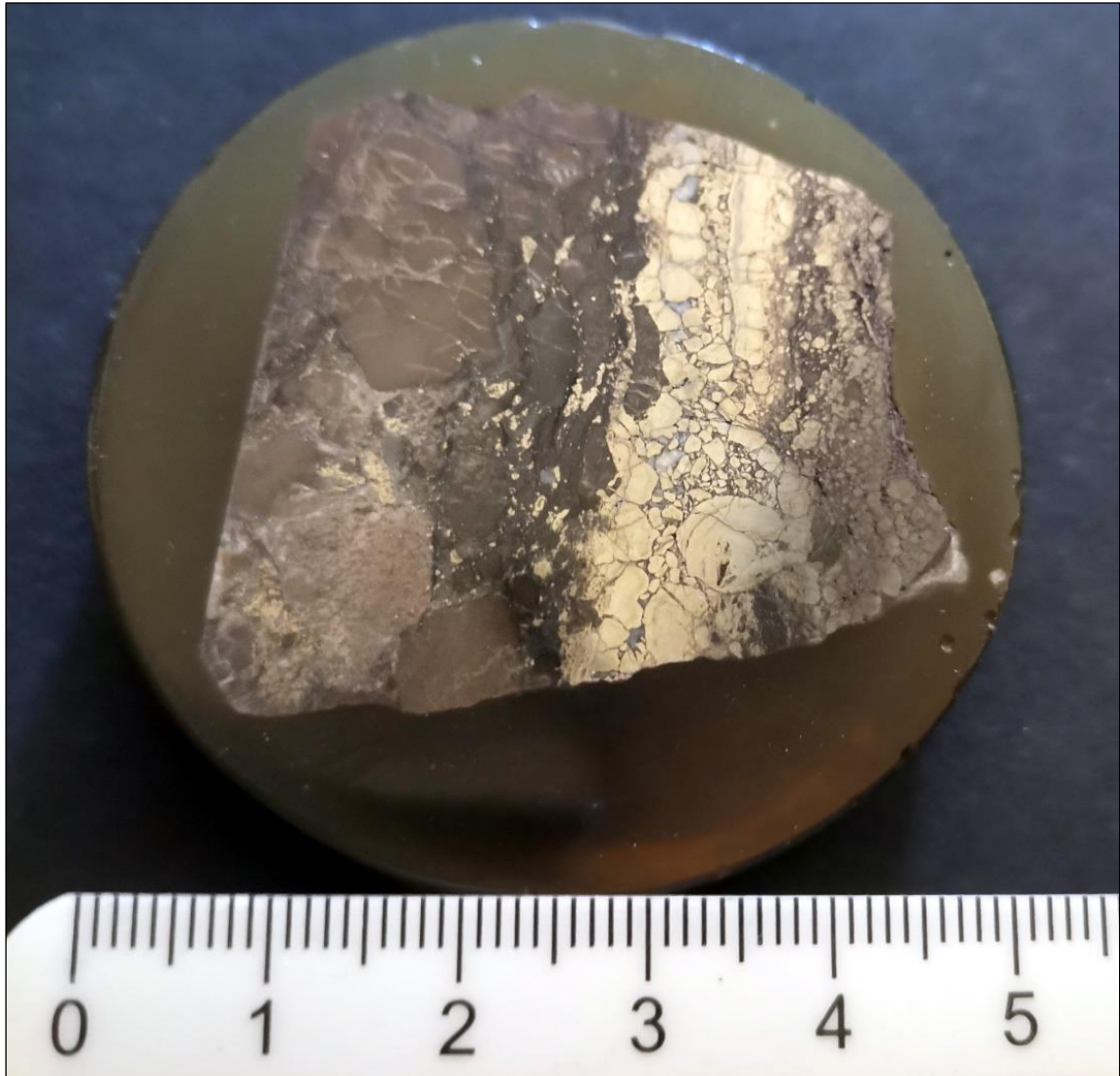


Abb. 20: Anschliff Eisensulfide der Stampfer Kehr.
Linke Bildhälfte Brekzie II, in der Bildmitte Zone aus kataklastischen Gelsulfiden wie Melnikovit, Pyrit in Markasit umgewandelt.
Nach rechts im Bild beginnt der Übergang zur mikrokristallinen Pyritzwickelmasse.
Schliff, Sammlung und Foto: Verfasser

Magnetit – Franklinit – Jakobsit

Obertage: Im Material der Halden im Eisenarz konnten in einem kleinen Bereich immer wieder feinkörnig-erdige schwarze Massen mit bröckeliger, teilweise schmieriger Konsistenz geborgen werden, die anfangs an Kohlereste im Haldenmaterial erinnerten. Selten konnte auch festes Probenmaterial mit Siderit gesichert werden. Es wurden separierte Einzelkörner mittels Röntgenanalyse beprobt, um eine Zuordnung zu einer Mineralgruppe zu erleichtern. Die Ergebnisse ermöglichten die Zuweisung zur Gruppe Magnetit – Franklinit – Jakobsit. Da bei diesen Mineralen die RTG-Ergebnisse sehr ähnlich sind, mussten die Proben zur weiteren Differenzierung mittels EDX vorbereitet werden.

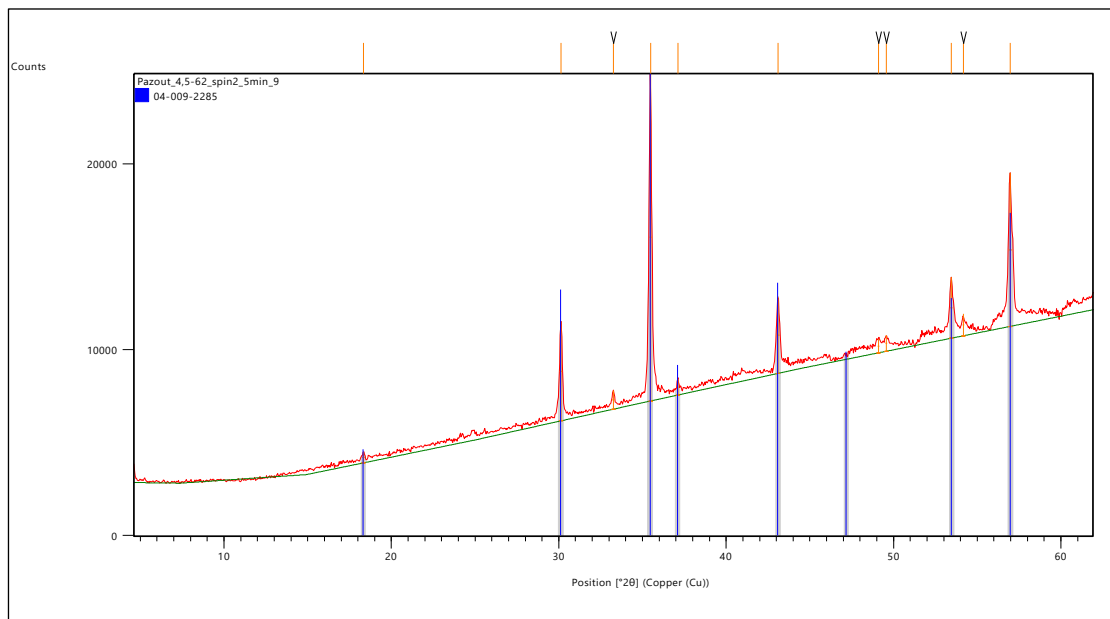


Abb. 21: Beispiel für eine Röntgen- Untersuchung einer Körnerprobe der schwarzen Manganerze aus den Halden im Eisenarz.

Durch Behandlung des Materials mit Zweikomponentenharzen im Vakuum konnten die Verfasser dieses Mineralgemenge soweit festigen, um Anschliffe fertigen und polieren sowie für EDX-Untersuchungen vorbereiten zu können. Die Analysen erbrachten ein breites Spektrum der Mischungsreihe Magnetit – Franklinit – Jakobsit, die durch Substitution von der chemischen Idealformel abweichen. Es sind in den Erzen des Eisenarz alle drei oben genannten Phasen der Spinellgruppe vorhanden, jedoch ist eine sichere Unterscheidung nur mittels Erzanschliffen und EDX-Analysen möglich, um über die chemische Zusammensetzung die Nähe zu einem der Endglieder dieser Reihe an der Einzelprobe sicher zu definieren.

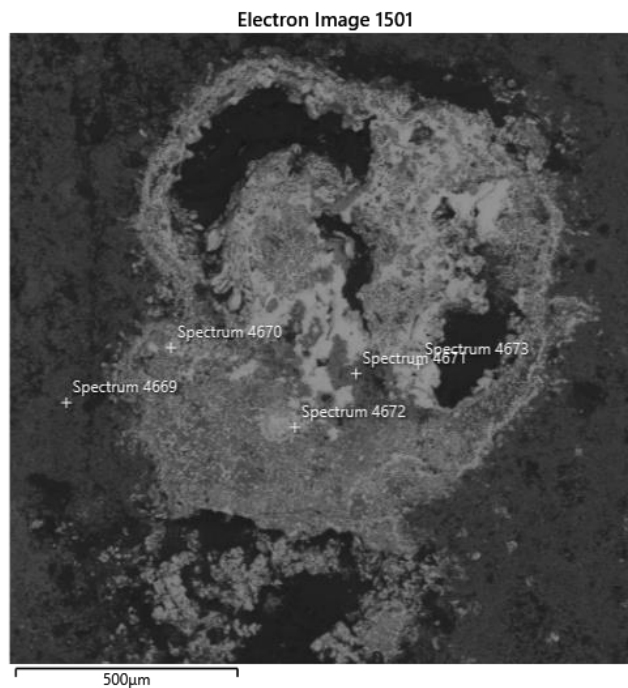


Abb. 22: Franklinit (Spektrum 4669), dunkel gefärbt, umgibt eine Anreicherung von Cerussit (4670, 4672, 4673). Inmitten der Cerussitmasse findet sich ein Einzelkorn, welches dem Jakobsit zuzurechnen ist.
Halden im Eisenarz. Fund und Schliff: Verfasser

Siderit

Obertage: Siderit wurde im Eisenarz in Mengen gefördert, welche zur Verhüttung und Eisengewinnung herangezogen werden konnten. 2016 wurden Proben der Sideritvererzung durch GOSE (2016), genauer untersucht. Dieses unveröffentlichte Gutachten (GOSE 2016) wurde uns dankenswerter Weise von DI HANS KRANABITL überlassen. Es konnten von Sideritproben aus einer Halde 50 Meter unterhalb des Hütterstollens Erzschnitte gemacht und mittels Mikrosonde analysiert werden.

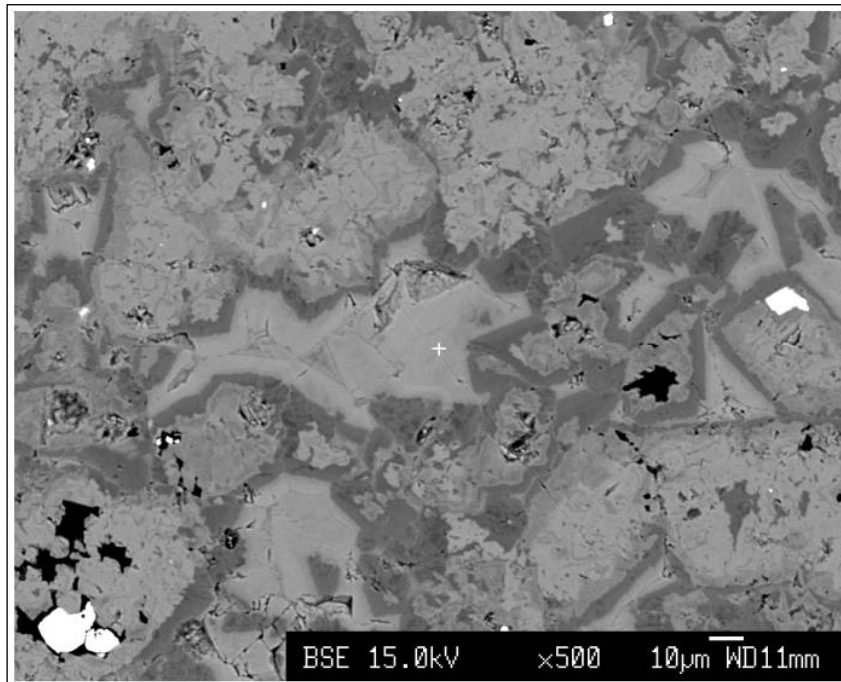


Abb. 23: Sideritvererzung, obertage aus dem Eisenarz. Foto mit Mikrosonde, BSE-Modus aus GOSE (2016).
Zu beachten sind die verschiedenen Grautöne, welche die Unterscheidung der Phasen ermöglichen.
Bei den weißen Bereichen handelt es sich um sulfidische Erze, die schwarzen Spots sind Poren im Gestein.

Im BSE-Bild sind drei verschiedene Grauwerte zu sehen, welche drei verschiedene Eisengehalte, also Phasen, verdeutlichen. Die Ränder sind oft dunkel gefärbt, was eine Eisenverarmung in der späteren Phase der Kluftmineralisation bedeutet. Die teilweise hellgrauen Zwickelfüllungen stellen die letzte Phase der Mineralisation dar. Bei den hellgrauen Bereichen handelt es sich um einen Fe-Mn-Zn-reichen Siderit mit 41,1 Masseprozent Eisenoxid, 11,0 Masseprozent Manganoxid und 3,3 Masseprozent Zinkoxid. Dieser Siderittyp nimmt etwa 50 Prozent der Grundmasse ein. Die mittelgrauen Bereiche zeigen einen eisenreichen Siderit mit 45,7 Masseprozent Eisenoxid (etwa 25 Prozent der Grundmasse), die hellgrauen Bereiche einen magnesiumreichen Siderit mit 33,1 Masseprozent Eisenoxid und 15,1 Masseprozent Magnesiumoxid (etwa 25 Prozent der Grundmasse). Der Schliff in Abbildung 23 besteht aus 95 Prozent Karbonat und etwa einem Prozent Quarz als Kluftmineral.

Untertage: Im Bereich der Stampfer Kehr konnte kein Siderit nachgewiesen werden.

Cerussit

Obertage: Die Reaktionen der Cerussitgenese wurden unter Anglesit bereits mitbesprochen. Diese Bleiverbindung ist das häufigste Mineral oxidierender Bleierze. In der Brekzie I ist die Verdrängung sehr gut zu beobachten, ebenfalls an den Rändern der Bleiglanzphase, welche in den Eisensulfiden eingebettet ist. Im Haldenmaterial tritt Cerussit relativ häufig in verschiedenen Habiti kristallisiert bis zu drei Millimetern Länge auf.

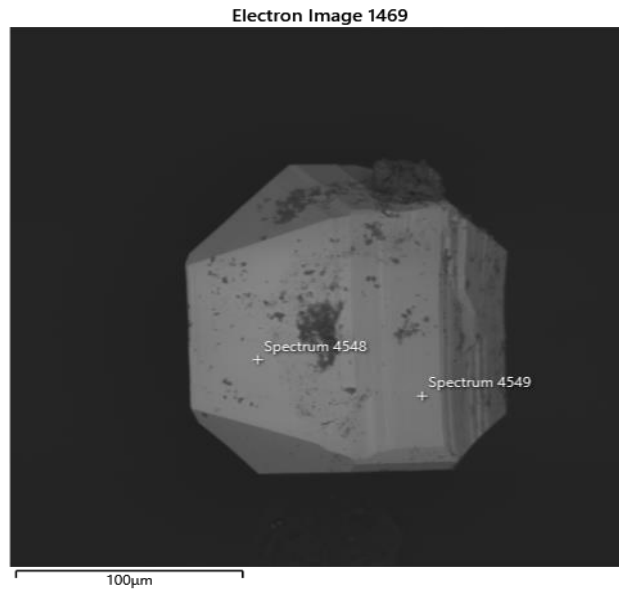


Abb. 24.: Cerussit, isolierter Einzelkristall. Obertägiger Fund in einer schmalen Scherklufft aus dem Haldenmaterial im Eisenarz.
Sammlung: Verfasser

Bei den Cerussitkristallen der Reinfalzalp lassen sich allgemein zwei Grundtypen unterscheiden. Einerseits trifft man auf tafelige Kristalle, andererseits auf nach [100] säulig bis nadelig ausgebildete Exemplare. Oftmals ist eine intensive Streifung der Flächen oder eine matte bis rauhe Oberfläche zu beobachten. Hochglänzende Kristalle kommen hin und wieder vor. Häufig sind auch Zwillinge und Drillinge welche eine pseudo-hexagonale Form vortäuschen können, anzutreffen. Die Kristalle selbst sind oft etwas trüb, aber dennoch durchscheinend.

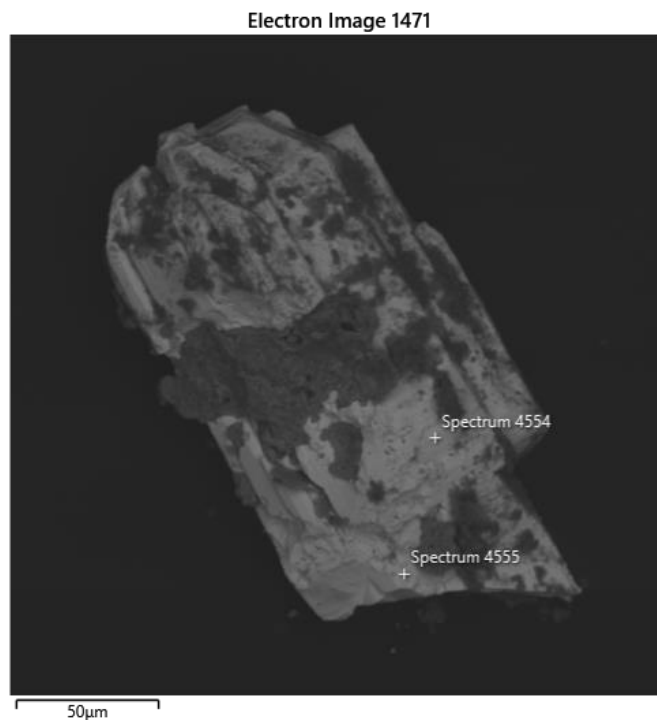


Abb. 25: Cerussit, isolierter Mehrlingskristall, obertägiger Fund aus dem Haldenmaterial im Eisenarz.
Sammlung: Verfasser

Hier soll auf eine interessante Bildung, einem Gemisch von Limonit und Cerussit, hingewiesen werden, welches sich äußerlich nicht von den üblichen Limonitbildungen der Oxidationszone unterscheidet und erst bei den EDX-Analysen bemerkt wurde. Die Entstehung solcher Gemische steht nach SMIRNOW (1954) vorwiegend mit der Behandlung von Cerussit durch Eisen-III-Sulfatlösungen zusammen, welche besonders typisch für Bleilagerstätten mit hohem Pyritgehalt sind, wie in unserem Falle das eisensulfidische Füllmaterial der Reinfalzlagerstätte.

Cerussit konnte nur im Haldenmaterial der Reinfalzalzalm festgestellt werden.

Hydrozinkit

Obertage: In Oberösterreich kommen sulfidische Vererzungen mit größeren Mengen an Zinkblende und untergeordnet Wurtzit nur an wenigen Punkten und hier nur in meist geringer Menge vor. Dadurch ist auch das eher seltene Vorkommen diverser Zersetzungsprodukte erklärt. Während Blei eines der am wenigsten beweglichen Elemente in Bedingungen der Oxydationszone ist, verhält sich das Zink genau gegensätzlich und gehört zu den beweglichsten Komponenten. Besonders schnell erfolgt die Lösung der Zinkblende wenn sie sich im Kontakt mit anderen Sulfiden befinden, ein Effekt, der durch das äußerst niedrige Potential des Zinksulfids bedingt wird. Experimentell konnte eine zeh- bis vierzehn mal schnellere Oxidation von Zinkblende in Kombination mit Markasit nachgewiesen werden als beim Einzelmineral unter gleichen Bedingungen (SMIRNOW 1954). Im Haldenbereich des Eisenarzes wirken hauptsächlich eisensulfathaltige Lösungen auf die Zinksulfide im Erz ein. Diese chemischen Vorgänge wirkten sich auf den Zinkblendegehalt der Materiallagen innerhalb der Halde aus, die längere Zeit exogenen Einflüssen ausgesetzt waren. Es konnten in vereinzelt Haldenbereichen dünne fluoreszierende Krusten von weißem Hydrozinkit auf den Erzbrocken der Halden rekristallisieren.



Abb. 26: Hydrozinkit in weißen dünnen Krusten auf sideritischer Erzprobe mit eingesprengter Zinkblende und Bleiglanz.
Obertägiger Fund aus dem Haldenmaterial im Eisenarzes.
Sammlung: Verfasser

Baryt

Obertage: Schwerspat ist im Eisenerzbezirk der Nördlichen Kalkalpen (WEBER et al. 1997) mehrfach angetroffen worden. Im Bergbau der Reinfalzalpe sind Barytfunde trotz der Bearbeitung größerer Probenmengen in makroskopisch erkennbaren Kristallaggregaten eine Seltenheit geblieben. In schmalen Klüften des nicht sideritisierten Steinalmdolomits konnten kleine rosafarbene feinblättrige Aggregate von Schwerspat mit einem Durchmesser bis zu zehn Millimetern entdeckt und mittels EDX bestätigt werden.



Abb. 27: Aggregat von rosa Baryt in dolomitisiertem Steinalmkalk. Obertägiger Fund aus dem Haldenmaterial im Eisenerz. Größe des Aggregats 5 Millimeter.
Foto und Sammlung: Verfasser

Anglesit

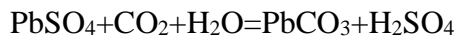
Obertage: Das Bleisulfat Anglesit $PbSO_4$ konnte nur in den Proben der Reinfalzalpe nachgewiesen werden.



Abb. 28 : Anglesitkristalle in eisensulfidreicher Matrix. Obertagefund Halden der Reinfalzalpe
Bildbreite 3 mm
Fund, Foto und Sammlung: Verfasser

Das Anfangsstadium der Oxidation und das Ersetzen von Galenit durch Anglesit verläuft zu Beginn relativ schnell. Im Laufe der Reaktion nimmt die Geschwindigkeit bedingt durch die geringe Löslichkeit des Anglesits ab, da die um den Galenit entstandene Anglesitrinde nicht mehr gelöst wird (SMIRNOW 1954). Es entsteht eine Schutzhülle, welche den Fortschritt einer weiteren Oxidation weitgehend verhindert. Anglesit ist das erste Produkt der Galenitoxidation, verhält sich bei Anwesenheit von Kohlensäure unbeständig und wird langsam von Cerussit verdrängt.

Diese Reaktion verläuft etwa nach der Formel:



Besonders rasch erfolgt die Substitution des Anglesits durch Cerussit in einem karbonatischen Mittel. In diesem Milieu haben die Wässer einen größeren Gehalt an Kohlensäure. Die Schwefelsäure, die bei den vorhergehenden Reaktionsabläufen entsteht, wird rasch neutralisiert und ist im weiteren Verlauf der Umwandlung von Anglesit zu Cerussit nicht hinderlich. In Schliften der Brekzie I ist oftmals eine Verdrängung von Anglesit durch Cerussit zu beobachten, also eine Anglesitmineralisation der ersten Generation. Die jüngeren Galenitphasen innerhalb der Eisensulfidausscheidungen unterliegen den selben oben beschriebenen Prozess und generieren eine zweite Anglesitphase. Die Kristallaggregate von Anglesit und Cerussitkristallen innerhalb schmaler Klüfte innerhalb der Brekzie I dürften in diese zweite Metallmobilisierungsphase fallen.

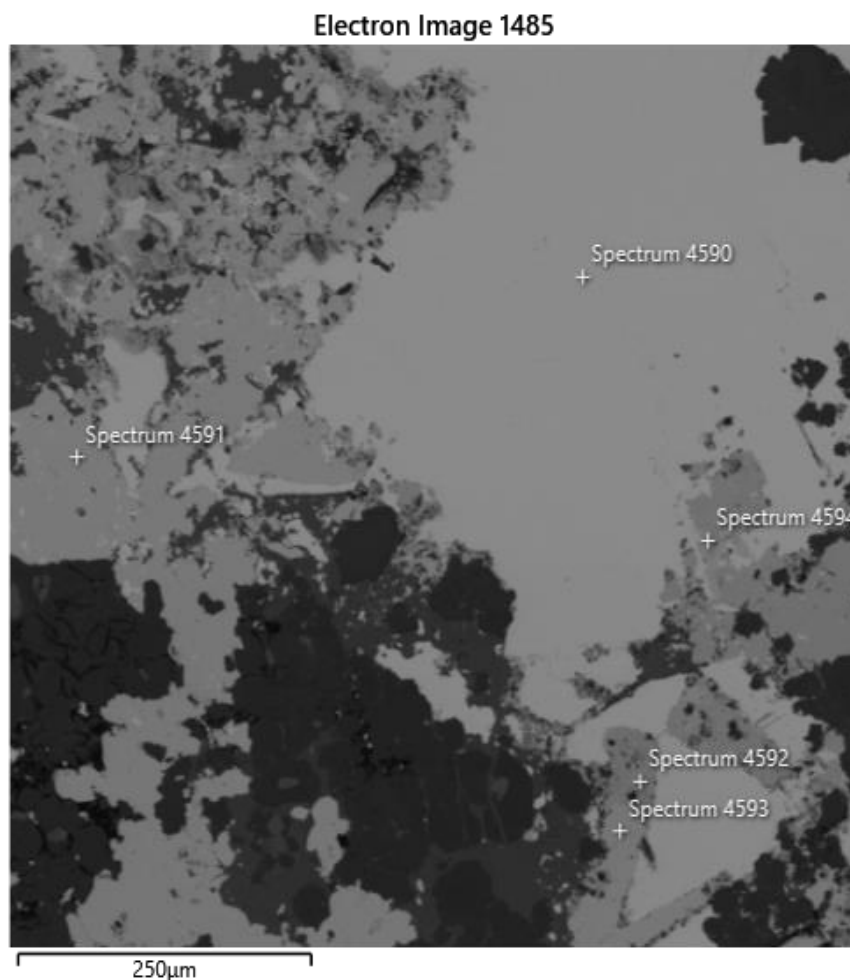


Abb. 29: Verdrängung von Anglesit (Spektrum 4592) durch Cerussit (4591, 4593, 4594) an den Randzonen von Galenit (4590).
Schliff der Brekzie I, Reinfalzalzm. Bild mittels EDX.
Schliff und Sammlung: Verfasser

Obertage: Schwermineralproben des Haldenmaterials zeigen ebenfalls winzige Anglesitkristalle, quantitativ jedenfalls ist Cerussit dem Anglesit weitaus überlegen.

Untertage: Anglesit konnte in der Stampfer Kehr nur in einzelnen Proben mittels EDX-Analyse als Verdrängung von Galenitspots in der feinkörnigen Pyritfüllmasse nachgewiesen werden.

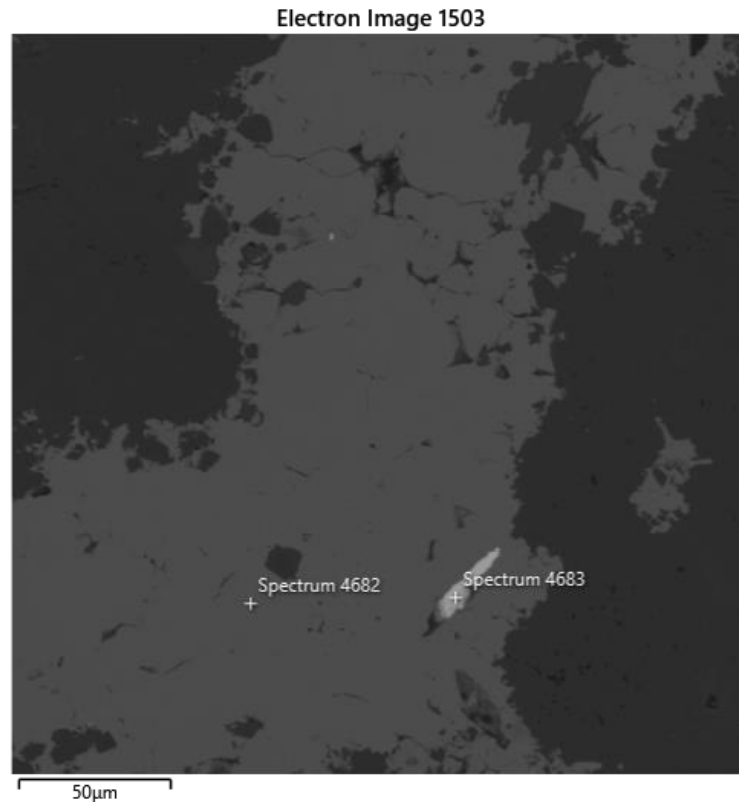


Abb. 30: Anglesit (Spektrum 4683) hat einen Galeniteinschluss innerhalb der Pyritfüllmasse (4682) vollständig verdrängt.
Stampfer Kehr. Fund und Schliff: Verfasser

Brochantit

Obertage: Grüne mikrokristalline Überzüge auf einer einzelnen Sideritstufe der Brekzie I konnten als Einzelfund mittels Ramanspektroskopie als Brochantit $\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$ bestimmt werden. Dieses Mineral war, dem Sulfatreichtum dieses Haldenbereiches nach zu erwarten. Flächenmäßig nahmen die hauchdünnen Krusten Bereiche von maximal drei mal drei Millimetern ein.

Gips

Obertage: Die Reaktion zur Entstehung von Gips beruht auf der Verwitterung von Sulfidieren wie zum Beispiel Pyrit und Markasit zu Schwefelsäure und Eisensulfat. Die freiwerdenden Sulfationen reagieren mit Kalk zu Gips. Dieses wasserhaltige Calciumsulfat $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ wäre bedingt durch den hohen Eisensulfatgehalt aus der Sulfidersetzung häufiger zu erwarten. Da aber das Haldenmaterial durch seine lockere Konsistenz die Sulfatlösungen kaum zurückhält, konnten kleine tafelige Gipskristalle nur in tieferen, etwas mehr Lehm enthaltenden, wasserundurchlässigeren Zonen der Halden festgestellt werden. Oberflächlich und in lockeren Bereichen werden die Sulfatlösungen durch Regen und Grundwasser zu schnell abgeführt.

Untertage: Gips tritt hier als Bestandteil des Glanzschiefers auf.

Asphalt

Obertage: Diese organische Phase wurde von HASLINGER (1962) erstmals aufgefunden, 1971 von BREUER nochmals beschrieben und von MEIXNER (1973) näher untersucht. Dieses Material kommt kluft- und -spaltenfüllend in der Vererzung sowie im angrenzenden Jura vor. Die Aggregate bilden bis zu einem Zentimeter große, schwarze, muschelig brechende Aggregate mit starkem Pechglanz. Teilweise sind kleine Kalkspatkristallklüfte mit der (leicht aus bituminösen Gesteinen mobilen) Asphaltmasse gefüllt.



Abb. 31: Asphalt in einer Brekzie aus braunem, bituminösen Kalk mit jungen Kalkspatkluftfüllungen.
Obertägiger Fund aus dem Haldenmaterial des Hütterstollens.
Sammlung: Verfasser

Makroskopische Erztypen und vererztes Nebengestein der Halden im Eisenarz und im Grubenaufschluss Stampfer Kehr

Aus den kartographisch von den Verfassern festgehaltenen Haldenbereichen wurden Proben von Bleierzen, karbonatischen Erzen, vererztem und unvererztem Werfener Schiefer, limonitischen und sideritischen Eisenerzen aus dem Abraum entnommen, um einen Überblick über den Lagerstätteninhalt zu gewinnen.

In der Stampfer Kehr musste das Probematerial wegen des Wassereintrittes unter erschwerten Bedingungen im Teamwork gewonnen werden. Nach Aufsuchen der Entnahmestelle musste das Fundgut unmittelbar beim Herausschlagen aus der Wand aufgefangen werden, da die Stücke sonst im Wasser und Schlamm der Stampfer Kehr für immer verschwunden wären. Mit dieser Vorgehensweise konnten der linke und rechte Ulm und Teile der Firste systematisch beprobt und die Entnahmestellen auf Plänen eingetragen werden.



Abb. 32: DI TH. LEITNER bei der Suche nach brauchbaren Beprobungsstellen an den mit dicken Oxidationskrusten überzogenen Wänden der Stampfer Kehr.
Foto: P. Arthofer 2022

Schwarzer Glanzschiefer (nur untertage)

In der Stampfer Kehr beschrieben ANTES & LAPP (1962) einen schwarzen Werfener Schiefer, welcher nur in einem kleinen Bereich am Durchstieg aus dem Betonausbau aufgeschlossen ist. Der Rest ist hinter einer Betonmauerung verborgen und nicht einsehbar. Dieses Gestein ist Teil der Brekzie in der Stampfer Kehr. Dieser schwarzglänzende Tonschiefer wird von AIGNER (1878) als drei Meter mächtiges Salband mit der darauffolgenden Kiesbank publiziert. Zwischen der Einlagerung aus Glanzschiefer und einer Schwefelkiesbank ist eine Lettenlage mit einer maximalen Mächtigkeit von 15 Zentimetern zwischengeschaltet, die ebenfalls reich an Sulfiden ist und im Aufschluss oberflächlich teilweise zu einem hellgrauen bis gelben Brei verwittert.

Der schwarze Tonschiefer scheint im Handstück arm an Sulfiden. Im Anschliff wird der Erzgehalt des Materials deutlich. Die Sulfidimprägation reicht von der Schichtgrenze bis etwa 20 Zentimeter tief in den Glanzschiefer hinein. Auffallend ist die häufig parallele Stellung der Sulfidvererzung zur Schieferung. Hier sind die Eisensulfidlagen von tonig-kieseligem glimmerreichen Material umgeben. Die Hauptmasse der Sulfide wird von Pyrit eingenommen, untergeordnet sind Galenit und seltener Sphalerit zu beobachten.

Rostigbrauner vererzter Werfener Schiefer (nur obertage)

Dieser Typ ist oftmals durch Eisenoxide bräunlich gefärbt und im Wesentlichen mit Siderit imprägniert. Klüfte und Risse sind von massigen Sulfiden, vorrangig Galenit, untergeordnet Sphalerit, erfüllt. Der Schiefer selbst enthält Glimmer und Quarz (oftmals sind in den Schlifften idiomorphe Quarzkristalle zu finden). Aluminiumgehalte der Schlacken beim Leopold Stollen sind aus diesen Glimmern herzuleiten. Auf die geochemischen Besonderheiten wurde bereits im Abschnitt Paragenese/Mineralogie hingewiesen.

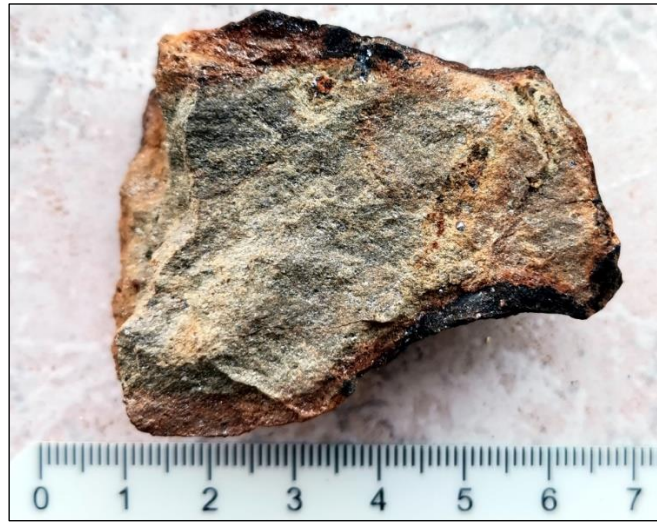


Abb. 33: Vererzter Werfener Schiefer aus der Brekzie II mit Galenit und Siderit aus den Halden der Reinfalzalm. Eisenarz.
Fund und Foto: Verfasser

Steinalmkalk (ober- und untertage)

Der Steinalmkalk konnte im Untersuchungsgebiet bis dato in zwei verschiedenen Fazies aufgefunden werden, welche alle in unterschiedlicher Form Träger der Vererzung sind.

- Innerhalb des Steinalmkalkes konnten fossilreiche Lagen mit einer Biogenschuttfazies, meist sandig bis grusig mit Brachiopodenschalenfragmenten, Crinoidenstielgliedern und anderen miteinsedimentierten Resten angetroffen werden. Der Aufbau ist lagig, das Material ist graugrün, ockrig verwitternd, Die Matrix führt primären, submikroskopischen Pyrit. Eine Probe dieses Gesteins wird in Abb. 12 gezeigt.
- Diese Fazies des Steinalmkalkes ist hell- bis mittelgrau, teilweise braun gefärbt, ohne dass man eine systematische Farbverteilung erkennen kann. Meist ist er massig, oft kataklastisch zerbrochen. Im Bereich der Vererzung sind die Risse mit Sulfiden, in der Hauptmasse von mikrokristallinem Pyrit verfüllt. Auch der Kalk selbst ist mit submikroskopischen Sulfiden vererzt. Biogene Reste konnten wir in diesem Typ nicht feststellen.

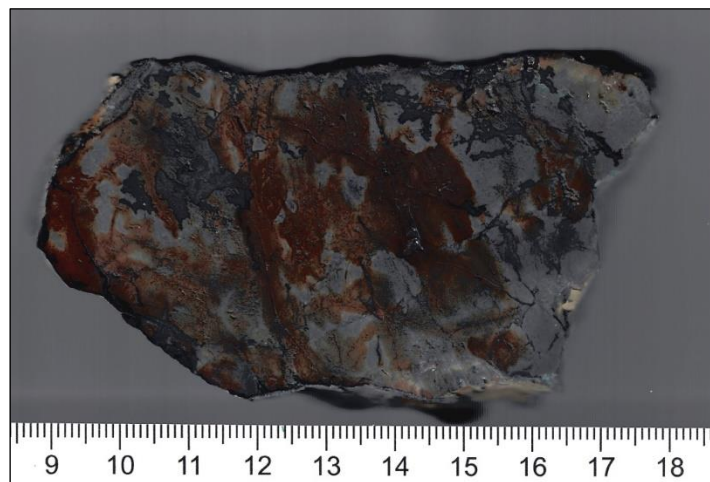


Abb. 34: Pyrit (schwarz), untergeordnet Galenit und Sphalerit.
Der Pyrit ist partiell zu Limonit oxidiert (rotbraune Verfärbungen, welche ins Gestein eindringen).
Halden der Reinfalzalm, obertägig.
Fund und Foto: Verfasser

Brekzie I (ober- und untertage)

Diese Brekzie setzt sich aus Trümmern des lagigen, fossilreichen Steinalmkalkes zusammen. Das Bindemittel zwischen den Brekzienfragmenten ist Feinmaterial aus zerbrochenem Steinalmkalm in Mischung mit Sulfiden, hauptsächlich Pyrit, untergeordnet Galenit und Sphalerit. In den einzelnen Kalkkomponenten fallen, wie auch in der Abbildung unten gezeigt, immer wieder poröse Stellen auf. Diese Hohlräume sind Kristallnegative von Galenit und Zinkblende, die aus diesen Karbonatkomponenten heraus in Lösung gebracht wurden. Die Brekzie I ist untertage nicht sideritisiert, obertage konnten sideritisierte und nicht in Siderit umgewandelte Proben aufgefunden werden.

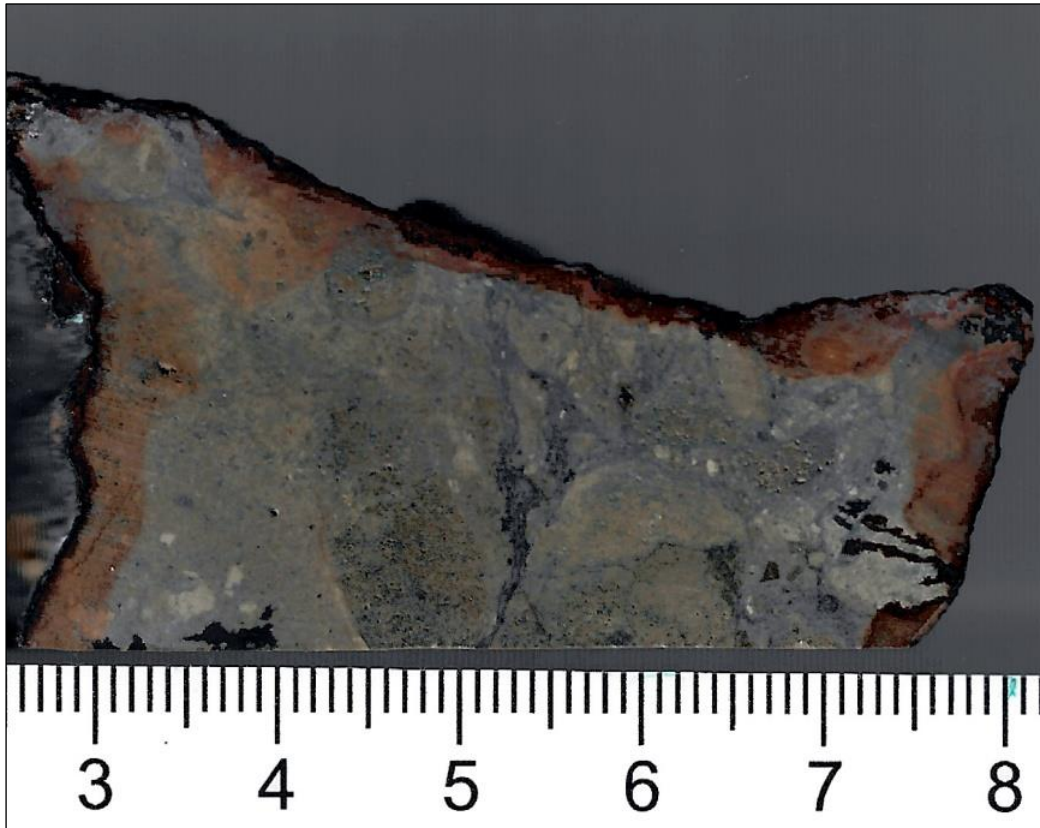


Abb. 35: Brekzie I aus fossilreichem Steinalmkalk (nicht sideritisiert), erkennbar partiell die Poren von aufgelösten Sulfiden. Obertägige Halden im Eisenarz. Fund und Foto: Verfasser

Brekzie II (ober- und untertage)

Obertage:

Bei diesem Erztyp handelt es sich um eine Brekzie aus vererztem Werfener Schiefer und den zwei Fazies des Steinalmkalkes. Bei der Entstehung dieser Brekzie wurden die Kalke über Dolomit zu Siderit überführt. Der Werfener Schiefer wurde durch Sulfidmobilisation in den Rissen vererzt, im porösen Karbonatmaterial konnten sulfidische Erze angereichert werden. Die Siderite dieser Bildung lassen wie vorher beschrieben einen mindestens dreiphasigen genetischen Ablauf erkennen.

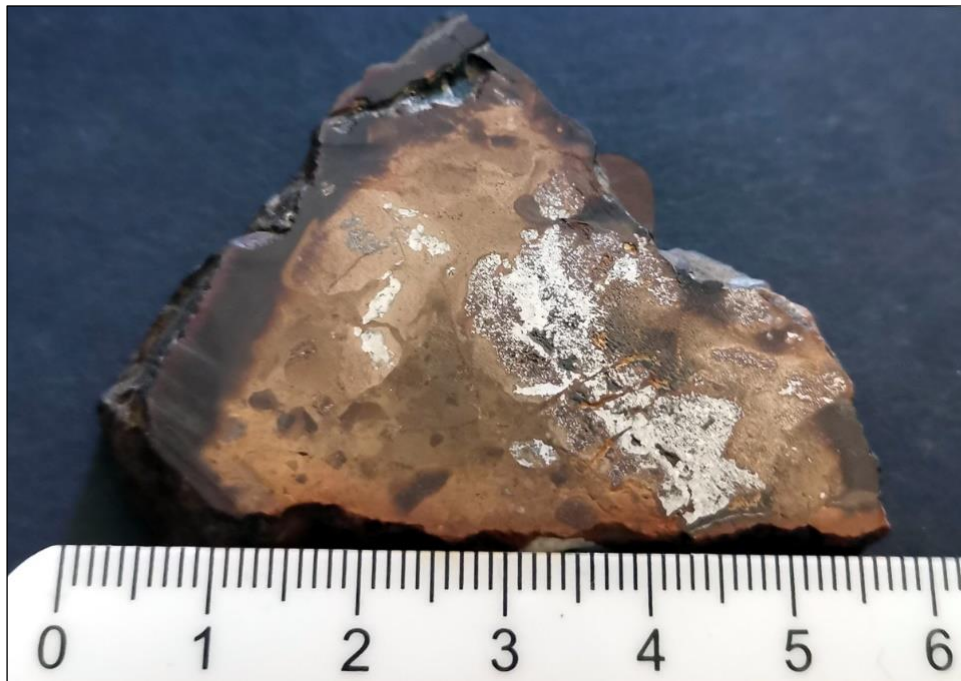


Abb. 36: Sideritisierter ehemals biogenreicher Steinalmkalk mit wolkiger Galenitvererzung, untergeordnet Sphalerit. Außen limonitischer Verwitterungssaum. Halden im Eisenarz, Fund, Foto und Schliff: Verfasser

Das Zwickelmaterial zwischen den größeren Brekzienkomponenten wird aus einem Gemenge aus Sideritgrus und untergeordnet einer kieselig-tonigen Substanz, gelegentlich mit kleinen Quarzkristallen (welche nach ANTES & LAPP (1962) auf den Werfener Schiefer zurückführen) gebildet. Eine zumindest teilweise Beteiligung des Glanzschiefers an dieser Füllmasse wird von den Verfassern angenommen.

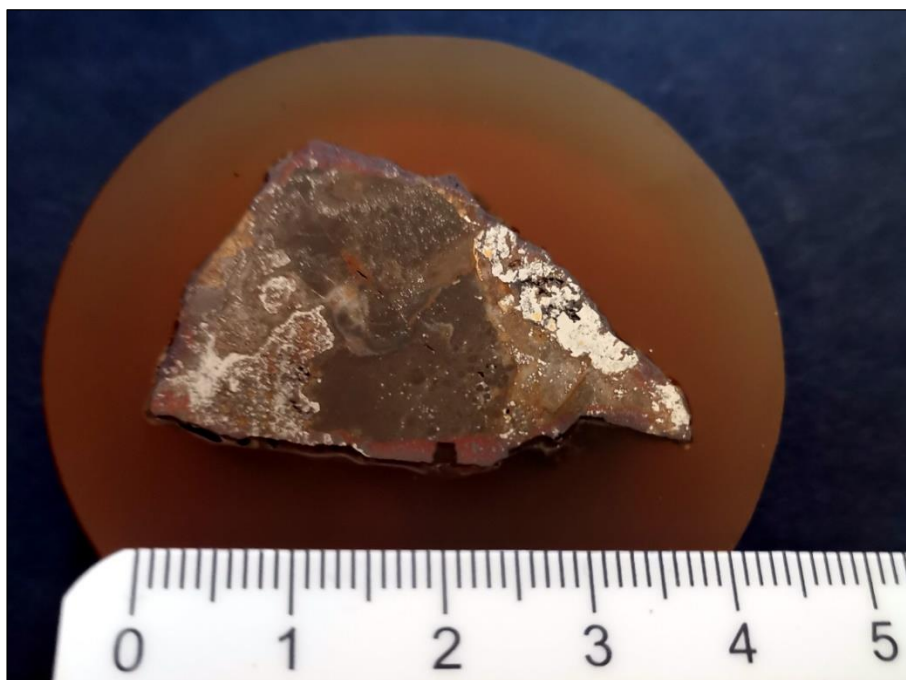


Abb. 37: Sideritisierte ehemals massige Fazies des Steinalmkalks mit teilweise tektonisch stark beanspruchtem Galenit in der Zwickelfüllung, blockiges Sideritaggregat in der Mitte. In diesem Aggregat ebenfalls helle Fünkchen der Sulfidvererzung erkennbar. Halden im Eisenarz, Fund, Foto und Schliff: Verfasser

Untertage:

Hier ist verkittete Brekzie aus den zwei Fazies des Steinalmkalkes ohne erkennbare Metasomatose zu Dolomit oder Siderit zu diagnostizieren. Die Zwischenmittel sind von gleicher Zusammensetzung, wie bei den Proben von den Halden im Eisenarz. Es muss hier angemerkt werden, dass der Fragmentierungsgrad der zu Siderit umgewandelten Brekzie im Eisenarz wesentlich höher ist.

Zuckerkörniger Dolomit (nur obertage)

Dieses Material besteht aus feinen, zuckerkörnig aggregierten, weißen Dolomitkristallen mehrerer Generationen. In diesem Gesteinstyp konnte bis dato keine Sulfidvererzung festgestellt werden, da - wie an den Proben ersichtlich - die meisten, leichter löslichen Komponenten weggelöst wurden. Es kam in den porösen Kavernen jedoch zur Anreicherung von bituminösen Substanzen, wie Asphalt.

Steinalmdolomit (nur obertage)

Dieser Gesteinstyp ist ein dolomitierter Steinalmkalk des hell- bis mittelgrau gefärbten Typs. Dieser ist kataklastisch zerbrochen und die Risse mit jungem Karbonat verfüllt. Das Gestein ist nicht sideritisiert. Sowohl in der Grundmasse wie auch in der Kalkspatfüllung der Kataklasten sind Blei- und Zinksulfide sowie Baryt Bestandteil der Paragenese (siehe Abbildung 27).

Brekzie III (obertage und untertage)

Obertage ist diese Brekzie ein durch tektonische Vorgänge zertrümmertes Produkt der bereits verfestigten und sideritisierten Brekzie II. In der Stampfer Kehrlage kommt diese Brekzie als Gemisch verschiedener Fazies des Steinalmkalkes mit feinerzriebenem Karbonat als Bindemittel vor. Die Bindemittel der Brekzie III sind hier Eisensulfide verschiedener Generationen. Die erste sulfidische Fällung war durch die Ausscheidung von Gelförmigem Eisensulfid FeS_2 geprägt. In diese Phase fallen die Abscheidung von Melnikovit, Wurtzit, strahligem Markasit und Pyrit. Diese erste Sulfidklüftfüllung wurde durch tektonische Vorgänge zum großen Teil fragmentiert und in weiterer Folge zu Markasit umgewandelt. Auf diese erste Sulfidfällung folgte mindestens eine weitere Phase aus mikrokristallinem Pyrit, in der die Eisensulfidtrümmer der ersten, mittlerweile markasitisierten Phase miteingebacken und die Hohlräume verfüllt wurden.

Die Hauptvererzung:

Die bergmännisch genutzte Hauptvererzung des Eisenarzes war die Brekzie III respektive ihr Eisensulfidbindemittel. Die Sideriterze dieser Brekzie mit geringem Bleiglanzgehalt wurde der Eisengewinnung zugeführt. Die höheren Galenitgehalte finden sich vor allem in der sideritisierten fossilreichen Fazies des Steinalmkalkes und partiell in der Zwickelfüllung der Brekzie II. Diese Komponenten wurden als Rohstoff für die Bleischmelze beim Leopold Stollen abgeschieden. Die pyritische Füllmasse wurde zur Erzeugung des Vitriols genutzt.

Die Deformations- und Remobilisationsgeschichte der Vererzung ist kompliziert. Partiiell kommen Bereiche der Vererzung vor, welche scheinbar vollkommend undeformiert sind, andere Partien sind völlig plastisch ausgewalzt, andere kataklasiert. Die vererzte Zone der Lagerstätte wurde mehrfach brekziert. Auf mehrere karbonatische Phasen folgten Eisensulfidphasen immer wieder unterbrochen von tektonischen Events. Die Autoren haben über einen langen Zeitraum im durchwegs bewachsenen Gelände Proben genommen, um die wichtigsten Details der Lagerstätte teilweise entschlüsseln zu können.

Anhang zur Roterdehalde im Eisenarz

- Ergänzen soll hier auch eine Analyse einer Probe des nahe dem Mathias Stollen lagernden Hüttenproduktes aus der Roterdehalde wiedergegeben werden, welche 2013 über die IGM-Mitterbergstollen geborgen wurde. Wir sind H. FEICHTINGER, Perneck für die Überlassung der Daten zu Dank verpflichtet.

Untersuchungsbericht der Probe zum Thema Vitriolsiederei 2013

Herkunft: Sudhüttenwand, Reinfalzalp bei Ischl

Analysenergebnisse: Chemische Zusammensetzung:

Eisen [%]	16,3	-->FeSO ₄ x 7 H ₂ O (errechnet aus Fe) [%]	81,4
Calcium [%]	< 0,10		
Magnesium [%]	< 0,10		
Strontium [%]	< 0,10		
Sulfat [%]	29,4		
Aluminium [%]	0,35		
Silizium [%]	0,32		
Bor [%]	< 0,10		
Blei [%]	1,38		
Zink [%]	0,82		

Analysenergebnis: Der Hauptbestandteil dieser Probe ist Eisen II-sulfat. Die Probe ist im sauren Aufschluss (im Gemisch mit zwei Teile konz. HCl und einem Teil konz. HNO₃) unter etwa drei Stunden Aufkochzeit bei etwa 90 °C zum überwiegenden Teil löslich! Es verbleiben in dem Auszug etwa 20 % unlöslicher Bodensatz, welcher analytisch nicht erfasst werden konnte. Die Analysenergebnisse beziehen sich hier auf den löslichen Anteil der Probe!.

Es fällt auch der geringe Anteil an Blei und Zink auf. Es wird durch diese Analyse eine sorgfältige Scheidearbeit der Erze durch die damaligen Bergleute sowie die hohe Mobilität von Blei und Zink in schwefelsaurem Milieu belegt.

Der Schmelzplatz im Stambach – Ein Relikt der Eisenerzeugung im Salzkammergut

Eines unserer Ziele für diese Ausgabe der OÖ. Geonachrichten war die Aufnahme und Dokumentation der Schmelzstätte am Stambach unweit Bad Goisern, um Rückschlüsse auf das Erzliefergebiet und die Verhüttungstechnik gewinnen zu können.

Der Standort der ehemaligen Erzverarbeitungsanlagen unweit oberhalb der Ansiedlung Riedeln an der Stambachforststraße war im Verlauf seiner Geschichte vielen Veränderungen unterworfen, wie der Änderung des Verlaufes der Forstraße, sowie eine Großhangbewegung bis knapp oberhalb des Hüttenstandortes reichend (ROHN 1991) und zuletzt durch die Hochwasserkatastrophe im Juni 2009, die ihren Teil zum langsamen Verschwinden der meisten Überreste der Hüttenanlagen beigetragen hat.

Das Areal befindet sich etwa 350 Meter nordöstlich der Stambachbrücke in Riedeln (siehe Lageplan). Es handelt sich um ein kleines Plateau, welches auf einer Seite durch den Stambach, weiters durch rasch ansteigendes Gelände, und weiters durch ein Gerinne eingegrenzt ist.



Abb. 38: Lage des Verhüttungsplatzes am Stambach, Ausschnitt OK 1:50.000 Bad Ischl

Die Schmelze am Stambach wird von SCHULTES in seinen Reisen durch Oberösterreich, welche 1809 veröffentlicht wurden, erwähnt: „Hinten am Stambach sind viel Blahäuser (Eisenhochöfen) und Stämpfe gewesen“. FREH beruft sich in seiner Arbeit über den Eisenbergbau im Lande ob der Enns 1949 auf SCHULTES. HORST FEICHTINGER, Perneck führte mit B. UNTERBERGER, einem Kenner des Stambachgebietes, im Spätsommert 2020 eine Exkursion zum dortigen Schlackenplatz durch (Pers. Mitt. vom 1.9.2020). Angeregt durch diesen Bericht begannen die Verfasser die Reste der Stambachschmelze aufzusuchen und dieses Thema für diese Berichtsserie aufzuarbeiten.

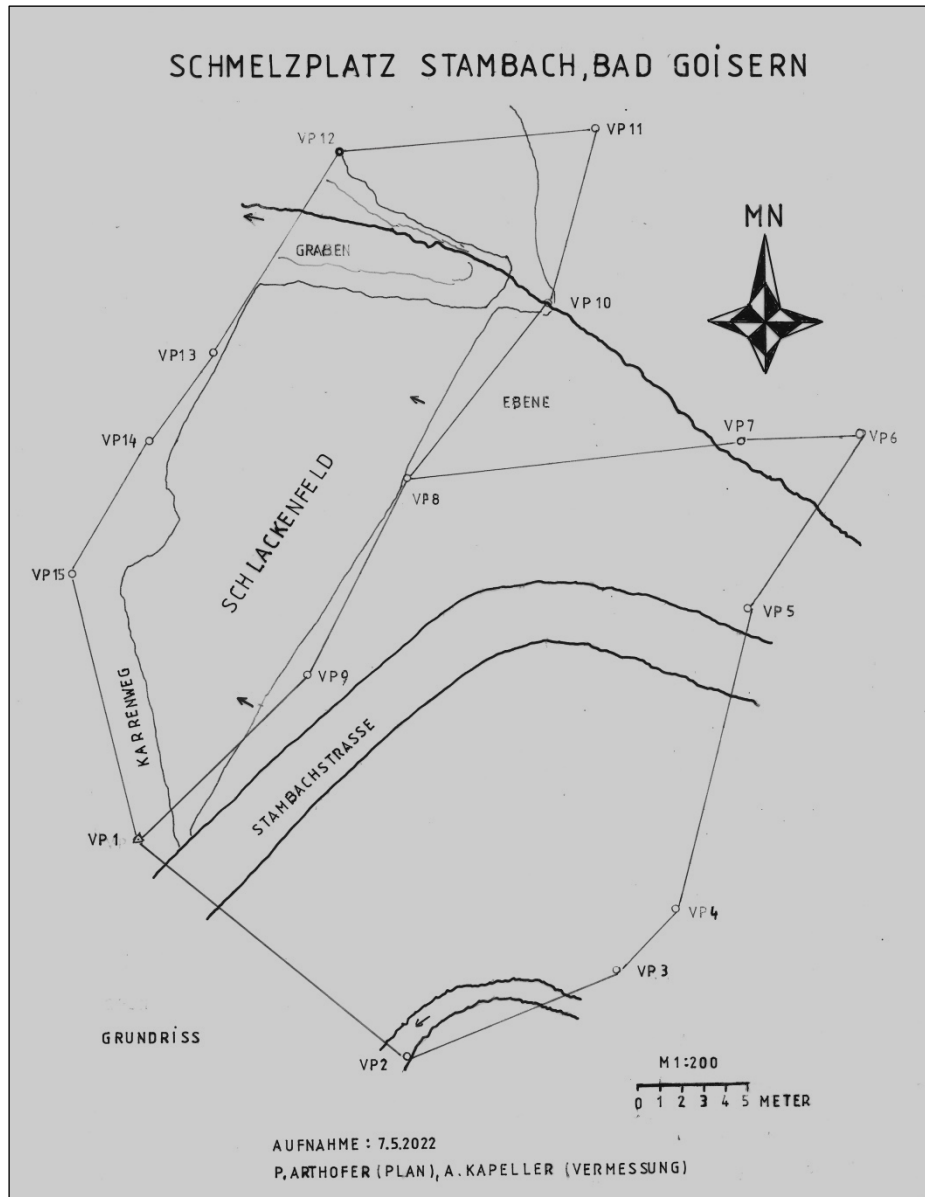


Abb. 39: Situationsplan der Relikte des Hüttenstandortes am Stambach bei Goisern. Aufgenommen durch die Verfasser 2022

Ebenfalls haben wir uns detailliert mit den unverhütteten und ungerösteten Erzstücken, welche im damaligen Betriebsgelände verloren gingen, auseinandergesetzt, um Rückschlüsse auf die Liefergebiete des Rohmaterials ziehen zu können. Dieses Material ist zurzeit noch in Arbeit, da unter anderem Schliffe der Proben angefertigt und analysiert werden müssen.

Grundlagen zur Verfahrenstechnik der Eisengewinnung im Rennfeuer (Rennofen) und Stuckofen und Vorgänge bei der Verhüttung

Zum Ablauf des Hüttenprozesses

Der Ausgangsrohstoff für die anfänglichen Rennfeuer waren im Wesentlichen leicht gewinnbare Raseneisenerze, Bohnerze sowie Limonit und ähnliche stärker eisenhaltige Ausgangsstoffe, je nach regionaler Gegebenheit. Bei größerem Schwefelgehalt der Erze war ein Rösten zur Entfernung des Schwefels als Vorstufe der Verhüttung unumgänglich.

Die Erzbrocken wurden zerkleinert und für das Einbringen in den Rennofen in ein brauchbares Format gebracht. Beim Bau eines Rennofens wurde zuerst eine etwa 50 Zentimeter tiefe Ofengrube ausgehoben und darüber ein freistehender Schacht aus Rutenringen, die Ofenesse angelegt, und diese mit Ton überzogen (SÖNNECKEN 1971). Dieser Schacht wird in einem Brennvorgang zuerst ausgehärtet, um dem Aufbau Stabilität zu verleihen. Daraufhin wurde die Ofengrube mit aufrecht stehenden Spalthölzern beschickt und anschließend mit Erz- und Holzkohlestücken im gleichen Verhältnis gefüllt. Die Verfüllung konnte wahlweise als Gemisch oder lagenweise erfolgen. Die Qualität der Holzkohle ist bei dieser Verhüttungstechnik kein wichtiges Kriterium, es kam aber nur Holzkohle in Frage, da zum Beispiel mit Steinkohlen die Schwefelmenge im Ofen viel zu groß geworden wäre und eine wesentliche Entschwefelung bei den verhältnismäßig niedrigen Temperaturen des Rennfeuers nicht möglich ist (DURRER 1954). Auch sollte in bestem Falle die Holzkohle vor Verwendung längere Zeit abgelagert werden (WISSNER 1953).

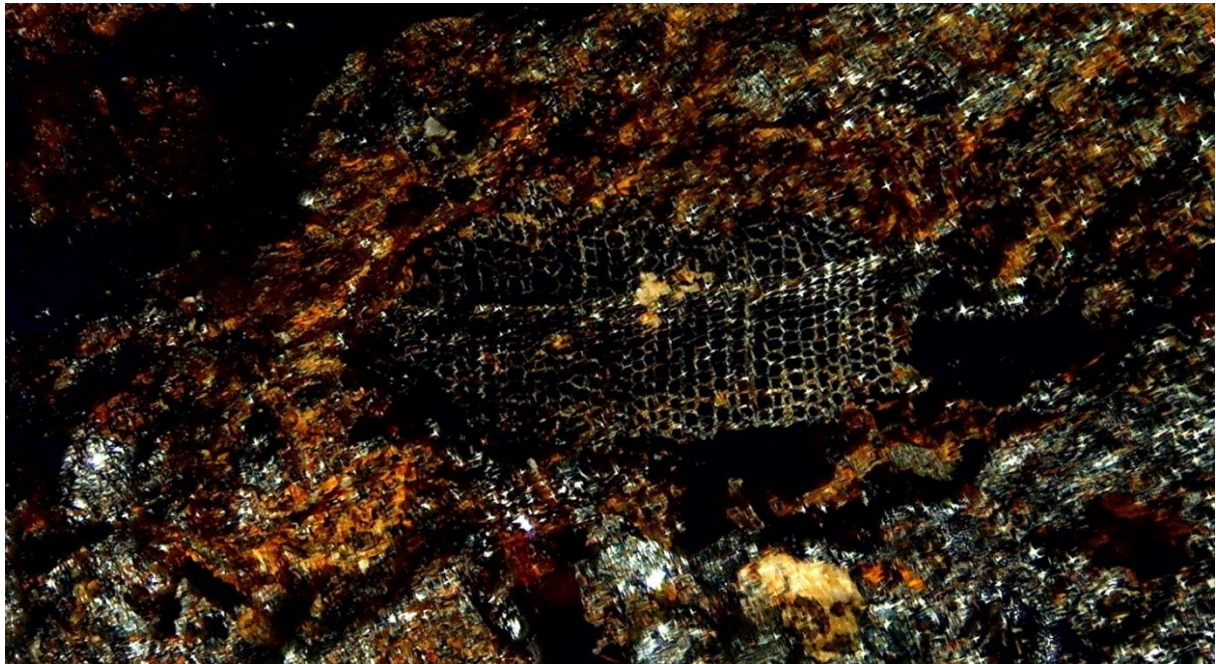


Abb. 40: Holzkohlenrelikt in heterogener Schlacke, deutlich sichtbar die Struktur der Kanäle des Nadelholzes im Querbruch. Sammlung: Verfasser

Nach Anfeuern des Ofens konnte in der Grube eine Temperatur von 1200 bis 1300 Grad Celsius erreicht werden. In der oberen Ofenöffnung, der sogenannten „Gicht“ ist die Temperatur mit etwa 800 Grad Celsius wesentlich geringer. Die Schlacke hat ihren Schmelzpunkt bei etwa 900 bis 1200 Grad Celsius, der Eisenschmelzpunkt liegt bei 1538 Grad Celsius, also wesentlich höher, was bedeutet, dass der Ofen nicht heiß genug wird und das Eisen im Brennvorgang nicht vollständig von der Schlacke getrennt werden kann. Beim Brennvorgang beginnen sich im Erz enthaltene Metalle mit niedrigerem Schmelzpunkt (zum Beispiel Blei bei 327,4 Grad Celsius, Zink bei 419,6 Grad Celsius) zu verflüssigen, das geschmolzene Metall rinnt durch die Lücken zwischen den Spalthölzern auf den Boden der Ofengrube und bildet durch das verschiedene hohe spezifisch Gewicht Metallabsonderungen mit lagiger Struktur. Das in das Rennfeuer oder den Stuckofen eingebrachte Erz wird durch die heißen Gase des Holzkohlefeuers erhitzt und reduziert. Mit dem Herabrutschen kommt die Ofenbeschickung in immer höhere Temperaturen, bei denen die Reduktion intensiviert wird. Danach verflüssigt sich die erste Schlacke (Fließschlacke) und verfüllt den weitem noch freien Raum der Ofengrube. In der Zone über der Grube bleiben Ofenschlacke und die „Luppe“ (der „Lupus“ oder „Wolf“) zurück, ein Schlacke-Eisengemisch.

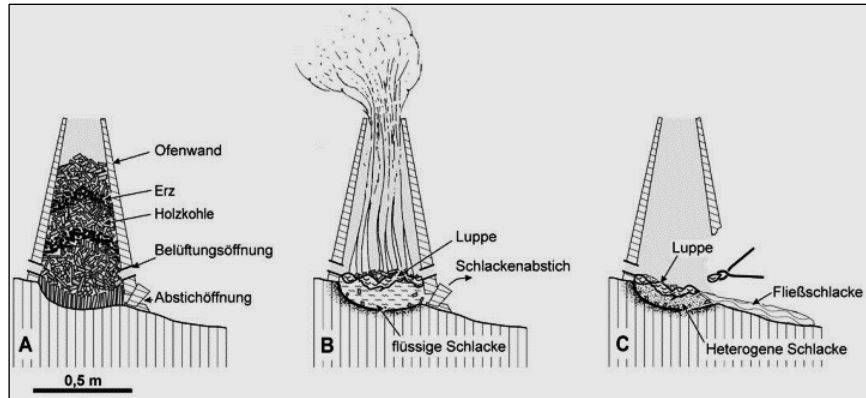


Abb. 41: Schema des Ablaufes der Eisenverhüttung in einem Rennofen aus SCHÖNER et al.(2003), ohne Berücksichtigung der dargestellten Form, da keine archäologischen Aufnahmen erstellt wurden.

- A) Ofenschnitt vor Inbetriebnahme. Im Ofen sind Kohle und Erz abwechselnd geschichtet. Der Ofenboden ist mit Spaltholz beschickt.
- B) Ofenschnitt am Ende des Abbrennprozesses. Unterhalb der Luftdüsen hat sich auf der Spaltholzfüllung metallisches Eisen, der Lupus oder Wolf, angereichert. Am Ofenboden sammelt sich anstelle des Spaltholzes flüssige Schlacke, welche durch die sogenannte Abstichöffnung abgelassen wird.
- C) Ofenschnitt nach dem Schlackenabstich. Die Fließschlacken erstarren außerhalb des Ofens. Im Ofen selbst hat sich eine heterogene Schlacke abgesetzt.

Der Rennofen ist in der Bauweise eines kleinen Schachtofens mit einer Höhe von 100 bis 220 Zentimetern ausgeführt. Neben dem Schachtofen wurde manchmal eine Herdgrube zum Schlackenablass, die sogenannte „Renngrube“ angelegt. Die Schlacke läuft (rinnt, daher der Name Rennofen) durch Öffnungen des Ofens in diese Grube. Der Aufbau des Schachtes entwickelte sich im Laufe der Zeit vom lehmbestrichenen Rutenring (zur einmaligen Verwendung) hin zu Steinbauten mit lehmverkleideter Brennkammer, die mehrmals verwendet werden konnten. Die Belüftung erfolgte meist durch Blasebälge, es gab aber auch hohe Kaminöfen, bei denen der natürliche Luftzug ausreichte. Solche Ofentypen wurden hauptsächlich an Berghängen zum Einsatz gebracht. Auch Luftzuleitung durch Windtunnel wurde in die Praxis umgesetzt. In Mitteleuropa fand die Rennofentechnologie mehr als 3000 Jahre bis zur frühen Neuzeit Anwendung. Es existieren zahlreiche Verfahrensweisen und Bauformen, daher ist keine allgemein gültige Beschreibung der Ofenfahrweise möglich, es können hier nur die wichtigsten Eckpunkte dieser Technologie zusammengefasst werden. Größere Rennöfen mit einem automatischen Gebläse (durch Wasserkraft betrieben) bezeichnet man als „Stuck“- oder „Stücköfen“. Die Abgrenzung zum späteren Hochofen wird durch das Endprodukt gezogen, da bei der Rennofentechnik ein großes Eisenstück im ausgebrannten Ofen war. Bei der Hochofentechnik ist das Produkt der kontinuierliche Fluss des Eisens.

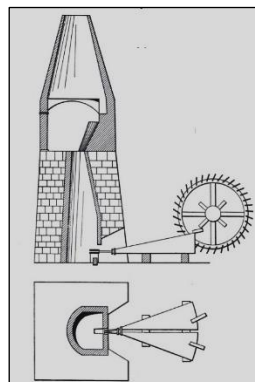


Abb. 42: Steirischer Stuckofen aus JOHANNSEN (1925).

Die Verfahrenstechnologie – Metallurgische Grundlagen

Die Verhüttung erfolgt grundsätzlich nach dem Prinzip des Zusammenführens von Erz und Reduktionsstoff sowie das Erhitzen der Komponenten bis zur Reaktionstemperatur. Der Kohlenstoff verbindet sich dabei mit dem Sauerstoff der Erze, dieses reduzierend und sich selbst zu Kohlenmonoxid oxydierend, dieses wirkt ebenfalls reduzierend, selbst zu Kohlendioxid verbrennend. Die Erzeugung der nötigen Wärme wurde bereits im vorigen Abschnitt behandelt.

Reaktionsabläufe der Verhüttung

Eisen – Sauerstoff

Eisenerze sind in der Regel Eisen-Sauerstoff-gemische. Das Eisenoxyd Fe_2O_3 und das Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4 sind bei Normaltemperatur stabil, während das Eisenoxydul FeO in freier Form nur über einer Temperatur von 575 Grad Celsius existenzfähig ist. Unterhalb dieser Temperaturbarriere zerfällt es, wenn sich das Gleichgewicht einstellt, zu Eisen (Ferrit) und Eisenoxyduloxyd. In Berührung mit flüssigem Eisen werden Fe_3O_4 und Fe_2O_3 zu Eisenoxydul reduziert. Der Schmelzpunkt des Eisens von 1538 Grad Celsius wird durch Sauerstoff um maximal zehn Grad Celsius erniedrigt.

Eisen - Kohlenstoff

Kohlenstoff verbindet sich in flüssigem Eisen zu Eisencarbid Fe_3C . Mit steigendem Kohlenstoffgehalt nimmt die Schmelztemperatur bis zum Eutektikum bei 4,3 Prozent Kohlenstoff, dem Ledeburit, um fast 400 Grad Celsius ab. Bis zu 1,7 Prozent Kohlenstoff scheiden sich an der Liquiduskurve Mischkristalle ab. Bis zur maximalen Löslichkeit des Kohlenstoffes ist unterhalb des Schmelzpunktes das Eisen verformbar, bei höheren Kohlenstoffgehalten, also einer Übersättigung, nimmt der entstehende Ledeburit dem Eisen die Verformbarkeit.

Kohlenstoff - Sauerstoff

Kohlenstoff reagiert mit Sauerstoff zu einem Kohlenoxyd-Kohlensäure-Gemisch, dessen Zusammensetzung arbeitsprozessbedingt variieren kann. Bedingt durch die höhere Menge von C oder O strebt das System das Gleichgewicht an. Beim Verhüttungsprozess liegt der Fall des Sauerstoffüberschusses nicht vor, denn der Erzsauerstoff soll im Hüttenprozess gebunden werden, was durch einen Überschuss an Kohlenstoff eingeregelt wird. Höhere Sauerstoffgehalte kommen lokal, beispielsweise an den Eintrittsstellen der Windzuführung, vor. Hierbei reagiert in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit nur die äußere Zone der Kohlenstückchen, wobei sich anfangs nur Kohlensäure bildet, welcher sich aber dann mit weiterem Oberflächenkohlenstoff zu Kohlenoxyd umsetzt und letztendlich einem Kohlenstoffüberschuss entspricht (DURRER 1954).

Eisen - Sauerstoff - Kohlenstoff

Dieses ternäre System fasst die vorher beschriebenen drei binären Systeme in der Formel $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$ zusammen und ist die Grundlage der Eisengewinnung. Alle Vorgänge in der Eisenverhüttung folgen dieser Formel, um das Metall zu erhalten.

Diese Formel ist auch die Grundlage später entwickelter Verhüttungsverfahren.

Verhalten weiterer Elemente

Das Prinzip der Eisengewinnung beruht wie vorher beschrieben auf dem Dreistoffsystem Eisen-Sauerstoff und Kohlenstoff, um das Erz in metallisches Eisen zu überführen. Abgesehen von diesen Basiselementen treten bei der Eisenverhüttung (je nach Herkunft des verwendeten Roherzes) weitere Elemente auf, die Spuren, oft sulfidischer Beimengungen bei der Verhüttung abgeschieden oder im gewonnenen Eisen eingebunden werden (und von diesem schwer zu trennen sind). Im folgenden Teil sollen die relevanten vorkommenden Beimengungen der Schmelzöfen am Stambach näher betrachtet werden.

Die ständigen Eisenbegleiter

Silizium Si (Schmelztemperatur 1410°C – Siedetemperatur 2355°C):

Silizium kommt in Form von Kieselsäure als Bestandteil der Erze in den Möllern. Ihre Reduktion erfordert hohe Temperaturen.

Mangan Mn (Schmelztemperatur 1244°C – Siedetemperatur 2097°C):

Mangan ist in allen Eisenerzen enthalten. Die höheren Manganoxyle werden schon unter leicht reduzierenden Bedingungen zu Manganoxydul reduziert, dessen Reduktion schwieriger ist, als jene der Eisenoxide, jedoch leichter als die der Kieselsäure. Im Gegensatz zu Silizium erhöht Mangan das Lösungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff. Bei Anwesenheit von Eisen beginnt die merkliche Reduktion bereits bei zirka 900 Grad Celsius.

Phosphor P (Schmelztemperatur 44°C – Siedetemperatur 280°C):

Phosphor wird beim Verhütten weitgehend in das Eisen überführt (DURRER 1954).

Schwefel S (Schmelztemperatur 113°C – Siedetemperatur 444,7°C):

Der Schwefel ist bei der Verhüttung ein Feind des Eisens. Dies bedeutet, dass der Schwefelgehalt möglichst niedrig zu halten ist, respektive soll schwefelarmer Rohstoff verwendet werden, oder eine Schwefelabscheidung-zum Beispiel durch Rösten-als Vorbehandlung installiert werden. Der Schwefel gelangt mit der Beschickung in den Ofen und verteilt sich auf Eisen, Schlacke und Gas. Das Eisen kann den Schwefel in Form von Eisensulfid bis zu 36,5 Prozent lösen. Die Schmelzen neigen jedoch schon bei geringem Zusatz von Kohlenstoff und Phosphor zur Entmischung. Das Schwefelproblem wurde mit dem Ersatz von Holzkohle durch schwefelhaltige Steinkohle oder die Eisengewinnung aus pyritischen Erzen schlagend. Beim Verhütten zur Betriebszeit im Stambachtal wurden Holzkohle und Spateisenstein sowie limonitische Erze verarbeitet, dadurch war kein Abrösten des Fördergutes notwendig, und es war den damaligen Hüttenleuten möglich, ohne Rücksicht auf den Schwefel zu arbeiten.

Begleitmetalle aus dem Liefergebiet für die Stambachhütte

Arsen As (Schmelztemperatur 613°C – sublimiert bei 616°C)

Arsen geht beim Verhüttungsprozess zum größten Teil in das Eisen über. Höhere Gehalte können ungünstigen Einfluss ausüben, eventuell vorhandener Schwefel kann die negativen Effekte verstärken. Antimon verhält sich ähnlich dem Arsen.

Blei Pb (Schmelztemperatur 327,4°C – Siedetemperatur 1740°C)

Die Eisenerze des Liefergebietes der Stambachhütte enthielten allesamt Blei in unterschiedlicher Konzentration. Blei wird beim Verhütten wesentlich leichter als Eisen in das Metall überführt. Soweit es nicht verdampft, sammelt es sich als spezifisch schweres Metall unter dem Eisen in der Ofengrube an. Das Metall kann dann entweder mit dem Eisen oder wegen der Dünnschmelzbarkeit durch besondere Kanäle abgelassen werden. Verdampftes Blei bildet entweder Ablagerungen an kühleren Teilen des Schlotes oder verlässt den Verhüttungs-ofen als Oxyd mit dem Gichtstaub oder in geringem Umfang als Metall. Blei ist in flüssigem Eisen nur ganz wenig, in festem Eisen praktisch gar nicht löslich.

Zink Zn (Schmelztemperatur 419,6°C – Siedetemperatur 907°C)

Zink findet sich in den verwendeten Erzen zum Teil als Zinksulfid (Zinkblende) sowie als Oxydationsprodukte desselben in verschiedener Konzentration. Zinkverbindungen werden im Ofenbetrieb praktisch vollständig zu metallischem Zink reduziert und bei den in der Brennkammer herrschenden Temperaturen verflüchtigt, kondensiert in den oberen kühlen Ofenzonen wieder und wird bei etwa 500 Grad Celsius weitgehend oxydiert. Ein Teil des feinen Zinkstaubes wird mit der Gicht aus dem Ofen als Flugstaub abtransportiert, der andere Teil fällt in den Ofen zurück und dringt dort in das Mauerwerk ein und bildet unerwünschte Ablagerungen (Ansätze). Zink hat in größerer Menge ungünstigen Einfluss auf die Schlacke, welche durch das Zink zäher wird.

Zuschlagmittel im Hüttenprozess

Von den möglichen Zuschlagstoffen ist für die Stambachöfen Kalkstein die wichtigste Komponente. Reiner Kalk erfüllt als Zuschlag zwei Aufgaben:

- Durch den Zusatz von Kalk wird die sich bildende Schlacke gut flüssig gehalten, er dient also als Flussmittel.
- Es werden die geringen vorhandenen Schwefelmengen noch weiter reduziert.

Für selten vorkommende, zu basischen Möllern kommt theoretisch kieselsaures Material als Zuschlag in Betracht. Dafür und für andere mögliche Zuschläge fanden sich aber im Gelände keine Belege.

Die Verhüttungsnebenprodukte

Metallurgische Schlacken setzen sich in der Regel aus fünf Komponenten zusammen:

- Erz
- begleitende Ganggesteine
- Ofenbaumaterial
- Brennstoffreste und deren Asche
- Flussmittel und Schlackenbildner

Ob oder inwieweit Flussmittel oder Schlackenbildner zugesetzt wurden, lässt sich meist gegen Ende der archäometallurgischen Untersuchung feststellen. Es kann auch vorkommen, dass die Schlackenbildner bereits über die begleitenden Ganggesteine miteingebracht werden.

Die Schlackenhalde enthält Verhüttungsprodukte verschiedenster Form, Zusammensetzung und variablem Metallgehalt. Unter dem Begriff Schlacken werden nach GOLDENBERG (1996) silikatische Produkte, welche beim Hüttenprozess oder der Weiterverarbeitung von Metallen anfallen, zusammengefasst. Das Fundspektrum des Schmelzplatzes im Stambachtal kann im Wesentlichen in drei unterschiedliche Materialgruppen eingeordnet werden (SCHÖNER et al. 2003): Fließschlacken, heterogene Schlacken und ein glasig poröses Material, entstanden durch die thermische Reaktion an der Ofenwand mit der Schmelze (dies zählt nicht zu den Schlacken im eigentlichen Sinne). Diese drei Materialgruppen können miteinander verschmolzen sein oder kontinuierlich ineinander übergehen.



Abb. 43: Mag. M. MAYR bei der Probenname an der Schlackenhalde Stambach.
In der linken Bildhälfte Mitte ist eine Ascheschicht mit Schlacke aus der Verhüttung zu sehen.
Foto: P. Arthofer, Steyr

Durch SPERL wurden 1986 Versuche durchgeführt, die ein genaueres Bild der Schlackentypen und deren Genese erbrachten. Die Lupe liegt vor der Düse, der darunterliegende Schlackenkuchen ist oft reich an metallischem Eisen, wurde daher früher oft wieder aufgegeben, also dem Schmelzprozess wieder zugeführt (z.B. die "Ofensau" Feistawiese).

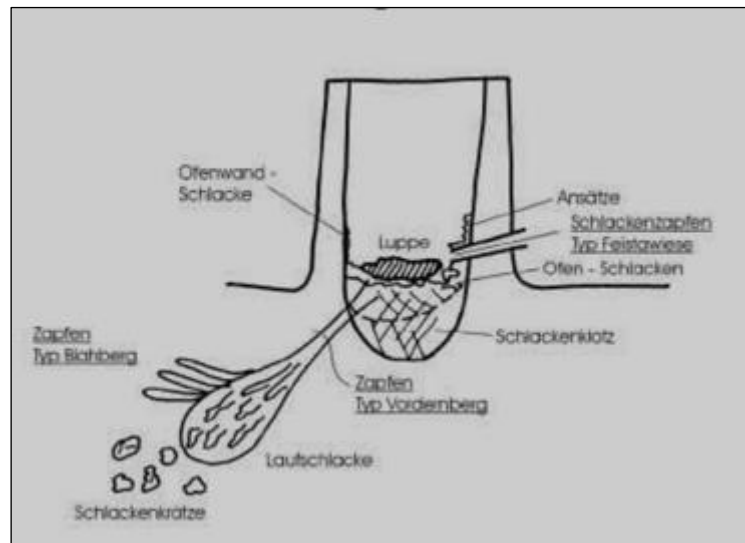


Abb. 44: Übersicht der Schlackentypen, die bei Ausgrabungen von Rennöfen im Alpenraum festgestellt wurden, ohne Berücksichtigung des Aussehens der Stambachschmelze. aus GALIK (2003)

Laufschlacken

Dunkelgraue bis graugrüne plattige Schlackenstücke mit vielen Blasen Hohlräumen, Fließ- oder Laufschlacken sensu SPERL (1980), kommen am häufigsten vor. An der Oberseite sind oftmals bis fingerdicke Fließstränge ausgebildet, wie sie auch von extrem dünnflüssigen Pahoehoe-Laven bekannt geworden sind. Meist sind die Oberflächen glasig- glatt, gelegentlich von weißen Karbonatabscheidungen überzogen. Die Unterseiten sind teilweise runzelig ausgebildet und es haften immer kleine Gesteinsbruchstücke aus dem Schlackenablaufkanal an. Die Bruchflächen dieser Schlackenstücke zeigen einen lagig-schichtweisen, übereinander geflossenen Aufbau. Einzelne Fließstränge erinnern im Querschnitt an winzige Pillows aus Kissenlaven. Schlacken mit hoher Dichte sind nach PLEINER (2000) typisch für die Verhüttung in Rennöfen.



Abb. 45: Laufschlacke Stambach. Rechts die Oberseite mit Fließsträngen, links die Unterseite mit eingebackendem Splitt des Ablaufkanals. Sammlung: Verfasser

Heterogene Schlacken

Dieser Schlackentyp besitzt eine relativ große Variationsbreite im Habitus. Im Regelfall ist keine ausgeprägte Fließstruktur zu beobachten, sondern raue zellig aufgebaute Außenflächen. Dieser Schlackentyp ist durch den Gehalt zahlreicher Holzkohlestückchen beziehungsweise Abdrücken davon charakterisiert. Oftmals sind diese Schlackenstücke rostig verwittert und weisen eine besonders hohe Dichte auf, die sich durch den Gehalt metallischen Eisens in Form von Tropfen oder Schlieren begründet. Die genannten Kriterien weisen darauf hin, dass diese Schlacken im inneren des Ofens erstarrt sind. Die Schlacke unterhalb der Luppe (welche vor der Düse liegt) ist besonders reich an Eisen und wurde oftmals als „Ofensau“ bezeichnet, welche oftmals im darauffolgenden neuen Schmelzprozess wieder zugesetzt. Die von FRÖHLICH et al. (1987) angegebenen Kriterien der Definition für Schmiedeschlacken treffen auf keine der untersuchten Proben zu.



Abb. 46: Heterogene Schlacke, Schlackenplatz Stambach. Sammlung der Verfasser.

Glasig-poröses Hüttenprodukt

Schaumartige größere Schlackenbrocken mit kleinen extrem zahlreichen Poren, relativ niedriger Dichte und geringem Metallgehalt (an Bimsstein erinnernd) stellen den dritten Materialtyp dar. In einer glasigen Grundmasse mit grauer, beiger, brauner oder violetter Färbung sind kleine Gesteinsbruchstücke eingesintert. Die Proben wirken partiell inhomogen brekzienartig, da sie aus unterschiedlich gefärbten und ausgebildeten Klasten aufgebaut sind. Gelegentlich lässt sich an leicht abbröckelnden Randbereichen rot bis orange gefärbter gebrannter Lehm feststellen. Gelegentlich lassen sich auch im porösen Material kleinste Holzkohlenreste feststellen. Dieser Materialtyp wird von SCHÖNER et al. (2003) als Reaktionsprodukt zwischen Ofenwandung und der Schmelze gedeutet. Relikte der geschmolzenen Ofenwand gehören nach TYLECOTE (1992) wie die beiden vorgenannten Materialgruppen zu den typischen Produkten des Rennfeuerprozesses.



Abb. 47: Glasig-poröses Hüttenprodukt, links brekziös mit Übergang zur heterogenen Schlacke, Schmelzplatz Stambach. Sammlung: Verfasser

Schlackenzapfen

Ein Sondertyp der Schlacke wird nach SPERL (1986) durch Stücke von **Schlackenzapfen** repräsentiert. Es sind drei unterschiedliche Typen von Schlackenzapfen bekannt, welche in Versuchen differenziert werden konnten:

- Typ Feistawiese: eine in den Düsen erstarrte Schlacke. Dieser Typ konnte in einigen Exemplaren in der Schlackenhalde am Stambach als einziger nachgewiesen werden.
- Typ Blahberg: Hier handelt es sich um absichtlich gegossene Zapfen aus Schlacke.
- Typ Vordernberg: Eine zapfenförmige Flussschlacke, die entsteht, wenn der Abstich höher als das Niveau der Schlackenrube liegt und die Schlacke sich in einem bestimmten Viskositätsbereich befindet, der für die Zapfenbildung essentiell ist.



Abb. 48: Schlackenzapfen vom Typus Feistawiese, Schmelzplatz Stambach. Sammlung: Verfasser

Relikte des Ablasses von Blei und Zink als Verunreinigung:

Den Funden im Stambach nach wurde das Blei ähnlich der Laufschlacke durch eine eigene kleine Öffnung abgelassen. An der Unterseite der Metallplatten finden sich wie bei den Schlacken beschrieben das feine Material des Kanals eingebakken, die Oberseite der Metallobjekte weist eine Fließstruktur oder die ebene Fläche einer Erstarrungslacke auf.



Abb. 49: Abgelassenes Gemenge von Blei und Zink als unerwünschtes Nebenmetall, Schmelzplatz Stambach. Sammlung und Foto: Verfasser

Die mineralogische Zusammensetzung der Hüttenprodukte:

KEESMANN et al. (1982, 1984) definierten die mineralogische Zusammensetzung und die Kennzeichen der eisenreichen Schlacken über eine Paragenese aus Olivin, Wüstit, Spinell, Klinopyroxen und Glas beziehungsweise Feldspat und Melilith oder Leucit. Diese Phasenvergesellschaftung ist auch am Stambach zu diagnostizieren.

Die Laufschlacken sowie die heterogenen Schlacken ähneln sich in Bezugnahme auf Phasenbestand und Gefüge sehr, das glasig-poröse Produkt enthält keine Schlackenbildner.

Eisen in metallischer Form war in allen untersuchten Proben in kleinen Tröpfchen nachweisbar. Diese Eiseneinsprenglinge belegen, dass diese Schlacken aus einem Eisenverhüttungsprozess stammen, da relativ ähnliche Schlacken auch bei Buntmetallprozessen anfallen (Blei der Verhüttung am Leopold Stollen waren es Bleikügelchen). Die Hauptmasse des metallischen Eisens war in den Schlacken des heterogenen Typs festzustellen.



Abb. 50: Metallisches Eisen hell mit schwarzem Wüstit. Proben aus der Zone unterhalb der Luppe.
Maßstab in Zentimetern. Sammlung und Schliff: Verfasser

Fe²⁺O analog Wüstit ist in Form von idiomorphen Skelettkristallen mit rechtwinkeligem Gitter, oft auch als durchkreuzende Sterne oder Bäumchen, seltener als gedrungene Kristalle, anzutreffen. Auch Verwachsungen mit Fayalit (eisenreichem Olivin) und Leucit sind zu beobachten. Wüstit ist eine Hauptkomponente eisenreicher Schlacken.

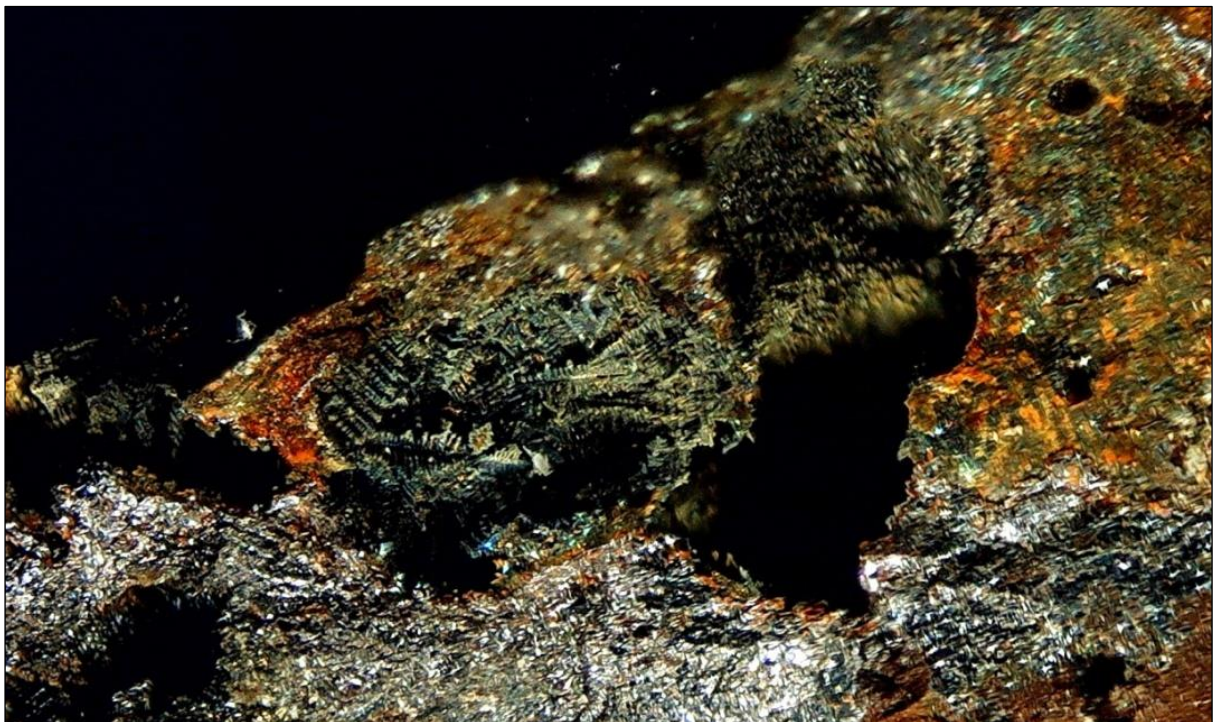


Abb. 51: Wüstitanalogon in Heterogener Schlacke unterhalb des Lupus, Bildbreite 1,5 Millimeter,
Schlackenhalde Stambach. Fund und Foto: Verfasser

Olivingruppe

Ein weiterer Hauptgemengteil aller Schlacken ist **eisenreicher Olivin (Fayalit) $\text{Fe}_2^{2+}\text{SiO}_4$** . Die fein- bis grobkörnigen, tafeligen Skelettkristalle bilden entweder regellos sperrige Gefüge oder wachsen in kristallographisch orientierten Fächern.



Abb.52: Fayalit-Analogon: In einem Hohlraum finden sich tafelige Kristalle im Spinifex-Habitus und bauen dabei ein Kartenhausgerüst auf. Typisch für schnell abkühlende, niedrigviskose Schmelzen. Schlackenplatz Stambach, Bildbreite 2 Millimeter. Fund und Foto: Verfasser

Von SCHÖNER et al. (2003) wird als Nebengemengteil der Eisenschlacken aus Bayern Monticellit beschrieben. In den Proben vom Stambach konnte diese Phase mehrfach im Probematerial festgestellt werden. Auch hier liegt diese Phase in Form von Ca-reichen Randsäumen am Fayalit vor. Leicht zu übersehender Leucit ist auch hier ein charakteristisches Begleitgemengteil in vielen Schlackenproben mit überwiegend kotekischem Gefüge mit Wüstit.

$\text{Fe}^{2+}_4\text{Fe}^{3+}_2(\text{OH})_{12}[\text{CO}_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ analog Fougerit/Trébeurdenit

An Blasen Hohlräumen und Schwundrissen bilden sich als Alterations- oder Oxidationsprodukte Goethit und Pseudomorphose nach Fougerit und Trébeurdenit wie schon von der Schlackenhalde am Leopold Stollen beschrieben, hier jedoch in größerer Quantität und höherer Qualität. Die Kristallisationsfolgen in den Schlacken sind sehr komplex zu betrachten. Das liegt unter anderem daran, dass Schmelzen welche sehr schnell abgekühlt worden sind, sich nicht unbedingt an die Phasengleichgewichte halten.

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ analog Gips

Diese Phase konnte in den Hohlräumen der Schlacke vom Stambach sehr selten in Form von tafelig gestreckten Einzelkristallen, nicht verzwilligt in heterogener Schlacke festgestellt werden.

Zusammensetzung des Ablassmaterials der Blei- und Zinkverunreinigung

Von diesen - in nur wenigen Belegstücken vorhandenen Abfällen - wurden Probestückchen in Kunstharz eingegossen, poliert und mittels EDX auf ihre Zusammensetzung hin untersucht.

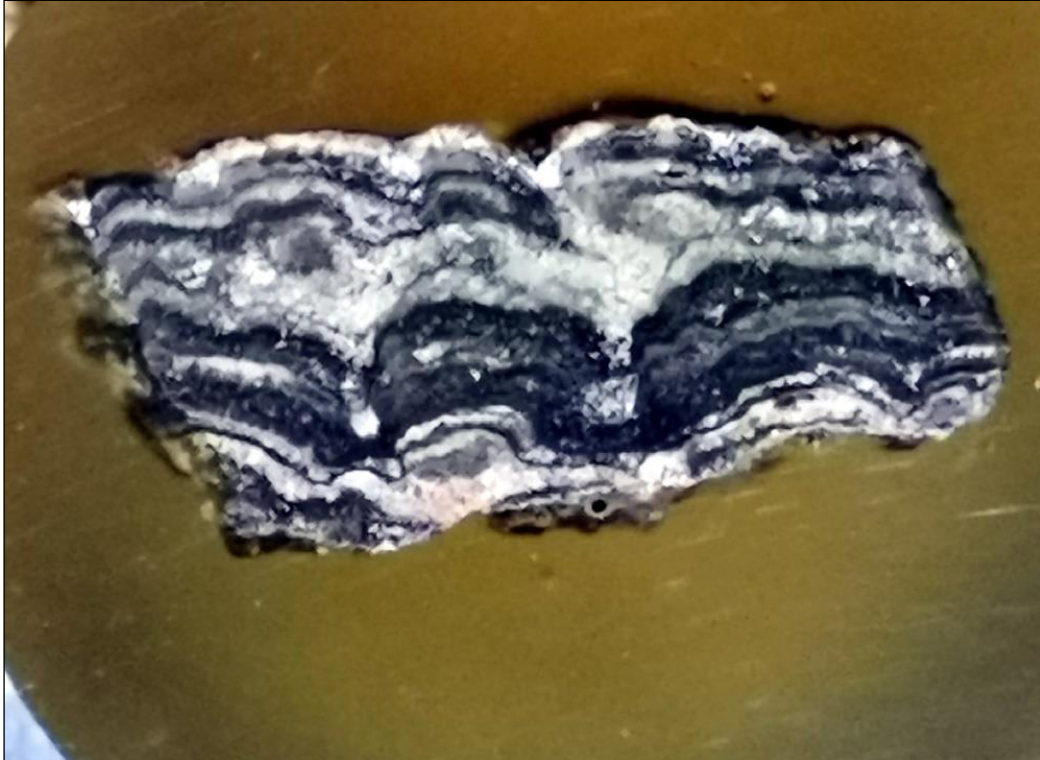


Abb. 53: Präparat vom Querschnitt des Blei-Zinkabfalles des Schmelzplatzes.
Wechselagerung blei- und zinkhaltiger Phasen. Stambach.
Sammlung, Foto und Probenbearbeitung: Verfasser

Makroskopisch war am Rohmaterial die bereits erwähnte fließende Struktur auffällig, welche auch im Inneren durch lagigen Aufbau am Probenquerschnitt sichtbar wird. Dieser Aufbau entsteht einerseits durch die langsame Steigerung der Temperatur im laufenden Schmelzprozess zum Liquidus der Beimengungen und Hauptkomponenten, andererseits durch das Nachsinken der Ofenbeschickung im Ofenschacht in die heißere Zone. Auch der wechselnde Gehalt an schmelzbaren Verunreinigungen (Nebenmetalle) sowie die Metallmenge nach Metallart sind für diesen Aufbau wesentlich. Der oben abgebildete Querschnitt ist in der korrekten Position der ehemaligen Materialausbringung. Die Schichten wurden von unten nach oben angelagert. Schichten aus Blei und Zink sind rhythmisch aus der Brennkammer abgeleitet worden. Als erstes ist Blei ausgetreten (siehe Erläuterung zum Schmelz- und Siedepunkt), danach die zinkreichere Phase. Die oberste und unterste Zone - im Bild durch gelbliche und rötliche Partien gekennzeichnet - waren ehemals bleireiche Partien, welche durch die Liegedauer im Haldenmaterial zu den Analogien von **PbO** Massicotit, **PbO** Lithargit und **PbCO₃** Cerussit umgewandelt worden. Die dunkleren Lagen des Schliffes bestehen im Inneren aus **PbCO₃** analog Cerussit und feinverteiltem reliktschem Blei. Bei den hellen Lagen handelt es sich um ein Reaktionsprodukt des Zinks, welches relativ leicht mobilisiert wird und in das Analogon von Smithsonit **ZnCO₃** überführt wurde.

Bei der Durchmusterung des Schliffes mittels EDX fielen in den Zonen des Smithsonitanalogons neben Spots von **PbCO₃** einzelne seltene Bereiche einer chlorhaltigen Phase, ähnlich einem Laurionit/Paralaurionitanalogon, jedoch mit einem wesentlich geringeren Chlorgehalt im Bereich von sieben Atomprozent auf, die bedingt durch geringe Menge an Probematerial stehen noch weitere Details aus.

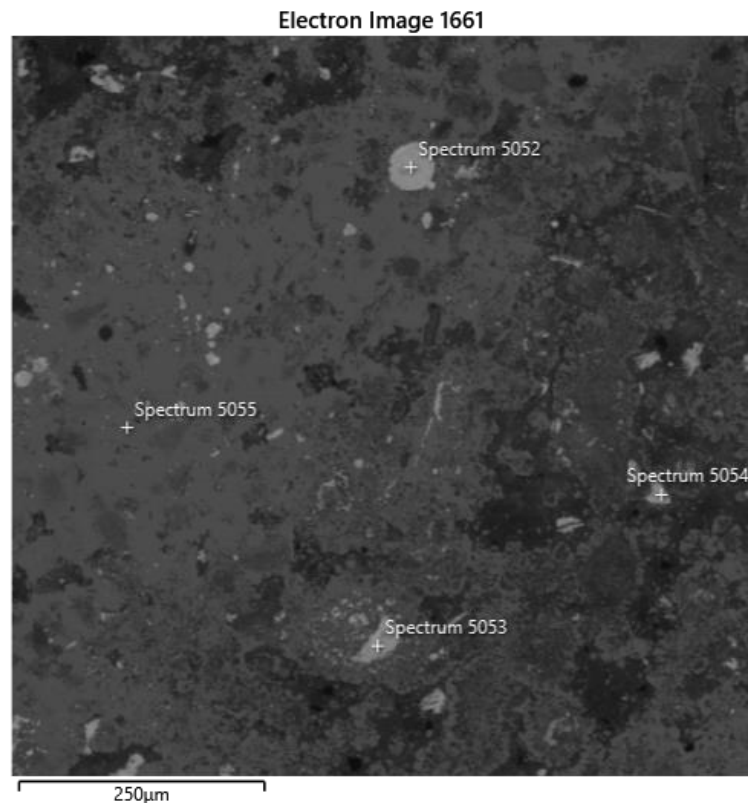


Abb. 54: Anschliff des Blei- und Zinkabfalles, Bildgebung mittels EDX.
Smithonitanalogon (5055), Unbestimmte chlorhaltige Phase (5053), Cerussitanalogon (5052 und 5054).
Schliffherstellung und Sammlung: Verfasser.

Weitere Phasen sind derzeit noch in mineralogischer Bearbeitung. Über die Ergebnisse werden die Verfasser in dieser Schriftenreihe berichten.

Besonderer Dank gebührt folgenden Personen, die zum Entstehen dieser Seiten beigetragen haben: DI Michael Lanthaler und DI Thomas Leitner, beide Salinen Austria; Mag. Michael Mayr, Bergbaugeologe, Bad Ischl; Revierleiter Michael Schoberleitner, Österreichische Bundesforste; Horst Feichtinger, Perneck mit allen Mitgliedern der Via Salis Bad Ischl; DI Johann Kranabtl, Hallein; Ing. Petr Paulis, Kutna Hora, CZ; Michael Hoffelner, Waidhofen/Ybbs; den Mitgliedern des Landesvereins für Höhlenkunde in Oberösterreich, vor allem Maria und Hermann Kirchmayr, Gmunden und Ing. Siegfried Gottinger, Eidenberg.

Literaturverzeichnis:

- AIGNER, A.: Über das Vorkommen von Schwefelkies im Ischler Salzberge.
Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen, Jg. 26, S. 270-271, Wien 1878
- ANTES, L., LAPP, S.: Die Spateisenstein- und Sulfidvererzung im Hallstätter Dolomit an der Südflanke des Ischler Salzberges.
Diplomarbeit an der Montanuniversität Leoben, 48 S. 10 Taf., 24 Abb., Leoben 1962
- ARTHOFER, P., KAPPELLER, A.: Der Salzbergbau von Perneck bei Bad Ischl in Oberösterreich und das darüberliegende Eisen- und Bleiglanzvorkommen der Sudhüttenwand am Ischler Salzberg.
Montanhistorischer Teil.
OÖ Geonachrichten 35, 27-65. Linz 2020
- BREUER, K.: Mineralogisch-petrographische Beobachtungen an Vorkommen um Bad Ischl, Oberösterreich und Salzburg.
Hausarbeit aus Naturgeschichte, 75 S. Salzburg 1971
- CERNY, I.: Die karbonatgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten des alpinen und außeralpinen Mesozoikums – Die Bedeutung ihrer Geologie, Stratigraphie und Faziesgebundenheit für Prospektion und Bewertung.
Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., 11, 5–125, Wien 1989

- DICKLBERGER, A.: Systematische Geschichte der Salinen Oberösterreichs. 1817.
Manuskript im OÖ Landesarchiv.
- DURRER, R.: Verhütten von Eisenerzen.
159 S. 2. Aufl. Verlag Stahleisen Düsseldorf 1954
- FENNINGER, A. & HÖTZL, H.: Die Hydrozoa und Tabulozoa der Tressenstein- und Plassenkalke (Ober-Jura).
Mitt. Museum Bergbau, Geol. Technik Landesmus. Joanneum, 27, 1–61, Graz 1965.
- FENNINGER, A. & HÖTZL, H.: Die Mikrofauna und -flora des Plassen- und Tressensteinkalkes der
Typuslokalitäten (Nördliche Kalkalpen).
N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 128, 1–37, Stuttgart 1967.
- FLURL, M.: Beschreibung der Gebirge von Bayern und der oberen Pfalz mit..., 1792
Reprint VFMG e.V. 1972.
- FREH, W.: Eisenbergbau im Lande ob der Enns.
OÖ. Heimatblätter, Jg. 3, H. 3, S 193-205, Linz 1949
- FRÖHLICH, F.; ROSE, D. & ENDLICHER, G.: Mineralogische Typisierung mittelalterlicher Eisenschlacken
aus der Grabung im Regensburger Dom. In: Die Oberpfalz, ein europäisches Eisenzentrum,
Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern, 12(1), 59–70, Amberg 1987
- GALIK A.: Zu den Schlacken aus Feldkirchen.
In: Feldkirchen in Kärnten: Ein Zentrum norischer Eisenverhüttung.
Österr. Akad. D. Wiss. Bd. 310, 94S. Wien 2003
- GAWLICK H.-J., SCHLAGINTWEIT F., MISSONI S.: Die Barmsteinkalke der Typlokalität nordwestlich
Hallein (hohes Tithonium bis tieferes Berriasium; Salzburger Kalkalpen) - Sedimentologie,
Mikrofazies, Stratigraphie und Mikropaläontologie: neue Aspekte zur Interpretation der
Entwicklungsgeschichte der Ober-Jura-Karbonatplattform und der tektonischen Interpretation der
Hallstätter Zone von Hallein – Bad Dürnberg.
Neues Jahrb. Geol. Paläontol. Abh., 236: 351-421, Stuttgart 2005
- GOLDENBERG, G.: Archäometallurgische Untersuchungen zur Entwicklung des Metallhüttenwesens im
Schwarzwald. Blei-, Silber- und Kupfergewinnung von der Frühgeschichte bis zum 19. Jahrhundert.
In: GOLDENBERG, G., OTTO, J., STEUER, H. [Hrsg.] : Archäometallurgische Untersuchungen zum
Metallhüttenwesen im Schwarzwald, 9–274; Sigmaringen 1996
- GOSE, J.: „Eisenerz“ Sudhüttenwand, Bad Ischler Salzberg
Unveröff. Gutachten, 8 S. Erlangen 2016
- GÖTZINGER, M.A.; GRUM, W.: Die Pb-Zn-F-Mineralisation in der Umgebung von Evaporiten der nördlichen
Kalkalpen, Österreich. Herkunft und Zusammensetzung der fluiden Phase.
Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr. Jg. 38, S. 47 – 56, Wien 1992
- GÖTZINGER, M.A.: Mineralisationen in den Gutensteiner Schichten (Anis) in Ostösterreich, ein Überblick.
Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., 6, 183–192, Wien 1985.
- GÜMBEL, C.W.: Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges 1961
Reprint Verlag Dr. Friedrich Pfeil 1998.
- HASLINGER, E.: Geologisch-Lagerstättenkundliche Untersuchungen von 7 Erzvorkommen im weiteren Raume
des südlichen Salzkammergutes.
Diss. Univ. Wien, 147 S. Wien 1962
- JOHANNSEN, O.: Geschichte des Eisens.
248 S. 2. Auflage, Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1925
- KEESMANN, I., BACHMANN, H.G. & HAUPTMANN, A.: Normberechnungsverfahren für eisenreiche
Schlacken.
Fortschr. Miner., 60, 110–111; Stuttgart 1982
- KEESMANN, I., BACHMANN, H. G. & HAUPTMANN, A.: Klassifikation eisenreicher Schlacken nach dem
Phasenbestand.
Fortschr. Miner., 62, 114–116, 1 Abb., Stuttgart 1984
- LAMPL, H.: Die Blei-Zink-Lagerstätte im Oberkarn des Arikogels als Teil des nördlichen Dachsteinblockes.
Diplomarbeit, Universität Leoben 2006.
- LAMPL, H., SCHLAGNITWEIT, F., GAWLIK, H.-J.: Die Blei-Zink-Vererzung des Arikogels (Nördliche
Kalkalpen, Salzkammergut) Jb. Geol. B.-A. Bd. 148, H.1, S. 107-113, Wien 2008
- LÄNTZSCH, M. K.: Die Blei-Zink-Lagerstätten im Wettersteinkalk der Nördlichen Kalkalpen im Raum Bad
Reichenhall – Inzell (Bayern).
Der Bergknappe, Jg. 39, Nr. 126/127, S. 152 – 171, Andeer 2015
- MAUCHER, A.: Zur „Alpinen Metallogenese“ in den bayrischen Kalkalpen zwischen Loisach und Salzach.
Inst. f. allgem. u. angew. Geol. und Mineralogie der Universität München 1953.
- MEDWENITSCH, W.: Die Geologie der Salzlagerstätten Bad Ischl und Alt-Aussee (Salzkammergut).
Mitt. Geol. Ges. Wien Bd. 50, S. 137-199, Wien 1957
- MEIXNER, H.: Neue Mineralfunde in den österreichischen Ostalpen XXIV. 303. Asphalt von „Eisenerz“
(Reinfalzalm) am Ischler Salzberg, Oberösterreich. Carinthia II, 163./83. Jahrgang, S. 101-139, Klagenfurt
1973
- MOSER, M., WAGREICH, M.: The stratotype of the Gutenstein Formation.
In: Pangeo Austria 2022, Ber. D. Geol. BA Bd. 143, S. 119, Leoben/Wien 2022

- PLEINER, R.: Iron in Archaeology: The European Bloomery Smelters.
400 S.; Archeologicky ústav AV CR, Prag 2000
- RAMDOHR, P.: Die Erzminerale und ihre Verwachsungen.
Akademie Verlag, 1277 S., 4. Aufl., Berlin 1975
- ROHN, J.: Geotechnische Untersuchungen an einer Grosshangbewegung in Bad Goisern (Oberösterreich)
Schr. Angew. Geol. Karlsruhe, Bd. 14, 193 S., Karlsruhe 1991
- SAWKINS, F. J.: Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics.
Minerals and Rocks Series, Bd. 17, 325 S. Springer, Heidelberg 1984
- SCHADLER J.: Die Ergebnisse der geologischen Neukartierung im Gebiete Ischler und Ausseer Salzberges.
Bg. Hm. Mon. H., 94, S. 56—60, Wien 1949.
- SCHAUBERGER, O.: Bau und Bildung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars.
Arch. f. Lagerst. Forsch., 7, 217–254, Geol. B.A., Wien 1986.
- SCHLAGINTWEIT, F., GAWLICK, H.-J., LEIN, R. : Die Plassen-Formation der Typlokalität (Salzkammergut, Österreich): neue Daten zur Fazies, Sedimentologie und Stratigraphie.
Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr. 46: 1-34, Wien 2003.
- SCHLAGINTWEIT, F., GAWLICK, H.-J., LEIN, R. : Mikropaläontologie und Biostratigraphie der Plassen-Karbonatplattform der Typlokalität (Ober-Jura bis Unter-Kreide, Salzkammergut, Österreich).
Journal of Alpine Geology, 47: 11-102, Wien 2005.
- SCHNEIDER, H.J.: Lagerstättenkundliche Untersuchungen am Oberen Wettersteinkalk der bayrischen Kalkalpen östlich der Loisach.
Inaugural Dissertation an der Ludwig-Maximilians Universität München 1953
- SCHÖNER, R.; SCHOLZ, H.; KRUMM, H.: Die mittelalterliche Eisengewinnung im Füssener Land (Ostallgäu und Außerfern): Neue Ergebnisse zum Abbau und zur Verhüttung der Eisenerze aus dem Wettersteinkalk.
Arch. f. Lagerstättenforsch. GBA, Bd. 24, S. 193-218, Wien 2003
- SCHROLL, E.: Ein Beitrag zur geochemischen Analyse ostalpiner Blei-Zink-Erze, Teil I
Mitt. Österr. Mineral. Ges., Sh. 3, 85 S., Wien 1954.
- SCHULTES, J.A. : Reisen durch Oberösterreich, in den Jahren 1794, 1795, 1802, 1803, 1804 und 1808.
I. Theil: 244 S., II. Theil: 198 S., Tübingen 1809.
- SMIRNOW, S. S.: Die Oxydationszone sulfidischer Lagerstätten.
312 S. Akademie Verlag, Berlin 1954
- SÖNNECKEN, M.: Die Mittelalterliche Rennfeuerverhüttung im märkischen Sauerland. Ergebnisse von Geländeuntersuchungen und Grabungen.
Landesk. Karten u. Hefte d. Geogr. Kommission für Westfalen, Reihe Siedlung und Landschaft in Westfalen, Bd.7, 197 S. Münster 1971
- SPERL, G.: Über die Typologie urzeitlicher, frühgeschichtlicher und mittelalterlicher Eisenhüttenschlacken.
Österr. Akad. Wissenschaften, Studien zur Industrie-Archäologie VII, 68 S. Wien 1980
- SPERL, G.: Aufgaben, Durchführung und Ergebnisse von Schmelzversuchen.
Ferrum- Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Jg. 57, S. 31-35, Schlatt 1986
- STEIGER, T.: Kalkturbidite im Oberjura der Nördlichen Kalkalpen (Barmstein Kalke, Salzburg, Österreich).
Facies, H. 4, 215-348, Erlangen 1981
- STRASSER, G.: Zur Vererzung (Fe – Zn – Pb – Cu – As) und tektonischen Position des Arikogels N Hallstatt.
Diplomarbeit , 108 S. Universität Wien 2008
- TAUPITZ, K. Chr.: Erze sedimentärer Entstehung auf alpinen Lagerstätten des Typs „Bleiberg“ Erzmetall. Bd.VII, H.8, S. 343-349, Stuttgart 1954
- TYLECOTE, R.F.: A History of Metallurgy.
205 S., 2. Aufl., Avon (The Institute of Materials) 1992
- VOZAROVA, A.; VOZAR, J.; MAYR, M.: High-Pressure Metamorphism of Basalts in the Evaporite Sequence of the Haselgebirge: An Evidence from Bad Ischl (Austria)
Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 56/1: 325-330, Wien 1999
- WEBER, L.: Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs.
Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A., 19, 607 S., Wien 1997
- WINTERLEITNER, G.: Stratigraphische und mikrofazielle Neuuntersuchung der Ober-Jura-Karbonatplattform-Resedimente und deren Unterlagerung im Bereich Zwerchwand-Hoher Rosenkogel (Bad Goisern, Österreich): Neue Erkenntnisse zur Vorhersage von Massenbewegungen im zentralen Salzkammergut.
Masterarbeit, Universität Leoben, 88 S. Leoben, 2009/10
- WITTERN, A.: Typische Mineralparagenese durch Feuersetzen.
Der Aufschluss Jg. 39, H. 5, S. 317-318, Heidelberg 1988
- WITTERN, A.: Sekundärminerale durch Feuersetzen in Oberschulenberg, Bönkhausen, Bleialf und Badenweiler.
Der Aufschluss Jg. 45, H. 1. S. 36-42, Heidelberg 1994
- WISSNER, H.: Geschichte des Kärntner Bergbaues. III. Teil: Kärntner Eisen.
Arch. f. vaterländische Geschichte und Topographie, Bd. 41/42, 353 S. Klagenfurt 1953

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Oberösterreichische GEO-Nachrichten. Beiträge zur Geologie, Mineralogie und Paläontologie von Oberösterreich](#)

Jahr/Year: 2022

Band/Volume: [37](#)

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. Die Abbaue im Eisenarz, der Aufschluss in der Stampfer Kehr und die Eisenverhüttung am Stambach bei Bad Goisern 11-67](#)