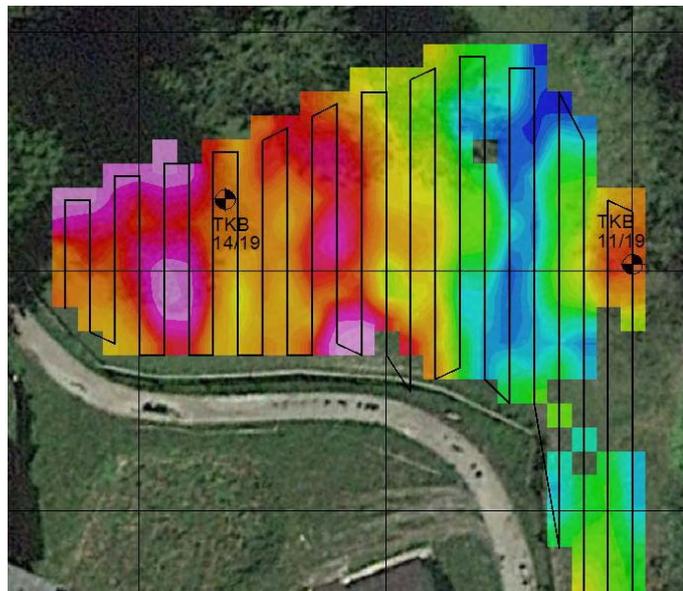




Projekt Ü-LG-69_2018/2019

Bundesweiter Ressourcenkataster für Sekundärrohstoffe aus der Rohstoffgewinnung und -aufbereitung (Bergbau-, Aufbereitungshalden) unter Berücksichtigung integrativer Untersuchungsmethoden (Geochemie, Geophysik, Mineralogie) in ausgewählten Testgebieten (Haldenressourcenkataster)

Jahresbericht 2018/2-2019



von

A.SCHEDL, CH. BENOLD, H. NEINAVAIIE, A. RÖMER,
K. MOTSCHKA, D. OTTOWITZ; G. HOBIGER & CH. AUER

50 Seiten, 33 Abb., 9 Tab., 1 Anh.

Wien, Jänner 2020

Projektleiter

A. SCHEDL

Mitarbeiter

CH. AUER
CH. BENOLD
G. HOBIGER
K. MOTSCHKA
H. NEINAVAIE
D. OTTOWITZ
A. RÖMER

Allen Mitarbeitern und beratenden Kollegen der FA Rohstoffgeologie, FA Geochemie und FA Geophysik sei an dieser Stelle herzlichst gedankt!

Die Durchführung des Projektes erfolgte im Rahmen des Vollzuges des Lagerstättengesetzes im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft.

Inhalt

Zusammenfassung	i
1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Durchgeführte Arbeiten im gegenständlichen Projektjahr 2018/2. Halbjahr und 2019	1
3. Darstellung der Untersuchungsergebnisse in den beiden Testgebieten Deutschfeistritz und Haufenreith	2
3.1. Testgebiet Schlackendeponie der Pb-Ag-Schmelzhütte Deutschfeistritz	2
3.1.1 Pb-Ag-Schmelzhütte Deutschfeistritz	2
3.1.2 Schlackendeponie	3
3.1.3 Geochemische und mineralogische Untersuchungen	6
3.1.3.1 Probenahme	6
3.1.3.2 Ergebnisse der geochemischen Untersuchungen	8
3.1.3.3 Ergebnisse der mineralogisch-mikrochemische Übersichtsuntersuchungen	16
3.1.4 Sekundäres Rohstoffpotenzial	17
3.1.5 Bodengeophysikalische Untersuchungen (Elektromagnetik-Messungen)	18
3.2. Testgebiet Aufbereitungshalde des Pb-Zn-Bergbaus Haufenreith	26
3.2.1 Aufbereitung Haufenreith	26
3.2.2 Aufbereitungshalde	29
3.2.2.1 Haldenmorphologie	29
3.2.2.2 Haldenzusammensetzung	30
3.2.3 Geochemische und mineralogische Untersuchungen	33
3.2.3.1 Probenahme	33
3.2.3.2 Ergebnisse der geochemischen Untersuchungen	35
3.2.3.3 Ergebnisse der mineralogisch-mikrochemische Übersichtsuntersuchungen	37
3.2.4 Sekundäres Rohstoffpotenzial	39
3.2.5 Geoelektrische Messungen im Rahmen begleitender Methodentests im Bereich der Auf- bereitungshalde Haufenreith	41
3.2.5.1 Methodik Geoelektrik	41
3.2.5.2 Ergebnisse Geoelektrik	43
3.2.5.3 Interpretation der Geoelektrik-Ergebnisse	48
4. Literatur	49

Anhang

Mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen

Zusammenfassung

Das gegenständliche VLG-Projekt zur Erstellung eines Haldenressourcenkatasters ist ein erster Beitrag zur bundesweiten Abschätzung dieser spezifischen sekundären Rohstoffpotenziale, wobei der Hauptfokus auf Rohstoffpotenziale der von der EU-Kommission 2017 als kritisch eingestuften Rohstoffe gelegt wird. Von rohstoffwirtschaftlichem Interesse sind dabei aber nicht nur strategische/kritische mineralische Rohstoffe und Metalle, sondern auch Restpotenziale begleitender Halden(haupt)wertstoffe, die ja ebenfalls einer rohstoffwirtschaftlichen Verwertung zugeführt werden müssen.

Nach den Hauptarbeiten für die Datenaufbereitung und Erstellung eines GIS-gestützten Haldenressourcenkatasters im vergangenen Projektjahr wurden im gegenständlichen Berichtszeitraum schwerpunktmäßig begleitende Arbeiten zur methodischen Weiterentwicklung integrierter Explorationsmethoden (Geochemie, Geophysik, Mineralogie) an ausgewählten Halden-Typsituationen durchgeführt. Damit soll der Routineeinsatz geophysikalischer und geochemischer Messverfahren (z.B. IP, SP, MP, EMI, mobile RFA) im Gelände und ergänzende mineralogisch-mikrochemische Laboruntersuchungen getestet werden.

Für diese Untersuchungen wurden zwei Testgebiete (Schlackendeponie Pb-Ag-Schmelzhütte Deutschfeistritz und Aufbereitungshalde Pb-Zn-Bergbau Haufenreith) in der Steiermark ausgewählt, bei denen bereits auf Teilergebnissen aus vorangegangenen Projekten der Geologischen Bundesanstalt aufgebaut werden konnte. Bisher noch nicht zum Einsatz kamen hingegen bei beiden ausgewählten Testgebieten geophysikalische Prospektionsmethoden, wobei sich die Methodenauswahl für die aktuellen Untersuchungen an den unterschiedlichen Standortsituationen orientierte.

Das Testgebiet westlich von Deutschfeistritz umfasst verdeckte, kleinflächige Schlackenablagerungen einer historischen Blei-Silber Schmelzhütte (2. Hälfte 18. Jh.). Diese konnten im Zuge einer Vorprojekts der Geologischen Bundesanstalt auf Basis einer geologischen-geochemischen Kartierung (mittels mobiler RFA) näher abgegrenzt werden. Der Hauptfokus der aktuellen ergänzenden Untersuchungen galt vor allem der Schlackendeponie im direkten Umfeld der ehemaligen Schmelzhütte.

Die Schlackendeponie im Zentrum der Schlackendeponie (rund 2.200 m² Gesamtfläche) liegt meist sehr seicht unter einer Boden-/Sedimentbedeckung von 15-20 cm bei variierenden Mächtigkeiten von 0,5 – 3, 5 m. Das Spektrum der Schlackentypologien reicht von grobstückigen, kantig brechenden, silikatischen Schlacken mit Einschlüssen von metallischen und sulfidischen Erzphasen, porösen metallarmen Schlacken, Plattenschlacken bis hin zu metallreichen Schmelzkuchenresten (Zn-reich).

Aus dem Bereich der ehemaligen Standorts der historischen Pb-Ag-Schmelzhütte Deutschfeistritz liegen aus verschiedenen früheren Untersuchungsprogrammen Beprobungen und geochemische Analytik von Bodenmaterial und Schlacken unterschiedlicher Zusammensetzung vor. In Ergänzung zu der geochemischen Kartierung mittels mobiler RFA in einem Vorprojekt wurden die meisten Proben nachträglich für das gegenständliche VLG-Projekt im Labor der GBA nochmals mit erweiterten Elementparametern analysiert.

Die anomal hohen Pb- und Zn-Konzentrationen betreffen insbesondere ein relativ kleines Gebiet im unmittelbaren Umfeld des historischen Hüttenstandorts, das in etwa auch dem Hauptverbreitungsgebiet der Schlackendeponie entspricht. Die Maximalgehalte in den unteren Profilabschnitten liegen für Blei bei 3,22 % und für Zink bei 0,8 %. In der Schlackendeponie östlich des Sägewerks sind die Höchstwerte (Maximalgehalte: Pb 5,2 %, Zn 4,3 %) auf kleinere Teilbereiche beschränkt. In östlichen Ablagerungsbereich sind die Ablagerungen stark gemischt (Schlacken, Abbruchmaterial etc.), die Verteilungsmuster in den Schwermetallgehalten variieren hier auch stärker. Die Zn-Konzentrationen sind aber im östlichen Ablagerungsbereich deutlich höher als im unmittelbaren Umfeld des ehemaligen Schmelzhüttenstandorts.

Systematische geochemische Untersuchungen an Schlacken, insbesondere repräsentative Beprobungen über die gesamte Schlacken-Mächtigkeit stehen noch aus. Die bisherigen Einzelmessungen zeigen extrem Zn-angereicherte Schlackentypen (Zn 6,3-14,2%) bei ebenfalls noch sehr hohen Pb-Gehalten (1,4-3,1 %). Da die Zielwertstoffe des Hüttenprozesses Ende des 18. Jh. vor allem Blei und Silber waren, ist Zink im Schlackenmaterial überproportional angereichert.

Zur Evaluierung der Trägerphasen für die Hauptwertstoffe Zink und Blei wurden flankierend auch mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen durchgeführt, wobei auch hier auf frühere, orientierende mineralogische Voruntersuchungen zurückgegriffen werden konnte. Für die hohen Bleikonzentrationen sind eine Reihe von geogenen und technogenen Phasen verantwortlich. Als Blei-Trägerphasen konnten Galenit, gediegen Blei, PbO₂, PbO_x, Pb-S-O_x,

Eisen-Bleisilikat und Eisen-Calcium-Phosphor-Silikat bestimmt werden. Zink findet sich vor allem in den Trägerphasen Sphalerit, Glasphase, Olivinmischkristalle und in feinstdispersiver Form in Ca-Silikaten.

Eine Abschätzung des gesamten sekundären Rohstoffpotenzials ist aufgrund der Überbauung, teilweise Versiegelung und heterogener Struktur des östlichen Teilgebietes beim derzeitigen Kenntnisstand nicht möglich. Für das westliche Deponieareal lässt sich bei einer durchschnittlichen Schlackenmächtigkeit von rund 0,8 m eine Gesamtmenge von rund 3.200 t Schlackenmaterial grob abschätzen. Auf Basis der geochemischen Durchschnittsgehalte (12 % Zn und 1,5 % Pb) bei den wenigen in situ-Messungen an Schlacken im Gelände entspräche dies beim gegenwärtigen Informationsstand einem grob geschätztem Gesamtrohstoffpotenzial von 380 t Zink und 48 t Blei im westlichen Teilbereich der Schlackendeponie. Eine Gewinnung dieses sekundären Rohstoffpotenzials ist aber aufgrund der geringen Substanzmenge außerhalb wirtschaftlicher Dimensionen.

Im Rahmen der begleitenden geophysikalischen Methodentest wurde die historische Schlackendeponie von Deutschfeistritz mittels geomagnetischer Induktionsmethoden (EMI) bodengeophysikalisch untersucht. Im vorliegenden Testgebiet wurden drei Teilbereiche mit unterschiedlichen Messkonfigurationen vermessen, wobei die Schlackendeponie unmittelbar südlich des ehemaligen Hüttenstandortes aufgrund der günstigen Rahmenbedingungen annähernd flächendeckende Kartierungsergebnisse erbrachte. Hohe Widerstände beziehungsweise geringe Leitfähigkeiten der 1. Schicht korrelieren hier mit grobkörnigem Material (Schlackenmaterial, Abbruchmaterial aus dem Hüttenstandort bzw. z. T. Grobablagerungen im Uferbereich des Übelbaches). Zur Kalibrierung der Messergebnisse liegen in diesem Teilmessgebiet Bohrdaten zweier Bohrungen aus aktuellen ALSAG-Untersuchungen vor, die eine sehr gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der aktuellen bodengeophysikalischen Untersuchungen zeigen. Im zweiten Teilmessgebiet im zentralen Bereich des Hüttenstandorts waren die anthropogenen Störungen zu stark, um ein vertrauenswürdiges Modell zu erstellen. Im dritten Teilmessgebiet wurden nur Übersichtsprofile vermessen. Die bisher gemessenen, etwas heterogenen Muster lassen auch hier kleinräumig zusammenhängende Ablagerungen von Schlacken bzw. Hüttenabbruchmaterial vermuten, für eine methodische Absicherung wäre hier ebenfalls ein dichter Messraster erforderlich.

Aus den bisherigen Erfahrungen beim aktuellen methodischen Test lässt sich generell bereits ableiten, dass sich EMI-Messverfahren sehr gut zur räumlichen Kartierung von abgedeckten Schlacken-/Haldendeponien eignen. Ein methodischer Einsatz bei ähnlich gearteten Standortsituationen ist geplant.

Beim zweiten methodischen Testgebiet handelt es sich um die Halde der Erzaufbereitung des Bergbaus in Haufenreith. Die ca. 300 m langgezogene, 4-30 m breite und 1-8 m hohe Halde befindet sich entlang der Straße zwischen Arzberg und Haufenreith am orographisch rechten Raabufer. Die Betriebsphase der Aufbereitung umfasst eine relativ kurze Zeitperiode (1909-1925). Die Aufbereitungshalde zeichnet sich zum überwiegenden Teil durch relativ hohe Wertstoffgehalte (Zn, Pb) aus, da der Wirkungsgrad der nassmechanischen Aufbereitung bis zur Inbetriebnahme der Flotationsanlage 1923 bei lediglich 50% lag. Die Kubatur der Halde beträgt nach groben Schätzungen über 10.000 m³.

Die entsprechend den verschiedenen Abtrennschritten der Aufbereitung komplex aufgebaute Halde setzt sich vorrangig aus fein- bis grobkörnigen Aufbereitungsabgängen zusammen, die eine auffallende Wechsellagerung im dm-Bereich zeigen. Im zentralen Topbereich der Halde liegt in Teilbereichen eine geringmächtige Schicht feinstkörniger Flotationsabgängen aus der letzten Betriebsphase der Aufbereitung. Die Halde zeigt nicht nur eine große vertikale Varianz, sondern dürfte auch im lateralen Verlauf große Korngrößen-/Materialunterschiede aufweisen.

Im Bereich der Aufbereitungshalde wurden bei verschiedenen Vorprojekten erste orientierenden Beprobungen an Haldenmaterial durchgeführt, die im Rahmen der aktuellen Untersuchungen durch zusätzlichen Proben für geochemische Untersuchungen (Gelände: mobile RFA, GBA-Labor: RFA, ICP-MS) sowie mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen (EMS, EDAX) ergänzt wurden. Eine durchgehende Beprobung des Haldenkörpers mittels Seichtbohrungen konnte im Bearbeitungszeitraum leider nicht durchgeführt werden.

Die analysierten Haldenproben zeigen erwartungsgemäß die für die Pb-Zn-Vererzung von Haufenreith typischen Elementmuster. Insbesondere erreichen dabei die Zn- und Pb-Gehalte extrem hohe Werte. Die Bandbreite bei Zink liegt meist zwischen 1,8 % und 7,8 %. In den schmalen Zwischenlagen mit tauben Aufbereitungsabgängen kann der Zink-Gehalt unter 0,6 % sinken. Die Pb-Gehalte liegen tendenziell etwas niedriger bei 0,1-5%. Eindeutig indikativ für die auftretende Buntmetallvererzung sind auch die Gehalte an Barium (bis 1961 ppm) und Cadmium (bis 201 ppm). Die Begleitmineralisation bestehend aus Pyrit, Chalkopyrit, Arsenopyrit, und Fahlerz zeigt sich auch in den variablen Gehalten an As, Cu, Co und Sb.

In der untersuchten Schwermineralprobe aus den wechsellagernden Aufbereitungsabgängen der nassmechanischen Aufbereitung ist Galenit die dominante Erzphase und tritt häufig in Paragenese mit Sphalerit, Pyrrhotin und Pyrit auf. In der nichtmagnetischen Fraktion sind sekundäre Zn- (Smithsonit, Hydrozinkit) und Pb-Mineralen (Cerussit) deutlich angereichert. Die Schwermineralprobe aus feinstkörnigen Haldenablagerungen (Flotationsabgänge) vom zentralen Haldentop zeigt hingegen Sphalerit als deutlich vorherrschendes Erzmineral. Trägerphasen für Zink sind in beiden untersuchten Proben neben Sphalerit und sekundären Zinkmineralen auch Galenit und Chalkopyrit, für Blei neben Galenit und Cerussit auch Chalkopyrit und Bournonit. Cadmium ist in den Hauptsulfidphasen Galenit und Sphalerit sowie in deren Sekundärphasen Cerussit und Hydrozinkit annähernd gleich verteilt, wird aber in den (Fe, Zn)-Hydroxiden deutlich angereichert.

Zur groben Abschätzung des sekundären Rohstoffpotenzials für Blei und Zink wurde der Haldenkörper der Aufbereitungsanlage in zwei Teilbereiche (nassmechanische Aufbereitung, Flotation) zerlegt. Auf Basis aktueller Analyse- und historischen Archivdaten ergibt sich ein geschätztes Gesamt-Rohstoffpotenzial für Blei von 1.110-1.300 t, für Zink von 1.200-1.350 t. Unter Berücksichtigung jüngst in Sphaleriten des Bergbaus Haufenreith gemessenen erhöhten Indium-Gehalten (Median-Wert 21 ppm) errechnet sich daraus ein theoretischer, maximaler Gesamtgehalt an Indium in der Halde von 283 kg, wobei vorausgeschickt werden muss, dass Zink in der Aufbereitungshalde nicht ausschließlich an Sphalerit gebunden ist.

Eine wirtschaftliche Nutzung des Restwertstoffpotenzials ist aus derzeitiger Sicht realistischerweise nicht zu erwarten. Falls bei diesem Standort lokale Sanierungsmaßnahmen erforderlich wären, könnten damit aber auch entsprechende Gewinnungskonzepte kombiniert werden.

Im Rahmen begleitender geophysikalischer Untersuchungen wurde mit zwei unterschiedlichen Messgeräten ein geoelektrisches Profil (Länge 290/294 m) über den gesamten Haldenkörper gemessen. Neben dem Parameter elektrischer Widerstand wurde auch der Effekt der induzierten Polarisation des Untergrundes bestimmt.

Die Ergebnisse der elektrischen Widerstandsmessungen widerspiegeln sehr gut die geologischen Verhältnisse des Untergrundes mit vorherrschenden Serizit-Chloritschiefern und einer markanten Karbonat-Zwischenlage. Den Hangendabschluss der geoelektrischen Profile bildet der maximal 8 m mächtige Haldenkörper. Die Haldenablagerungen zeigen keine homogene Verteilungsmuster, sondern sowohl eine laterale, als auch vertikale Differenzierung des elektrischen Widerstandes. Das entspricht auch dem in Aufschlüssen festgestellten und durch die vorgegebenen komplexen Aufbereitungsschritte bedingten sehr heterogenen Internaufbau der Aufbereitungshalde. Bei Betrachtung des Haldenkörpers bis zu dem vermuteten Tiefenbereich von ca. 8 m und mit besserer Detailauflösung zeigen sich im Haldenkörper durchaus interpretierbare Internmuster. Der SW-Bereich der Halde mit deutlich erhöhten Pb-Zn-Gehalten scheint sehr gut mit einem Profilverein mit höheren Werten der Aufladbarkeit zu korrelieren. Eine schmale Toplage mit niedrigeren Widerstandswerten im mittleren Bereich der Halde passt ebenfalls sehr gut zu geringmächtigen, sehr feinkörnigen Flotationsabgängen aus der letzten Phase der Aufbereitung.

Die geoelektrische Vermessung der relativ schmalen Aufbereitungshalde zeigt also relativ kleinräumige Verteilungsmuster, die vorrangig als Korngrößenphänomene zu betrachten sind, aber möglicherweise auch unterschiedliche Sulfidgehalte widerspiegeln. Zur Kalibrierung der bisherigen Messergebnisse wären aber ergänzende Seichtbohrungen mittels Handbohrer durchaus sinnvoll.

1. Einleitung und Zielsetzung

Das aus Mitteln des Vollzugs des Lagerstättengesetzes dotierte gegenständliche Projektvorhaben zur Erstellung eines bundesweiten Haldenressourcenkatasters ist ein erster Beitrag zur Abschätzung dieser spezifischen, sekundären Rohstoffpotenziale in Österreich, wobei auch hier wieder vorrangig der Fokus auf Rohstoffpotenziale kritischer Rohstoffe gelegt wird. Von rohstoffwirtschaftlichem Interesse sind dabei aber nicht nur strategische/kritische mineralische Rohstoffe und Metalle, sondern auch Restpotenziale anderer Wertstoffe in den Halden, die ja ebenfalls einer rohstoffwirtschaftlichen Verwertung zugeführt werden müssen. Der Haldenressourcenkataster dient daher einer ersten Orientierungshilfe für weiterführende Detailuntersuchungen von sekundären Rohstoffressourcen in Halden (Bergbau-, Aufbereitungshalden, Schlackendeponien). Begleitend dazu sollen aber auch integrierte Explorationsmethoden für eine rasche Erstbewertung an ausgewählten Typsituationen getestet werden.

Das gegenständliche Projekt verfolgt dabei folgende vorrangigen Teilziele:

- Schließung der Informationslücken und Erweiterung der Wissensbasis über sekundäre Rohstoff-/Wertstoffpotenziale in Bergbau-, Aufbereitung- und (Buntmetall-) Schlackenhalde im gesamten Bundesgebiet
- Integrierte Zusammenstellung, Auswertung und Neuinterpretation bundesweit vorhandener Daten über Sekundärrohstoffe in Halden (Haldenanalytik, Mineralogie, Bergbau-/Haldenkataster) in einem GIS- gestützten Fachinformationssystem
- Methodische Weiterentwicklung integrierter Explorationsmethoden für den Gelände-Routineeinsatz (Geochemie, Mineralogie, Geophysik) zur Abschätzung des Sekundär-Rohstoffpotenzials von Halden
- Anwendbarkeit geophysikalischer Untersuchungsmethoden für die Abgrenzung abbauwürdiger Haldenbereiche
- Bewertung konkreter Potenziale für ausgewählte Rohstoffe auf Basis aller vorhandenen Daten, insbesondere von Rohstoffen aus der erweiterten EU-Liste "Kritische Rohstoffe" (2014)
- Erstellung eines raumbezogenen Haldenressourcen-Katasters für ausgewählte Rohstoffe und Potenzial-Bewertung für eine mögliche Wiedergewinnung von Sekundärrohstoffen im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit der Nachhaltigkeit und unter Berücksichtigung aktueller Raumnutzungen

2. Durchgeführte Arbeiten im gegenständlichen Projektjahr 2018/2. Halbjahr und 2019

Nach den Hauptarbeiten für die Datenaufbereitung und Erstellung eines GIS-gestützten Haldenressourcenkatasters im vergangenen Projektjahr wurden im gegenständlichen Berichtszeitraum schwerpunktmäßig begleitende Arbeiten zur methodischen Weiterentwicklung integrierter Explorationsmethoden durchgeführt.

Bei der Durchführung der methodischen Schwerpunktarbeiten konnte auf mehreren vorangegangenen Projekten aufgebaut werden. Die Auswahl der beiden Testgebiete (Schlackendeponie Blei-Silber-Schmelzhütte Deutschfeistritz und Aufbereitungshalde Bergbau Haufenreith) basiert im Wesentlichen auf umfangreiche Vorarbeiten im Hinblick auf geochemischen und mineralogischen Untersuchungen beider Standorte. Bisher noch nicht zum Einsatz kamen hingegen bei beiden ausgewählten Testgebieten geophysikalische Prospektionsmethoden.

Die im Projektjahr durchgeführten Arbeiten umfassen im Wesentlichen folgende Arbeitsschritte:

- Auswahl geeigneter Testgebiete für gezielten Methodentest im Gelände (Aufbereitungshalde Pb-Zn-Bergbau Haufenreith, Schlackendeponie Pb-Ag-Hütte Deutschfeistritz) unter Berücksichtigung bereits vorhandener Vorarbeiten sowie unterschiedlicher methodischen Fragestellungen (Aufbereitungsabgänge, verdeckte Schlackendeponie)
- Weiterentwicklung von bereits etablierten Arbeitsmethoden (Geochemie, Mineralogie, Geophysik,) zur raschen und ökonomischen Bewertung von Bergbauhalden im Gelände unter Beachtung des späteren Methodeneinsatzes bei Routine-Bewertungen
- In-situ Messungen mittels mobiler RFA an Haldenmaterial (Deutschfeistritz, Haufenreith)
- Orientierende Übersichtsbeprobungen sowie Durchführung geochemischer/mineralogisch-mikrochemischer Übersichtsuntersuchungen (ICP-MS, RFA – Haufenreith, Deutschfeistritz, REM, EDX – Deutschfeistritz, EMS, EDAX - Haufenreith) an Halden und Schlacken (Flotations-/Aufbereitungsabgänge, Schlackendeponie)
- Charakterisierung des Haldeninhaltes hinsichtlich potenzieller Wertstoffe und deren Wertstoffgehalte
- Detailerkundung der ausgewählten Aufbereitungshalde und Schlackendeponie mittels geoelektrischer (elektrischer Widerstand, Induzierte Polarisation) bzw. elektromagnetischer Untersuchungsmethoden im Hinblick auf die Aufklärung von Mächtigkeit, innerer Zonierung/Strukturierung (primär oder sekundär), Stoffumlagerungen und Geometrie der Halde/Schlackendeponie
- Korrelation der Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen mit den Ergebnissen der geochemischen Analysen, Mineralgehalten und der beobachteten Ablagerungsstrukturen bzw. eventuell vorhandener Bohrdaten
- Abschätzung des Sekundär-Rohstoffpotenzials der untersuchten Halde/Schlackendeponie auf Basis aller bisher verfügbaren Informationen mit Teilfokus auf Kritische Rohstoff-Potenziale

3. Darstellung der Untersuchungsergebnisse in den beiden Testgebieten Deutschfeistritz und Haufenreith

3.1 Testgebiet Schlackendeponie der Blei-Silber-Schmelzhütte Deutschfeistritz

3.1.1 Blei-Silber-Schmelzhütte Deutschfeistritz

Die historische Blei-Silber-Schmelzhütte und die zugehörige Schlackendeponie liegen rund 750 m westlich von Deutschfeistritz (Abb. 1). Die Errichtung dieser dritten Schmelzhütte (Ötschelberg) im Feistritzer Raum, unmittelbar am Übelbaches gelegen, steht in einem ursächlichen Zusammenhang mit der Gewältigung des Friedrich-Stollens (Revier Friedrichsbau). Dieser wurde vom Gewerken Johann Nepomuk Heipl 1773 rund 200 m östlich des Areals der Schmelzhütte angeschlagen. Die Errichtung der Schmelzhütte erfolgte um 1775. Die Anlage hatte aber keine lange Betriebsdauer, da mit dem 1803 erfolgten Tod des Begründers Johann Nepomuk Heipl auch der Schmelzbetrieb eingestellt wurde. Daten über Produktionsmengen des Bergbaus und aus dem relative kurzzeitigen Schmelzbetrieb liegen nicht vor.

Strukturreste der Schmelzhütte sind nicht mehr aufgeschlossen, da das Gebiet durch diverse Nachnutzungen zum Teil überbaut wurde. Im Areal können aber immer wieder Schlackenreste und Mauerbruchsteine aus dem historischen Hüttenkomplex beobachtet werden.



Abb. 1: Areal der Schmelzhütte Deutschfeistritz/Ötschelberg; Urmappe des Franziszeischen Katasters (Steiermark 1820 – 1825; aus: SCHEDL et al. 2018)

3.1.2 Schlackendeponie

Im Zuge der geologisch-geochemische Kartierung der Schlackenhalde im Rahmen ergänzender Untersuchungen (§ 13 ALSAG) der Altablagerung 'Blei-Silber Schmelzhütte Deutschfeistritz' konnte die Schlackenhalde im Bereich der historischen Hüttenanlage gegenüber den Erfassungsdaten im Bergbau-/Haldenkataster näher abgegrenzt werden (SCHEDL et al., 2018).

Die Abgrenzung der Schlackenablagerung im Gelände erfolgte mit Hilfe relativ einfacher Aufschlussmethoden (Spaten, Spitzkrampe, Handschaufel; siehe SCHEDL et al. 2018). Grundsätzlich muss aufgrund der Nachnutzungen und der unmittelbaren Lage an einem Bach mit wiederholenden Überflutungsereignissen davon ausgegangen werden, dass es sich bei der Altablagerung nicht mehr um eine homogene Schlackendeponie im ursprünglichen Zustand handelt. Die neukartierten Flächen zeigen gegenüber der ursprünglich im Bergbau-/Haldenkataster ausgewiesenen Fläche eine deutliche flächige Reduktion. Basierend auf den Geländebefunden konnten zwei getrennte Ablagerungsbereiche mit Schlacke- und Hüttenabbruchmaterial kartiert werden, die durch das Betriebsareal des Sägewerks getrennt sind, sich aber in der Materialzusammensetzung doch unterscheiden (Abb. 2). Die ursprünglich im Bergbau-/Haldenkataster ausgewiesene zusammenhängende Schlackendeponie konnte aufgrund der aktuellen Überbauung nicht verifiziert werden.

Die westliche Schlackendeponie (2.500 m², Kernzone und unmittelbar angrenzende Gebiete) stellt das direkte Umfeld der ehemaligen Schmelzhütte dar. Aus den Erfahrungen bei anderen kleinen Schmelzhütten im alpinen Raum ist zu vermuten, dass ein nicht unerheblicher Teil des anfallenden Schlackenmaterials direkt im Vorfluter (Übelbach) entsorgt wurde. Schlackenmaterial im aktuellen Geschiebe des Übelbaches treten im unmittelbaren Umfeld der Altablagerung kaum mehr in Erscheinung. Die Zwischendeponie wurde mit Sicherheit im südwestlich der Schmelzhütte angrenzendem Gebiet errichtet. Das ist auch das Gebiet mit der aktuell höchsten Schlackendichte an der Oberfläche. Durch die nachfolgenden Abbruchsarbeiten der Schmelzhütte, Nachnutzungen, aber auch durch temporäre Überflutungsereignisse

(mit charakteristischen Überflutungssedimenten) im Nahbereich des Übelbaches handelt es sich in den oberen 2-5 Dezimetern im Wesentlichen um Mischablagerungen (Überflutungssedimente, Bodenmaterial, Schlacken, Bauschutt-/Abbruchmaterial), wobei die Schlackenbeteiligung sehr unterschiedlich sein kann. Das Areal mit der größten Schlackendichte liegt im abgezaunten Bereich einer aktuellen



Abb. 2: Auskartierte Schlackendeponien im Bereich der historischen Blei-Silber-Schmelzhütte Deutschfeistritz (SCHEDL et al. 2018)

Hühnerfreilandhaltung. Das darauf befindliche ältere Gebäudeobjekt markiert noch einen zentralen Bereich des ehemaligen Hüttenstandortes (Abb. 3). Das Objekt selbst stammt aber bereits aus der Zeit nach dem Ende des Schmelzhüttenbetriebs.

Die stark schlackenführenden Horizonte liegen im Regelfall unter einer Humusaufgabe/Bodenbedeckung von 15-20 cm. In Bereichen mit temporären Überflutungen des Übelbaches kann diese Überlagerung auch mächtiger sein (30-40 cm). Ein Abtrag durch Ufererosion kann aber ebenfalls nicht ausgeschlossen werden. Durch nachträgliche Flächenbearbeitungen reicht die Schlackenführung aber auch außerhalb dieses zentralen Deponiebereichs teilweise bis an die Oberfläche.

Wie mächtig die Schlackendeponie ist und ob diese flächig durchgehend ausgebildet ist, kann auf Basis der vorgenommenen seichten Oberflächenaufschlüsse noch nicht beantwortet werden. Eine diesbezügliche Abklärung dieser Frage wird auf Basis von Seichtbohrungen erwarten, die im Rahmen des ALSAG-Untersuchungsprogrammes vom Land Steiermark beauftragt wurden, deren Ergebnisse bis dato aber noch nicht im Detail vorliegen. Aus den vorab vom Umweltbundesamt übermittelten Interimsdaten geht hervor, dass die Mächtigkeit der Schlackendeponie im zentralen Bereich des Hüttenstandortes südwestlich des Sägewerks bei 0,5 – 3, 5m liegt. In unmittelbarer Nähe des ehemaligen Hüttenstandortes (abgezauntes Areal mit Hühnerfreihaltung) besitzt die Schlackendeponie eine relativ konstante Mächtigkeit zwischen 0,5 und 0,8 m. Erste flächige Informationen zur Dimension der Schlackendeponie in Teilbereichen

könnten durch die geophysikalischen Testmessungen im Rahmen des gegenständlichen VLG-Projekts gewonnen werden. Die geophysikalische Übersichtskartierung im Bereich der Pferdekoppel korrespondieren dabei sehr gut mit den Ergebnissen der Bohrungen in diesem Bereich (vgl. Kap. 3.1.5).

Aufgrund der unterschiedlichen Schlackentypen mit teilweise sehr unterschiedlichen Korngrößen ist das Schlackenmaterial im Bodenprofil nicht immer deutlich identifizierbar. Hohe Gehalte an Pb, Zn und Fe in Proben ohne makroskopisch sichtbaren Schlackenkomponenten dürften auf sehr feinkörnige Schlackenbeimengungen zurückzuführen sein. Die kartierungsmäßige Abgrenzung der Altablagerung im Gelände erfolgte daher auch maßgeblich unter Zugrundelegung der geochemischen Messergebnisse mittels mobiler RFA.



Abb. 3: Zentraler Bereich des ehemaligen Hüttenstandorts mit Altgebäude und Hühnerfreilandhaltung im Hintergrund und Pferdekoppel im Vordergrund (westliches Teilgebiet der Altablagerung)

Der östliche Ablagerungsbereich (2.500 m²) unterscheidet sich trotz der zum Teil ebenfalls sehr hohen Pb- und Zn-Gehalte im Boden vom westlichen Ablagerungsbereich durch das weitgehende Fehlen grobkörniger Schlackenkomponenten und die doch etwas inhomogeneren Verteilungsmuster bei der Schwermetallverteilung im Boden. Während man im westlichen Ablagerungsbereich fast überall Schlackenmaterial an der Oberfläche findet, treten diese im Bereich der östlichen Ablagerung nur in Teilbereichen auf. Auffallend dort ist die hohe Beteiligung von historischem Bauschutt und Abbruchmaterial. Möglicherweise wurde dort Restmaterial der abgetragenen Schmelzhütte deponiert oder aber auch nicht verwertbare Zink-hältige Schmelzen/Schlacken. Dafür spricht das Auftreten von metallreichen Schmelzkuchenresten (14,2 % Zn, 1,7 % Pb) in diesem Bereich. Die beiden im Rahmen der ALSAG-Untersuchungen abgeteufte Bohrungen am Ost- bzw. Südostrand dieser Flächen haben keine Schlackenhorizonte angetroffen. Auf Basis der aktuellen geophysikalischen Messdaten werden aber zumindest bereichsweise Schlackenhorizonte im unmittelbar östlich des Sägewerks und südlich der Wohngebäude vermutet (vgl. Kap. 3.1.5).

Die Schlackenablagerungen im Bereich der historischen Blei-Silber-Schmelzhütte entstammen aus verschiedenen Prozessen der Erzverhüttung, die in makro- und mikroskopischen Befunden durchaus kategorisiert werden können, aber im Oberflächenbefund im Gelände nicht im Detail kartierbar sind. Diese Hauptgruppe der technogenen Ablagerungen besteht im Wesentlichen aus

- Abfällen der Verhüttung von Blei-Zinkerzen (meist grobstückige, kantig brechende, silikatische Schlacken mit \pm Einschlüssen von metallischen und sulfidischen Erzphasen, poröse metallarme Schlacken, Plattenschlacken, Kohle)
- Metallreiche Schmelzen (Zn-, Pb-reich)

Die nicht aus Verhüttungsprozesse stammenden, sonstigen Abfälle im Bereich der Blei-Zink-Schmelzhütte betreffen vor allem die Abfallarten

- Bauschutt/Abbruchmaterial von Gebäuden des Hüttenkomplexes (mit bis zu 0,9 % Pb, 1,3 % Zn)

Das Hangende der Schlackendeponie wird von mehreren Dezimeter mächtigen, teilweise hoch an Blei und Zink angereicherten Böden gebildet, die häufig eine Durchmischung mit Schlackenmaterial und Abbruchmaterial aufweisen (vgl. Abb. 4). Aus bodenkundlicher Sicht dominieren im Zentralbereich des Hüttenstandortes graubraune, schluffig-tonige Au-/Schwemmböden mit unterschiedlichem Grobkomponentenanteil und in Teilbereichen Braunerde. Jüngste Ablagerungen befinden sich im unmittelbaren Nahbereich des Übelbachs (Westrand des westlichen Altablagerungsbereichs). Diese rezenten Überflutungssedimente erreichen im flussnahen Bereich größere Mächtigkeiten und verdecken dort die Schlackendeponie.



Abb. 4: Grobstückige Schlackenhalde mit geringmächtiger Bodenüberlagerung; Zentralbereich des ehemaligen Hüttenkomplexes

3.1.3 Geochemische und mineralogische Untersuchungen

3.1.3.1 Probenahme

Aus dem Bereich des ehemaligen Standorts der historischen Blei-Silber-Schmelzhütte Deutschfeistritz liegen aus verschiedenen früheren Untersuchungsprogrammen Beprobungen und geochemische Analytik von Bodenmaterial und Schlacken unterschiedlicher Zusammensetzung vor (SCHERMANN & SCHEDL, 1994; SCHEDL et al. 2018).

Die bisher umfangreichsten Untersuchungen (47 Probenahmepunkte mit insgesamt 78 Profilproben) stammen aus einer ALSAG-Voruntersuchung dieses Standorts (Abb. 5; vgl. SCHEDL et al., 2018). In Ergänzung zur geochemischen Kartierung mittels mobiler RFA im Rahmen dieser Untersuchungen wurden die meisten Proben nachträglich für das gegenständliche VLG-Projekt auch im Labor der GBA nochmals mit erweiterten Elementparametern analysiert (Tab. 1 und 2). Im Rahmen einer Vorerkundung wurden bereits einige Übersichtsproben (Boden, Schlacken) aus dem zentralen Bereich der Schlackendeponie entnommen und aktuell analysiert (Abb. 6, Tab. 3). Um die Typologie des Schlackenmaterials im Bedarfsfall untersuchen zu können, wurden bei der geochemischen Kartierung im Rahmen des ALSAG-Projekts begleitend auch zahlreiche Schlackenproben aus einigen Profilgruben gezogen. Von diesem Material liegen nur einzelne Messungen mittels mobile RFA vor. Eine systematische geochemische, mineralogische und metallurgische Bearbeitung dieses Probenmaterials steht aber noch aus. In Vereinbarung mit Land Steiermark, Umweltbundesamt und Geologischer Bundesanstalt konnten vorab auch einige relevante, die Schlackendeponie durchörternden Kernstrecken für das Kerndepot der Geologischen Bundesanstalt und eventuell nachfolgende Untersuchungen gesichert werden.

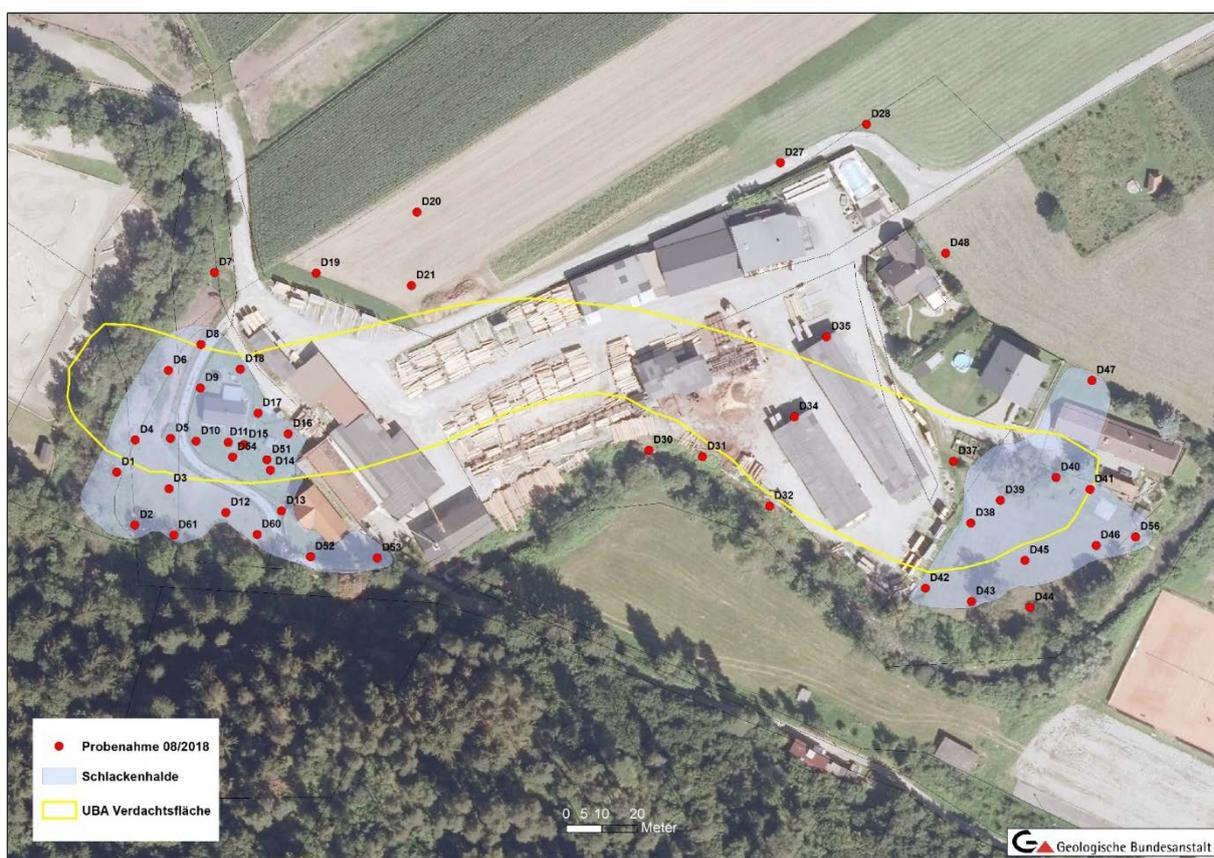


Abb.5: Probenahme im Zuge von ALSAG-Voruntersuchungen im Bereich der Schlackendeponie Blei-Silber-Schmelzhütte Deutschfeistritz (SCHEDL et al. 2018)



Abb.6: Ergänzende Probenahme (2018) von Oberböden/Schlackenmaterial im Bereich der Schlackendeponie; Blei-Silber-Schmelzhütte Deutschfeistritz

3.1.3.2 Ergebnisse der geochemischen Untersuchungen

Die nachfolgende Ergebnisauswertung und Interpretation der geochemischen Kartierung mittels mobiler RFA basiert im Wesentlichen auf den Ergebnissen der rasterförmig durchgeführten ALSAG-Voruntersuchungen (SCHEDL et al. 2018). Auszugsweise werden hier jene Elemente wiedergegeben, die für die auftretende Vererzung und die begleitende Verarbeitung von Pb-Zn-Erzrohstoffen in Hüttenprozessen charakteristisch sind. Zu Vergleichszwecken bzw. als Ergänzung mit einem erweiterten Elementspektrum werden auch die Ergebnisse der nachträglich im Labor durchgeführten RFA-Messungen zur Interpretation herangezogen. Nachfolgende Angaben und Elementverteilungskarten beziehen sich aber lediglich auf die Ergebnisse der Kartierung mittels mobiler RFA. Bis auf einige wenige Ausreißer passen die Ergebnisse der Labormessungen –insbesondere für Blei und Zink mit denen der mobilen RFA relativ gut überein. Barium ist bei den Labormessungen tendenziell etwas höher als bei der mobilen RFA.

Obwohl es sich beim Schlackenmaterial der Blei-Silber-Schmelzhütte um Schlacken unterschiedlicher Hüttenprozesse handelt, widerspiegeln die gemessenen Schwermetallkonzentrationen in den untersuchten Boden-/Schlackenhaldenprofilen vor allem die Hauptwertstoffe (Pb, Zn) der im Bergbau Friedrichbau gewonnenen Ausgangsrohstoffe. Teilweise höhere Ba-Gehalte liefern Hinweise auf Baryt als dominante Gangart der Vererzung. Begleitende Sulfidphasen der Hauptvererzung (Chalcopyrit und Pyrit) zeigen sich hingegen nur mehr untergeordnet in den Cu, As- und Fe-Konzentrationen im Boden bzw. Schlackenmaterial. Eine Zusammenstellung ausgewählter Analysenergebnisse der ALSAG-Untersuchungen findet sich in Tab. 1 bzw. der nachfolgend in der GBA durchgeführten RFA-Laboranalysen in Tab. 2. Vollständigkeitshalber sind auch ausgewählte Multielementanalysen einiger Proben aus Voruntersuchungen zum ALSAG-Untersuchungsprogramm beigefügt (Tab. 3).

Während die geochemische Basisaufnahme in den Bachsedimenten im Umfeld des Bergbaus Friedrichsbau am Übelbach in Deutschfeistritz keine anomalen Pb-Gehalte zeigt (PIRKL et al. 2015), liegen auf der Schlackenhalde der ehemaligen Schmelzhütte Schrems/ Ötschelberg teilweise extrem hohe Pb-Konzentrationen in den beprobten Boden-/Haldenbereichen vor (vgl. Abb.7 und 8). Die höchsten Pb-Gehalte treten dabei im direkten Umfeld der ehemaligen Schmelzhütte auf. Im Profilverlauf der relevanten Probenahmestellen sind keine einheitlichen Trends im Verteilungsmuster der Pb-Gehalten zu erkennen. Meist nehmen jedoch die Pb-Gehalte in der Tiefe (Richtung Schlackenuntergrund) zu. Unter Berücksichtigung aller 78 Analysenergebnisse der geochemischen Kartierung liegt der Medianwert der oberen Profilabschnitte bei 1.207 ppm, der der tieferen Profilabschnitte bei 1.673 ppm (SCHEDL et al. 2018). Höchstgehalte werden im unteren Profilabschnitt der Probe D 54/2 (Freilandbereich der Hühnerhaltung) mit 2,5% und in der Probe D 41/2 (Grünland im östlichen Teilgebiet) mit 1,95 % erreicht. Bei den Labormessungen zeigen die Proben D 54/1 mit 3,22 % und D 41/2 mit 2,54 % etwas höhere Pb-Maxima.

Die hohen Konzentrationen betreffen insbesondere ein relativ kleines Gebiet (55 x 35 m) im unmittelbaren Umfeld des Hüttenstandorts. Im durch das Areal des Sägewerks getrennte östlichen Teil der Schlacken- deponie sind die Höchstwerte auf einen schmalen Bereich SW bis S des dort befindlichen Wohnobjekts bzw. an dem im SE des Sägewerks anschließenden Bereich beschränkt. Im unteren Profilabschnitt des Probenahmepunkts D 56 im östlichen Ablagerungsgebiet tritt Abbruchmaterial und extrem Zn-reiche Schmelzen (14,2 % Zn, 1,7 % Pb) auf. Außerhalb der Schlackenhalde sinken die Pb-Gehalte in den untersuchten Bodenprofilen wieder stark ab und liegen hier meist unter 300 ppm.

Probe Nr	Teufe cm	As	Ba	Cu	Fe	Ni	Pb	Ti	V	Zn
D2/1	0-15	< 1	338	36	31260	59	1219	6074	119	758
D2/2	15-40	< 1	419	48	39497	93	2944	6111	139	1072
D3/1	0-15	< 1	423	82	48239	72	6406	6286	134	2709
D3/2	15-35	< 1	554	58	45907	79	6926	5241	84	4226
D7/1	0-15	20	379	47	34666	71	612	6117	157	1203
D7/2	15-35	16	203	64	26323	48	370	5685	126	523
D8/1	0-15	< 1	219	42	30749	52	2893	5630	102	1562
D8/2	15-35	< 1	506	44	39003	66	4197	6443	128	1737
D9/1	0-15	121	478	81	45581	91	7907	5639	122	5127
D9/2	15-35	113	720	121	54729	83	14666	5485	117	7014
D10/1	0-15	144	490	54	43746	69	11343	5918	108	3439
D10/2	15-30	118	590	76	45888	79	9216	5208	92	4380
D11/1	0-15	147	506	111	51864	80	12006	4885	110	6478
D11/2	15-35	88	327	75	40965	60	3909	5532	111	2911
D12/1	0-15	< 1	547	67	50386	80	3754	8605	92	2653
D12/2	15-40	< 1	654	61	51097	76	3233	8021	133	2232
D14/1	0-15	< 1	513	34	35996	69	1207	6206	120	1406
D14/2	15-35	46	538	41	43377	65	1820	6088	115	2466
D15/1	0-10	52	371	57	40005	75	4316	6496	113	2818
D15/2	15-35	139	451	93	43740	72	6968	5274	92	4802
D16/1	0-10	< 1	513	42	31028	62	780	4537	88	1502
D16/2	20-35	< 1	509	39	37929	80	1805	6348	103	1669
D17/1	0-15	20	399	34	36226	77	588	5985	123	1082
D17/2	15-35	< 1	620	42	31080	64	536	6370	122	1067
D18/1	0-15	< 1	349	42	35109	60	1680	5657	100	1717
D18/2	15-35	117	1074	37	68508	87	7373	6383	134	6166
D32/2	15-25	42	375	44	28918	47	1591	5658	127	4894
D32/3	25-35	55	1005	38	48406	101	977	9910	185	3071
D37	0-35	< 1	561	41	37724	77	813	6679	81	2844
D38	0-35	< 1	376	40	42144	56	2214	5493	110	7063
D39	0-35	< 1	424	54	36526	54	3681	5504	101	7564
D40/1	0-35	< 1	673	41	46402	65	2761	4989	88	17478
D40/2	35-40	< 1	980	81	53624	89	2390	4735	< 1	26255
D41/1	0-30	< 1	634	51	40354	64	5956	5160	90	25640
D41/2	30-40	< 1	1400	104	79281	93	19479	4417	< 1	48423
D42	0-20	< 1	540	28	37327	98	1313	6696	112	3784
D43	0-30	34	423	50	37355	73	891	5950	111	2888
D45/1	0-30	17	311	20	31000	64	375	6376	87	1142
D45/2	30-35	203	939	55	78774	69	4921	3939	159	45051
D45/3	30-40	87	765	70	43919	77	3706	4288	112	27274
D46	0-35	< 1	542	42	36459	69	3157	5655	82	10276
D47	0-35	< 1	436	40	44886	92	1673	6745	105	5340
D51/1	0-15	< 1	315	36	28114	48	485	6061	114	814
D51/2	15-35	28	341	46	28965	60	483	5709	< 1	838
D52/1	0-15	48	344	59	38199	62	3559	8108	152	1845
D52/2	15-35	< 1	562	63	52262	62	7591	7701	147	3725
D53/1	0-15	< 1	208	38	30392	50	3326	6993	155	1519
D53/2	15-35	< 1	623	75	57740	109	12327	5804	91	4989
D54/1	0-15	< 1	254	40	35627	< 1	3494	5625	100	1668
D54/2	15-35	< 1	910	143	76241	83	25167	4805	86	5848
D56	0-40	< 1	840	73	44673	89	5601	4971	< 1	16702
D60/1	0-15	< 1	219	40	38477	48	3743	5992	131	1478
D60/2	15-40	< 1	545	74	49687	84	8781	6376	88	6662
D61/1	0-15	< 1	386	48	44172	74	6489	5900	124	3324
D61/2	15-40	192	545	99	83149	107	11021	8441	188	6101

Tab. 2: Ausgewählte Analysenergebnisse der geochemischen Kartierung des historischen Blei-Silber-Hüttenstandorts Deutschfeistritz (Fraktion < 2mm, getrocknet; mobile RFA; in ppm) (SCHEDL et al. 2018)

	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ga	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
d2-0-15	1,4	674,5	1,3	21,2	103,4	38,4	< 1	< 1	45,6	1882,2	4,8	131,1	936,6
d2-15-40	1,4	692,6	1,9	20,9	110,4	41,4	< 1	< 1	47,8	2193,7	5,5	133,5	1108,9
d3-0-15	1,4	876,1	3,7	23,4	113,7	52,5	< 1	< 1	44,3	6316,6	9,4	136,7	2760,3
d3-15-35	1,4	764,2	5,1	23,6	77,8	49,9	< 1	< 1	43,2	8941,3	12,4	134,7	4160,3
d5-15-35	1,4	674,8	2,7	21,4	96,9	35,2	< 1	< 1	40,2	1566,1	4,1	130,3	1145,3
d7-15-35	1,4	863,8	3,6	23,4	107,0	43,2	< 1	< 1	46,4	733,9	3,7	134,7	1525,3
d8-0-15	1,4	708,5	3,8	20,5	106,1	46,8	< 1	< 1	49,3	3440,9	5,0	115,4	1933,3
d8-15-35	1,4	1017,1	4,7	23,6	105,4	48,8	< 1	< 1	48,5	5153,3	8,1	150,5	2152,5
d9-0-15	1,4	1293,4	16,6	26,9	108,7	83,2	< 1	< 1	49,0	8547,2	11,2	126,2	5424,4
d9-15-35	1,4	1694,3	16,6	25,4	103,6	129,5	1,3	1,2	54,3	17429,3	21,2	144,3	8175,8
d10-0-10	1,4	1247,6	10,7	25,7	106,5	73,3	< 1	< 1	49,6	13996,9	17,2	154,2	4529,2
d10-20-30	1,4	1257,0	17,6	20,3	134,9	108,0	< 1	< 1	55,7	12603,9	19,6	159,6	6150,3
d11-0-15	1,4	1275,7	11,2	26,6	118,8	101,1	< 1	1,3	51,5	6724,7	11,6	145,9	4363,4
d11-15-35	1,4	1543,2	11,4	25,8	117,2	135,8	1,9	1,3	54,8	17297,1	20,9	149,4	8113,7
d12-0-15	1,4	1195,7	8,8	28,2	126,0	63,1	< 1	1,4	57,0	4929,9	11,4	165,4	3247,0
d12-15-40	1,4	1141,1	6,6	28,0	120,6	56,4	< 1	< 1	56,1	4832,5	9,0	167,9	2971,7
d14-0-15	1,4	1130,8	3,8	21,9	103,4	46,4	< 1	< 1	47,1	1590,1	6,5	137,3	1965,5
d14-15-35	1,4	981,2	8,0	24,2	97,8	43,8	< 1	< 1	45,3	2050,1	7,3	144,5	2772,1
d15-0-10	1,4	1031,1	10,2	24,2	108,5	59,7	< 1	< 1	46,2	5270,3	8,1	130,0	3366,7
d15-15-35	1,4	1347,0	14,3	26,7	107,2	83,8	< 1	1,2	47,0	8148,1	12,2	129,3	4818,8
d16-0-10	1,4	1333,6	4,4	21,0	95,9	39,5	< 1	< 1	43,8	1060,6	5,1	121,5	2028,9
d16-20-35	1,4	873,5	5,0	23,7	100,9	36,2	< 1	< 1	42,4	2189,0	5,5	138,4	1901,4
d17-0-15	1,4	719,6	2,8	22,7	108,9	40,0	< 1	< 1	44,2	662,2	4,1	139,5	1195,4
d17-15-35	1,4	673,7	2,7	20,4	102,9	43,5	< 1	< 1	44,3	533,5	3,4	121,8	1051,5
d18-0-15	1,4	900,7	5,9	23,6	107,7	46,6	< 1	< 1	46,1	1973,1	5,1	140,7	2119,9
d18-15-35	1,4	1883,4	20,1	29,9	102,3	50,8	< 1	< 1	50,7	7013,1	14,2	146,9	6116,1
d32-15-25	1,4	1116,5	17,7	21,7	96,5	36,0	< 1	< 1	35,5	1906,8	5,8	128,1	5321,5
d32-25-35	1,4	1610,9	8,3	29,7	148,8	34,0	< 1	< 1	61,2	883,5	7,0	256,2	2497,5
d37-0-35	1,4	1527,0	9,4	23,7	132,6	42,1	< 1	< 1	55,1	990,2	5,7	154,5	2923,6
d38-0-35	1,4	924,5	23,5	20,7	93,9	38,3	< 1	< 1	42,5	2912,9	9,0	128,0	7413,3
d39-0-35	1,4	863,3	31,6	21,2	93,7	55,3	< 1	< 1	46,0	4060,1	11,0	130,5	8341,0
d40-0-35	1,4	1166,6	91,0	22,9	87,7	45,9	2,3	1,1	68,5	3402,8	19,3	128,9	22514,0
d40-35-40	1,4	1239,7	98,1	24,9	100,1	53,3	2,8	4,1	75,9	3095,3	19,3	128,2	24823,1
d41-0-30	1,4	1589,4	94,3	22,0	83,5	65,4	2,6	< 1	41,5	5945,0	22,3	113,2	24143,9
d41-30-40	1,4	3659,9	183,0	25,9	68,5	82,8	9,5	< 1	44,7	25437,3	50,8	84,2	43133,1
d42-0-20	1,4	1073,5	10,5	24,0	105,7	38,6	< 1	< 1	49,5	1835,0	6,3	156,3	3960,2
d43-0-30	1,4	830,5	11,2	22,9	605,3	53,6	< 1	< 1	44,3	1162,8	8,2	134,7	3551,0
d45-0-30	1,4	567,5	4,8	19,5	98,9	30,9	< 1	< 1	41,0	446,7	4,6	128,2	1400,0
d45-30-40	1,4	1700,5	123,6	21,8	99,3	82,3	2,0	< 1	43,6	5189,9	28,0	123,4	26420,5
d46-0-35	1,4	1188,1	40,5	20,2	85,1	42,0	< 1	< 1	40,3	3778,9	12,9	115,3	12597,2
d47-0-35	1,4	1015,8	18,3	24,1	105,3	47,4	< 1	< 1	40,3	1818,3	5,5	145,1	6079,9
d51-0-15	1,4	706,2	2,5	21,1	102,1	44,6	< 1	< 1	43,7	656,8	2,9	129,5	1117,9
d51-15-35	1,4	703,7	2,7	20,9	111,5	45,4	< 1	< 1	45,0	805,5	3,5	124,0	1155,9
d52-0-15	1,4	879,7	4,5	25,0	109,6	53,3	< 1	< 1	42,7	4672,2	5,8	148,0	2277,6
d52-0-35	1,4	1260,8	6,3	29,5	111,7	81,9	< 1	< 1	50,3	9501,7	10,6	156,4	4546,5
d53-0-15	1,4	832,3	4,1	23,5	97,6	49,2	< 1	< 1	39,1	5587,7	6,7	122,3	2327,4
d53-15-35	1,4	1350,9	5,3	29,4	82,9	64,2	< 1	< 1	42,5	16679,5	17,9	115,2	6082,6
d54-0-15	1,4	2450,6	2,7	36,9	80,5	123,6	3,4	< 1	42,7	32208,8	36,6	108,1	6921,2
d54-15-35	1,4	901,2	4,2	23,8	101,7	48,0	< 1	< 1	40,9	4690,4	5,7	124,0	2255,7
d56-0-40	1,4	1808,9	61,9	23,5	85,7	81,4	1,1	< 1	46,8	7069,9	32,4	116,3	18435,0
d60-0-15	1,4	793,4	3,7	24,7	103,1	47,1	< 1	< 1	45,0	4491,4	6,7	135,4	1961,8
d60-15-40	1,4	1270,4	17,7	26,4	110,3	64,4	< 1	< 1	50,7	11194,9	19,2	143,6	7729,6
d61-0-15	1,4	1045,9	5,4	26,2	110,6	63,4	< 1	< 1	46,7	8461,7	9,6	136,5	4068,8
d61-15-40	1,4	1115,2	4,1	36,9	233,3	93,6	< 1	< 1	93,1	14636,5	11,5	225,4	6837,8

Tab. 3: Ausgewählte Analysenergebnisse der geochemischen Kartierung des historischen Blei-Silber-Hüttenstandorts Deutschfeistritz (Fraktion < 2mm, Analytik: Labor RFA/GBA; in ppm)



Abb. 7: Geochemische Kartierung im Bereich der Blei-Silber-Schmelzhütte Deutschfeistritz; Elementverteilungskarte für Blei (ppm) im Profilabschnitt 0-10/20 cm (Quelle: ALSAG Voruntersuchungen; SCHEDL et al. 2018)



Abb. 8: Geochemische Kartierung im Bereich der Blei-Silber-Schmelzhütte Deutschfeistritz; Elementverteilungskarte für Blei (ppm) im Profilabschnitt 10/20-20/40 cm. (Quelle: ALSAG Voruntersuchungen; SCHEDL et al. 2018)

Zink ist paragenetisch sehr eng mit Blei im auftretenden Vererzungstypus assoziiert. Zn-Konzentrationen >2% in Haldenmaterial und Böden sind daher häufig bei Blei-Zink-Mineralisationen zu beobachten (SCHEDL et al. 2012). Dementsprechend hoch sind auch die Zn-Gehalte in den untersuchten Boden-/Schlackenhaldenproben des historischen Hüttenstandorts in Deutschfeistritz. Die Anreicherung von Zink gegenüber Blei ist auch das Resultat historisch bedingter, selektiver Gewinnungstechnologien. Zum Zeitpunkt des Schmelzbetriebs im ausgehenden 18. Jh. waren Silber und Blei die Hauptwertstoffe. Zink wurde erst ab der Mitte des 19. Jh. der zentrale Wertstoff des Lagerstättenraums um Deutschfeistritz (Ludwigs-hütte). In der untersuchten Schlackenhalde ist Zink deshalb gegenüber dem vorherrschenden Pb/Zn-Verhältnis in der Lagerstätte deutlich angereichert.

Unter Berücksichtigung aller 78 Analysenergebnisse der geochemischen Kartierung liegt der Medianwert der oberen Profilabschnitte bei 1.490 ppm, der der tieferen Profilabschnitte bei 2.844 ppm (SCHEDL et al. 2018). Die Verteilungsbilder für Zink in den beprobten Profilabschnitten sind den Abb. 9 und 10 zu entnehmen.

Bei fast der Hälfte der analysierten Boden-/Schlackenproben dominiert Zink im Verhältnis zum Blei. In der überwiegenden Zahl der Fälle nehmen die Zn-Gehalte in der Teufe -also in Richtung Schlackendeponie- deutlich zu.

Die Zn-Konzentrationen sind im östlichen Teil der Altablagerung deutlich höher als im unmittelbaren Umfeld des ehemaligen Schmelzhüttenstandorts. Die Zn-Höchstgehalte liegen hier zwischen 1,7 und 4,8 % (mit Labor RFA zwischen 1,8 und 4,3 %). Möglicherweise wurden in diesen Bereich Zink-reiche Abfälle (metallreiche Schmelzkuchen bzw. Schlacken) aus dem Schmelzprozess deponiert, wie zumindest in Einzelfunden belegt.



Abb. 9: Geochemische Kartierung im Bereich der Blei-Silber-Schmelzhütte Deutschfeistritz; Elementverteilungskarte für Zink (ppm) im Profilabschnitt 0-10/20 cm. (Quelle: ALSAG Voruntersuchungen; SCHEDL et al. 2018)



Abb. 10: Geochemische Kartierung im Bereich der Blei-Silber-Schmelzhütte Deutschfeistritz; Elementverteilungskarte für Zink (ppm) im Profilabschnitt 10/20-20/40 cm. (Quelle: ALSAG Voruntersuchungen; SCHEDL et al. 2018)

Barium tritt in der Pb-Zn-Lagerstätte Friedrichbau/Deutschfeistritz als Gangartmineral in Form von Baryt auf. Hohe Ba-Gehalte korrelieren im Kartierungsgebiet der Schlackendeponie Deutschfeistritz sehr gut mit höheren Pb- und Zn-Gehalten. Der Medianwert der oberen Profilabschnitte liegt hier bei 360 ppm, der der tieferen Profilabschnitte bei 457 ppm (SCHEDL et al. 2018).

Chalkopyrit und Pyrit sind im untergeordneten Ausmaß Begleitminerale in verschiedenen Pb-Zn-Vererzungen des Grazer Paläozoikums. Die Cu- und As-Gehalte in den untersuchten Boden-/Schlackenproben sind aber relativ gering und in den Verteilungsmustern für Kupfer und Arsen in beiden beprobten Profilabschnitten sehr ähnlich. Signifikant erhöhte Gehalte beider Elemente sind eigentlich nur im unmittelbaren Umfeld des Hüttenstandortes zu beobachten. Beide Elemente dürften also auch in den Schmelzphasen der Hüttenprozesse angereichert worden sein.

Bei den bisherigen Untersuchungen konnten aus messtechnischen Gründen vor allem jene kritischen Elemente (Ge, In, Ga) noch nicht berücksichtigt werden, die mit den Pb- und Zinksulfiden assoziiert sind. Für diese spezifische Spurenanalytik wären genauere Messungen mittels Laser Ablation-ICP-Massenspektrometrie erforderlich. Entsprechende Untersuchungen wurden für den ostalpinen Raum im Rahmen des MRI-Projekts 'Identifikation und Klassifizierung potentieller Hochtechnologie-Metall Ressourcen in ostalpinen Blei-Zinklagerstätten' (MELCHER & ONUK, 2018) durchgeführt. Die stratiformen Erzlager des Grazer Paläozoikums führen generell Fe-reichere Sphalerite (1-9 % Fe), die meist nur gering an Co, Ag, Ga, Sb und In angereichert sind. Von den zahlreichen im Grazer Paläozoikum untersuchten Sphaleriten wurden auch Proben aus dem Friedrichbau (Friedrichstollen) untersucht, die den in der historischen Pb-Ag-Schmelzhütte verarbeiteten Roherzen entsprechen. Die Ge-Gehalte sind mit maximal 0,38 ppm deutlich geringer als bei den Sphaleriten im Drauzug-Mesozoikum, entsprechen aber sehr gut den Gehalten

in anderen Lagerstätten des Grazer Paläozoikums. Die Ga-Gehalte sind mit maximal 33,7 ppm etwas höher als in anderen Lagerstätten des Grazer Paläozoikums (etwa vergleichbar mit Sphaleriten aus dem Elisabethstollen/Deutschefeistritz), aber deutlich höher als in Sphaleriten des Drauzug-Mesozoikums. Die In-Gehalte liegen mit maximal 6,53 ppm etwas über dem Durchschnitt im Grazer Paläozoikum, aber deutlich unter den Maximalwerten von Haufenreith (29 ppm). Im Vergleich zu der meist geringen Co-Anreicherungen in den Sphaleriten des Grazer Paläozoikums weisen die Sphalerite des Friedrichbaus mit maximal 338 ppm doch deutlich erhöhte Co-Gehalte auf. Vergleicht man die Gesamtgehalte der aktuellen Untersuchungen an Boden- und Schlackenmaterial mit dem vergleichbaren Spurenelementchemismus der Sphalerite aus dem Friedrichbau, so fallen deutliche Abreicherungen bei Co, Ga und deutliche Anreicherungen bei Cr, V, Ni im Schlackenmaterial auf.

Im Rahmen orientierender Voruntersuchungen für das ALSAG-Projekt wurden bereits einige Proben aus dem zentralen Bereich des Hüttenstandortes für orientierende Messung mittels mobiler RFA entnommen, die für das gegenständliche VLG-Projekt im Labor der GBA nochmals analysiert wurden. Die Ergebnisse korrespondieren sehr gut mit den nachfolgenden Beprobungen und Analysen. In der aus einem Bereich mit intensiver Schlackenführung entnommenen Boden-/Schlackenprobe (Deutf - 001; 0-25 cm) treten mit 3,5 % Blei und 3,00 % Zink auffallend hohe Gehalte auf (Tab. 3). Ebenfalls hoch ist dabei der Gehalt an Barium mit 0,5 %, was aber gut mit der dominanten Gangart Baryt korreliert. In den unmittelbar benachbarten Probenpunkten sinken die Gehalte an Blei und Zink aber deutlich wieder ab (Blei 0,67 %, Zink 0,42 %). Die Elementverteilung bei weiteren untersuchten Spurenelementen zeigt hingegen keine signifikanten Erhöhungen.

	Deutf-001	Deutf-002	Deutf-003
As	< 1	< 1	< 1
Ba	5026	1220	946
Cd	< 1	12	3
Ce	46	63	41
Co	57	23	37
Cr	950	90	352
Cs	8	6	< 1
Cu	42	84	59
Ga	2	< 1	< 1
La	14	29	16
Mo	7	1	9
Nb	15	17	9
Nd	34	33	19
Ni	252	43	151
Pb	35206	6677	4026
Rb	44	66	34
Sb	57	6	< 1
Sc	11	13	11
Sr	306	255	256
Th	3	3	3
U	< 1	< 1	< 1
V	116	106	76
Y	6	29	17
Zn	30058	4234	4112
Zr	126	167	70

Tab. 3: Ausgewählte Analysenergebnisse der geochemischen Voruntersuchungen im zentralen Bereich des historischen Blei-Silber-Hüttenstandorts Deutschefeistritz (Fraktion < 2mm, getrocknet; in ppm) (vgl. Abb. 6)

Systematische geochemische Untersuchungen an Schlackenmaterial des historischen Hüttenstandorts Deutschfeistritz fehlen leider bis dato. Das Schlackenmaterial ist trotz des kleinräumigen Verbreitungsgebiets in der Zusammensetzung sehr heterogen. Um valide Angaben über die durchschnittliche geochemische Zusammensetzung der Schlackendeponie Machen zu erhalten, wäre hier eine aufwendige, repräsentative Beprobung der Schlackendeponie auf Basis von Großproben erforderlich. Für schnelle Erkundungsprogramme –wie das aktuelle VLG-Projekt- sind solche standortspezifische Spezialuntersuchungen vom technischen Aufwand her nicht vertretbar.

Die wenigen geochemischen Untersuchungen an Schlackenmaterial am Standort Deutschfeistritz basieren auf orientierenden in situ-Messungen mittels mobiler RFA. Aus vereinzelt Schlackenanalysen und mineralogisch-mikrochemischen Übersichtsuntersuchungen ergibt sich zumindest ein erster Grundbefund über die geochemische Zusammensetzung und möglicher Trägerphasen in den Schlacken. Sämtliche untersuchten Schlacken sind extrem Zn-angereichert (6,4-14,2%) bei ebenfalls noch sehr hohen Pb-Gehalten (1,4-3,1 %) (vgl: Tab: 4). Da die Zielwertstoffe des Hüttenprozesses Ende des 18. Jh. vor allem Blei und Silber waren, ist Zink im Schlackenmaterial überproportional angereichert.

Probe-Nr	Pb	Zn	Fe	Ba	As
D11-Schlacke	30726	63828	447311	7231	< 1
D56-Schlacke	17185	142144	444513	6503	< 1
D60-Schlacke	14389	130542	123498	0	< 1
D60-Schlacke1	14775	131779	124843	0	< 1
D60-Schlacke2	13779	121212	114862	16948	281

Tab. 4: Ausgewählte Analysenergebnisse von Schlackenmaterial aus der Schlackendeponie der Blei-Silber-Schmelzhütte Deutschfeistritz (in ppm)

3.1.3.3. Ergebnisse der mineralogisch-mikrochemische Übersichtsuntersuchungen

Flankierende mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen werden von der Geologischen Bundesanstalt seit längerem bei verschiedenen umwelt- und rohstoffgeochemischen Untersuchungsprogrammen eingesetzt (SCHEDL & NEINAVAIE, 2015). Neben der qualitativen und quantitativen Beschreibung von Spurenelementgehalten in verschiedenen Mineralphasen ermöglicht diese Methodik eine sehr präzise Differenzierung von geogenen und anthropogen/technogen bedingten Schwermetallquellen und erweitert das Anwendungsspektrum und die Interpretationsmöglichkeiten gegenüber klassischen geochemischen Methoden erheblich.

Ursprünglichen waren im Rahmen des Projekts „Erhebung und Bewertung ehemaliger Bergbau- und Hüttenstandorte hinsichtlich Risiko- und Folgenutzungspotentials“ (SCHERMANN & SCHEDL, 1994) auch begleitende mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen an Halden- und Schlackenmaterial vorgesehen. Durch das vorzeitige Ende dieses Projekts liegen von den Schlackenuntersuchungen betreffend die Schmelzhütte Deutschfeistritz leider nur isolierte Teilergebnisse vor, die hier aber auszugsweise nochmals wiedergeben werden (SCHERMANN & SCHEDL, 1994).

In einer ersten Analyse der festgestellten Mineralphasen lassen sich auf Basis der mineralogisch-mikrochemischen Detailuntersuchungen übersichtsmäßig bereits sehr gut Trägerphasen für die Hauptwertstoffe Zink und Blei definieren (siehe Anhang).

Für die hohen Bleikonzentrationen sind eine Reihe von geogenen und technogenen Phasen verantwortlich. Als Pb-Trägerphasen konnten bei früheren Untersuchungen Galenit, gediegenes Blei, Eisen-Bleisilikat und Eisen-Calcium-Phosphor-Silikat bestimmt werden (vgl. Abb. 1-1 bis 1-3). Zink findet sich vor allem in den Trägerphasen Sphalerit, Glasphase, Olivinmischkristalle und Ca-Silikat. Von einigen dieser Trägerphasen liegen aus früheren Untersuchungen auch Mikrosondenanalysen vor (vgl. SCHERMANN & SCHEDL, 1994). Die Pb-Gehalte von Galenit liegen bei 81%, der von gediegenes Blei bei 98%. Glasphasen im Schlackenmaterial enthalten zwar bis zu 2,7 % Zn, Pb hingegen nur in Spuren.

Obwohl nicht Teil des Projektauftrags, wurden im Rahmen des ALSAG-Auftrags trotzdem versucht, weitere möglichen Trägerphasen für die hohen Blei- und Zink-Konzentrationen im Bereich der Schlackendeponie Deutschfeistritz zu identifizieren. Die aktuellen mineralogischen Untersuchungen Schlacken der Pb-Ag-Schmelzhütte Deutschfeistritz basieren derzeit lediglich auf einem polierten Anschliff einer extrem Zn-reichen Schmelz-/Schlackenprobe (Probenahmepunkt D 56; 14,2 % Zn) aus dem östlichen Teil der Schlackendeponie. Die Untersuchung wurde an der Geologischen Bundesanstalt mittels REM (Marke Tescan) und EDX (X-Max Detektor mit 50 mm², Oxford Instruments) durchgeführt. Die quantitative Messung erfolgte unter Zuhilfenahme mineralischer Standards.

Eine Quantifizierung der Schwermetallquellen in dieser Probe liegt nicht vor, sondern lediglich eine erste qualitative Ansprache der Quellen für Blei und Zink. Eine erste Durchsicht des aktuellen Anschliffmaterials erbrachte für Blei teilweise ergänzende geogene und technogene Trägerphasen (Galenit, PbO₂, PbOx, Pb-S-O_x) (vgl. Anhang, Abb. 1-4 und 1-5). Zn liegt einerseits in feinstdispersiver Form in Ca-Silikaten (Anhang, Abb. 1-6 und 1-7) eingebaut, andererseits aber auch in sulfidischer Form als Sphalerit vor (Anhang, Abb. 1-8).

3.1.4 Sekundäres Rohstoffpotenzial

Bei der Schlackendeponie in Deutschfeistritz handelt es sich um eine relativ kleinräumige Struktur, die aufgrund der Überbauung und teilweise Versiegelung nicht in ihrer Gesamtheit erfassbar ist. Das sekundäre Rohstoffpotenzial dieser Schlackendeponie dürfte daher trotz relativ hoher Wertstoffgehalte nur von geringer wirtschaftlicher Bedeutung sein. Während das westliche Deponieareal durch die geochemische Kartierung, Bohrungen bzw. durch die geoelektrischen Vermessungsarbeiten sehr gut in der horizontalen und vertikalen Erstreckung abgrenzbar ist, lassen sich für den getrennten östlichen Ablagerungsbereich noch keine Aussagen über die genaue Schlackenverbreitung machen. Hier handelt es sich um Mischablagerungen von Schlackenmaterial und anderen Abfällen aus dem ehemaligen Hüttenstandort (Schmelzhütte-Abbruchmaterial, Zn-Schmelzkuchen etc.). Auf Basis der aktuellen geophysikalischen Übersichtsmessungen dürfte es sich dabei aber um keine durchgehenden Schlackenhorizonte handeln.

Zur Ermittlung des sekundären Rohstoffpotenzials wurde nur ein Teilbereich der westlichen Schlackendeponie ausgewählt, bei dem halbwegs verlässliche Daten über Verbreitungsfläche und Mächtigkeit der Schlackenablagerungen vorliegen. Bei einer durchschnittlichen Mächtigkeit von rund 0,8 m und einer Gesamtfläche von über 2.200 m² wäre dies eine Gesamtmenge von rund 3.200 t Schlackenmaterial. Zur genaueren Evaluierung des Potenzials für die beiden Wertstoffe Zink und Blei fehlen leider Informationen über deren räumliche Verteilung im Deponiekörper. Bei den wenigen in situ-Messungen von Schlackenmaterial im Gelände wurden in den untersuchten Schlacken sehr hohe Zink-Gehalte von 6,4 bis 14,22 % und Blei-Gehalte von 1,4 bis 3,2 % festgestellt. Durchgehende geochemische Profilmessungen über die gesamte Schlackenmächtigkeiten fehlen noch für fundierte Potenzialabschätzungen. Da die GBA vom Land Steiermark die relevanten Bohrkern der Bohrungen durch die Schlackendeponie erhält, sollen diese Messungen zum gegebenen Zeitpunkt nachgeholt werden.

Bei durchschnittlich 12 % Zn und 1,5 % Pb entspräche dies beim gegenwärtigen Informationsstand einem

grob geschätztem Gesamtrohstoffpotenzial von 380 t Zink und 48 t Blei im westlichen Teilbereich der Schlackendeponie. Unter Berücksichtigung der 10-20 cm Bodenüberlagerungen mit Blei-Gehalten bis 2,5 % und Zink-Gehalten bis 2,6 % kämen noch geschätzte 20 t Zink und 15 t Blei zum Gesamtpotenzial dazu. Eine Gewinnung dieses sekundären Rohstoffpotenzials ist aufgrund der geringen Substanzmenge außerhalb wirtschaftlicher Dimensionen. Da in diesem Bereich auch keine sensiblen Nachnutzungen vorliegen, fällt bei diesem Standort auch eine Gewinnung im Zuge von Sanierungsmaßnahme aus.

3.1.5 Bodengeophysikalische Untersuchungen (EMI)

Die historische Schlackendeponie Deutschfeistritz wurde am 04.09.2019 bodengeophysikalisch mittels geomagnetischer Induktionsmethoden untersucht. Dabei wurde das Messgerät CMD-Explorer der Firma GF Instruments (CZ) verwendet. Dieses Gerät besteht im Wesentlichen aus drei Spulenpaaren in unterschiedlicher Entfernung zu einander. An jedem Messpunkt wird von den Sendespulen ein elektromagnetisches Wechselfeld mit einer Frequenz von 10.000 Hz ausgesendet und das zeitgleich an den drei Empfangsspulen gemessene Signal wird direkt in drei scheinbare elektrische Leitfähigkeiten umgerechnet. Auf Grund der drei unterschiedlichen Spulenabstände, können diese Leitfähigkeiten auf unterschiedliche Tiefen unterhalb des Messgerätes bezogen werden. Mittels einer Inversion dieser Messdaten kann in Folge ein sogenannter 2-Schicht-Fall berechnet werden (Leitfähigkeit/Widerstand der 1. und 2. Schicht sowie Mächtigkeit der 1. Schicht).

Im vorliegenden Testgebiet wurden damit drei Teilbereiche vermessen:

- Gebiet 1 (Pferdekoppel): 24 Profile (Profilabstand 2 m, Punktabstand 1 m, 666 Messungen)
- Gebiet 2 (Hühnerstall): 2 Profile (Profilabstand 2 m, Punktabstand 1 m, 46 Messungen)
- Gebiet 3 (Wiese): 1 Profil (kontinuierliche Messung, 300 m Länge, 651 Messungen)

Der elektrische Widerstand und die Mächtigkeit der ersten Schicht für Gebiet 1 sind in den Abbildungen 11 und 12 dargestellt, für das Gebiet 3 in den Abbildungen 13 und 14. In Gebiet 2 waren die anthropogenen Störungen (Zaun, metallische Baumstützen, Stallgebäude..) zu stark, um ein vertrauenswürdiges Modell zu erstellen. Die Abbildungen 15 bis 17 zeigen jeweils Vertikalschnitte der elektrischen Leitfähigkeit in der Nähe von TKB 14/19 bzw. genau über TKB 11/19, zweier im Rahmen der ALSAG-Verdachtsflächenuntersuchung durch das Land Steiermark abgeteufte Bohrungen.

Generell lassen sich folgende Teilergebnisse zusammenfassen: Hohe Widerstände beziehungsweise geringe Leitfähigkeiten der 1. Schicht korrelieren mit grobkörnigem Material (z.B. Schlackenmaterial, Abbruchmaterial aus dem Hüttenstandort bzw. Grobablagerungen des Übelbaches). Die Mächtigkeiten dieser Schicht erreichen Werte entsprechend den Teufen der Bohrprofile der hier abgeteufte Bohrungen. Sehr schön zu sehen ist diese gute Übereinstimmung bei der Bohrung TKB11/19, wo der Grundwasserspiegel und die Mächtigkeit der 1. Schicht bei 1.9 m liegen (Abb. 12 und 17).

Niedere Widerstände beziehungsweise hohe Leitfähigkeiten der 1. bzw. 2. Schicht stellen hingegen eher feinkörniges, mehr oder weniger feuchtes, Material dar. Aufgrund der flussnahen Lage des Untersuchungsgebietes handelt es sich dabei meist um dm-mächtige schluffig-feinsandige Überflutungssedimente. Anthropogene metallische Störungen (Leitungen, Zaun, Schranken etc.) wurden in der flächenmäßigen Darstellung weitestgehend eliminiert, im Vertikalschnitt entlang Profil 0 (Abb. 17) sind diese Anomalien sehr gut sichtbar. Im Gebiet 3 ist die Messpunktdichte etwas zu gering und infolge von zeitgleichen Bohrtätigkeiten sind die Daten mit viel Noise behaftet. Eine neuerliche Vermessung analog zu

Gebiet 1 wäre hier zu überlegen (dichtes Messraster, keine störenden Aktivitäten während der EM-Messung). Die bisher gemessenen, etwas heterogenen Muster lassen auch hier kleinräumig zusammenhängende Deponien von Schlacken (?) bzw. Hüttenabbruchmaterial vermuten. Die beiden hier bei den ALSAG-Untersuchungen im SE des Gebiets in Randlage zum Übelbach hatten nämlich keine solchen Ablagerungen (Schlacken, Abbruchmaterial) angetroffen.

Aus den bisherigen Erfahrungen beim aktuellen methodischen Test lässt sich generell bereits ableiten, dass sich EMI-Messverfahren sehr gut zur räumlichen Kartierung von abgedeckten Schlacken-/Haldendeponien eignen. Ein methodischer Einsatz bei ähnlich gearteten Standortssituationen ist geplant.

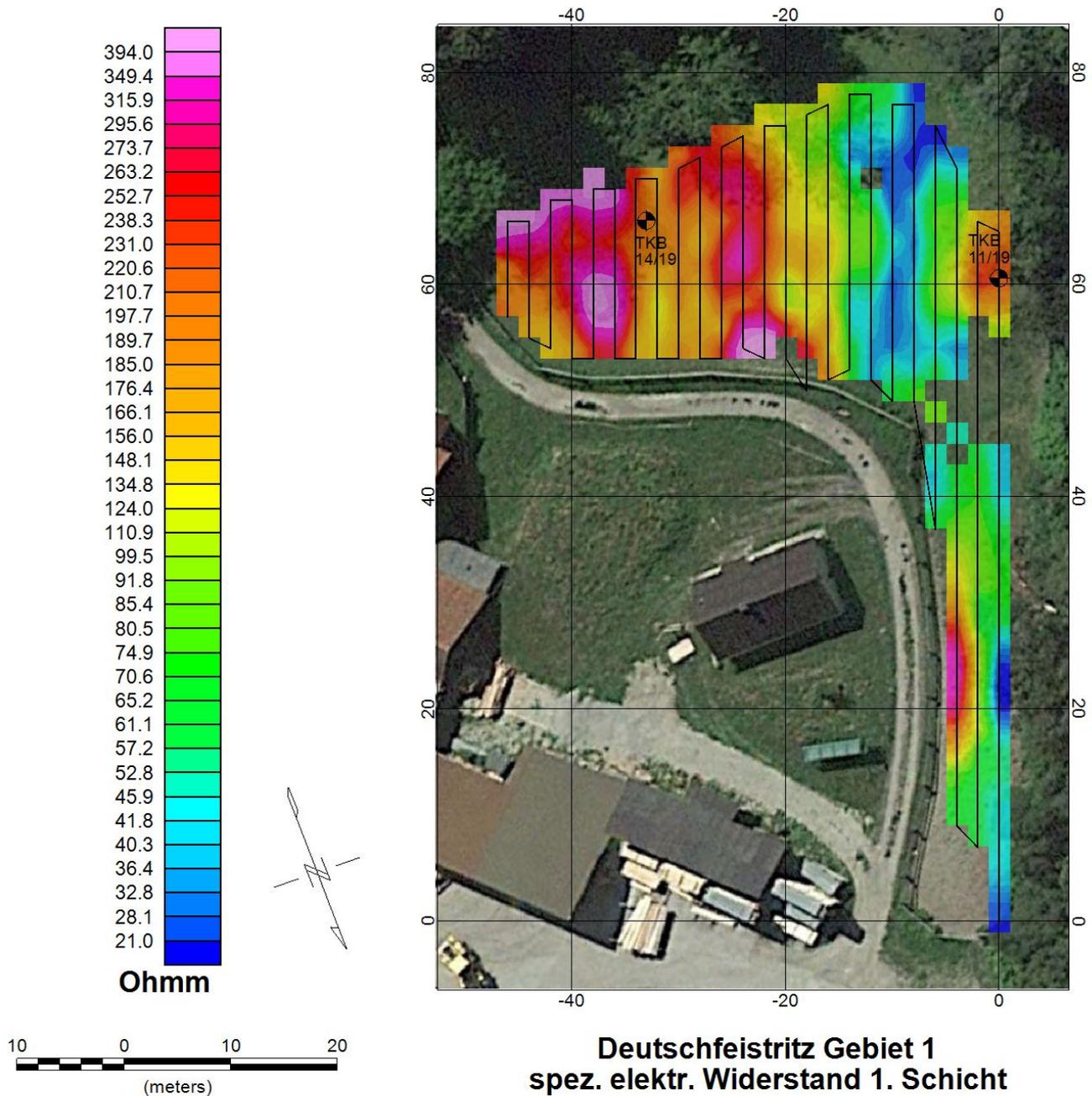


Abb. 11: Zwei-Schicht-Fall Ergebnis Gebiet 1: elektrischer Widerstand der 1. Schicht.

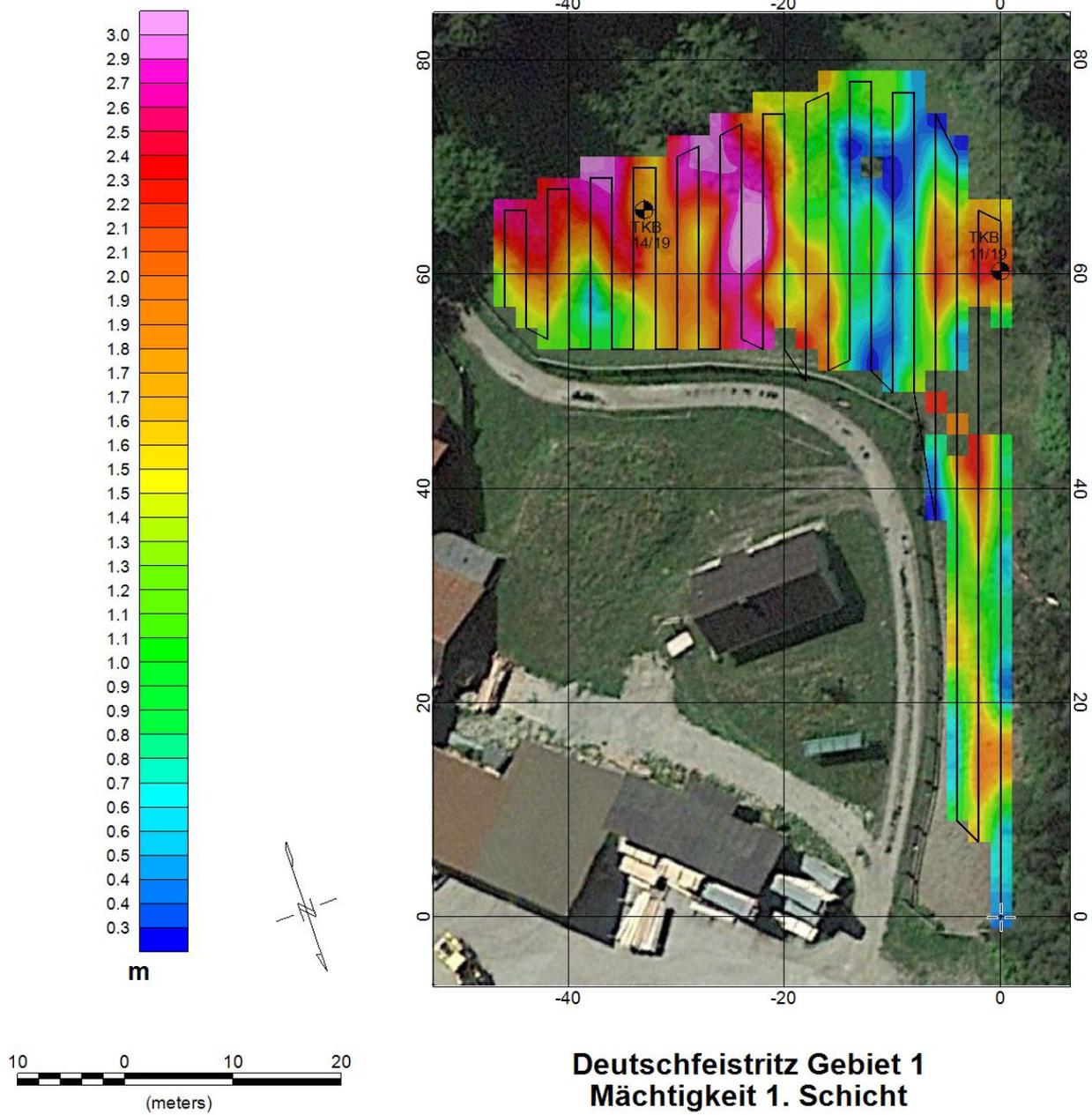


Abb. 12: Zwei-Schicht-Fall Ergebnis Gebiet 1: Mächtigkeit der 1. Schicht.

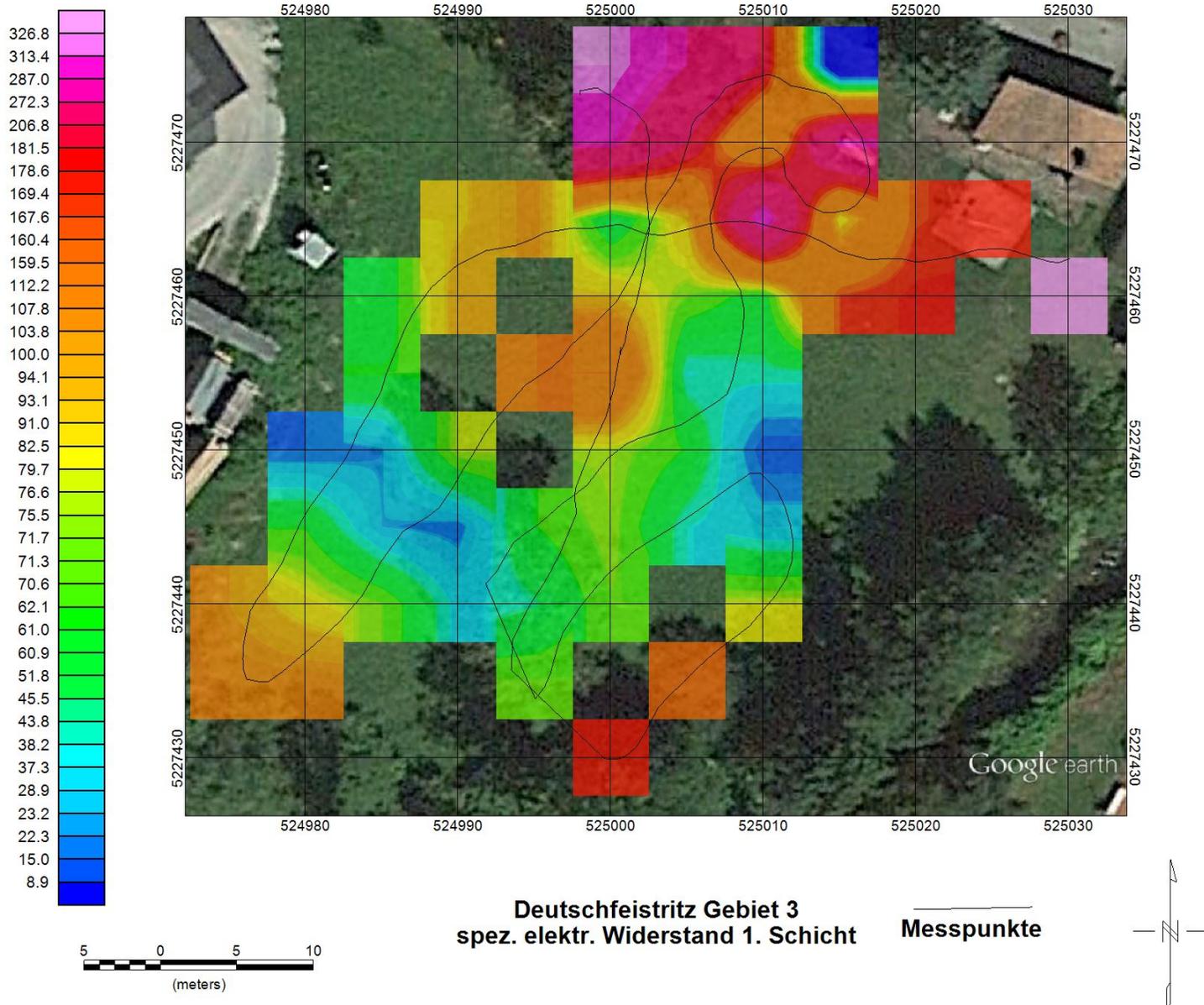


Abb. 13: Zwei-Schicht-Fall Ergebnis Gebiet 3: elektrischer Widerstand der 1. Schicht.

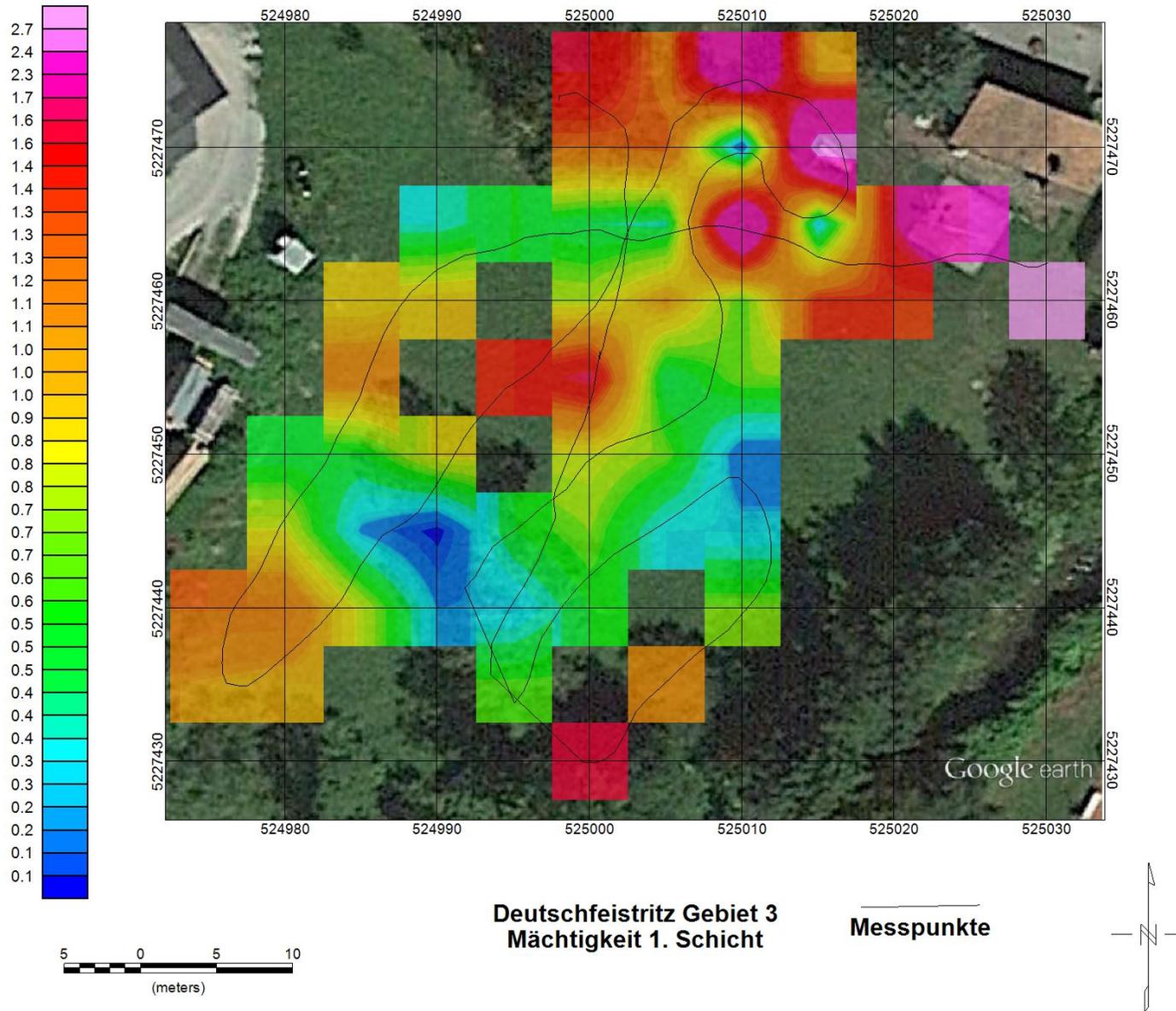


Abb. 14: Zwei-Schicht-Fall Ergebnis Gebiet 3: Mächtigkeit der 1. Schicht.

Deutschfeistritz Gebiet 1
Profil 16 Leitfähigkeit

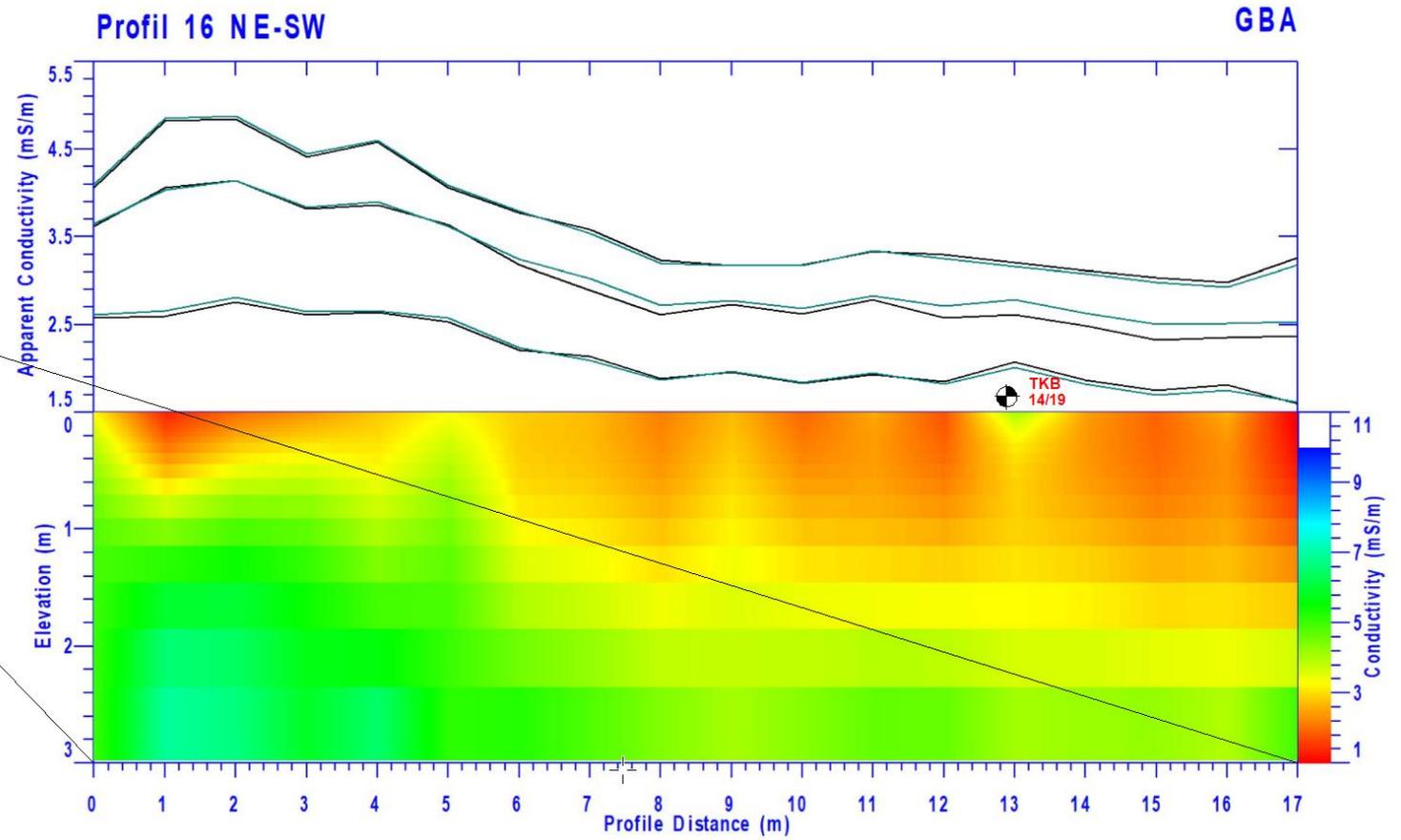
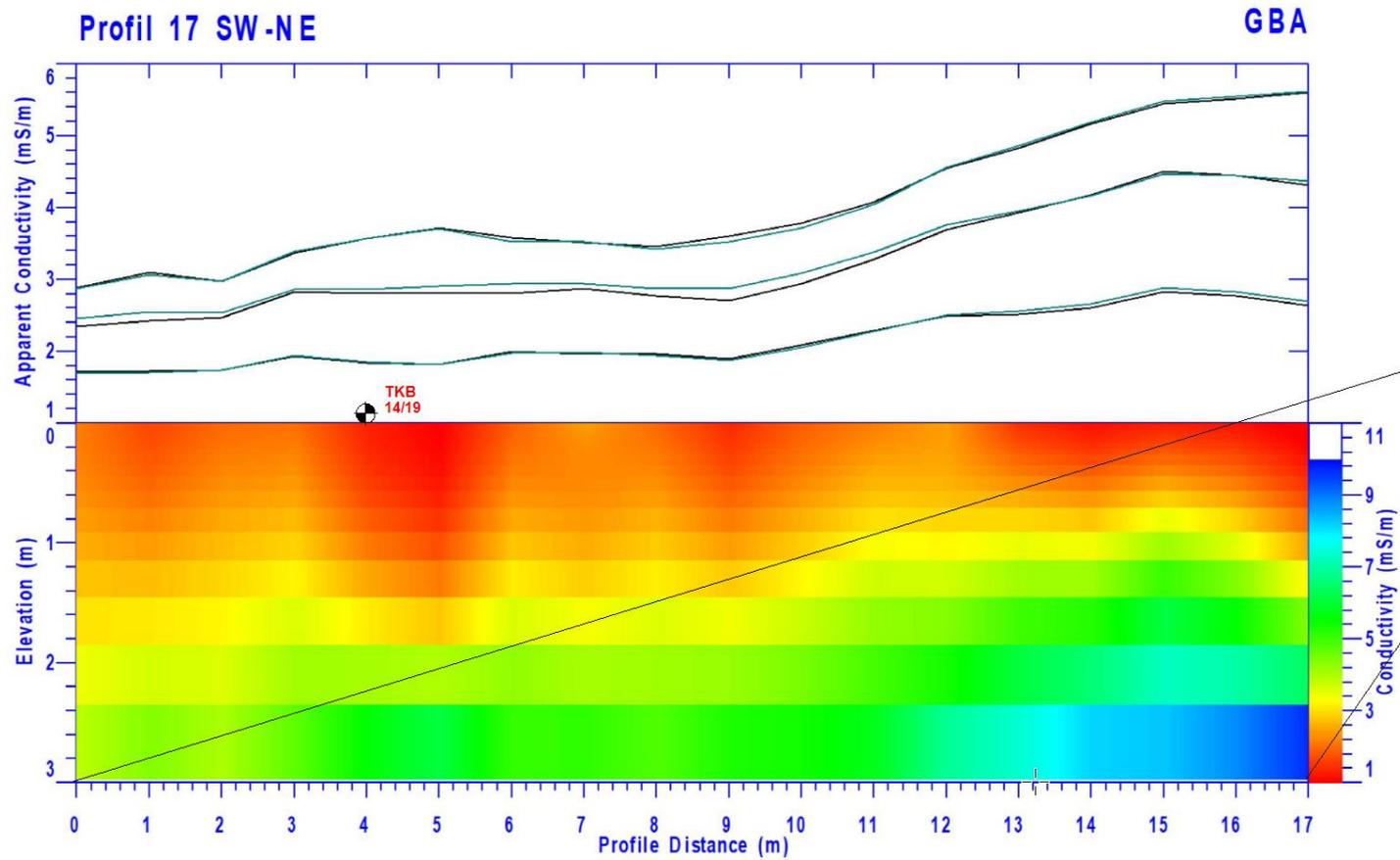


Abb. 15: Vertikalschnitt Leitfähigkeit entlang Profil 16, Gebiet 1.



Deutschfeistritz Gebiet 1
 Profil 17 Leitfähigkeit

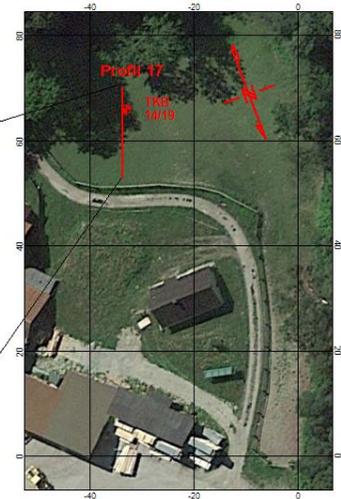


Abb. 16: Vertikalschnitt Leitfähigkeit entlang Profil 17, Gebiet 1.

**Deutschefeistritz Gebiet 1
Profil 0 Leitfähigkeit**



 Daten gestört durch anthropogene Einbauten (Leitungen, Schranken, Zaun etc.)

Profil 0 NE-SW

GBA

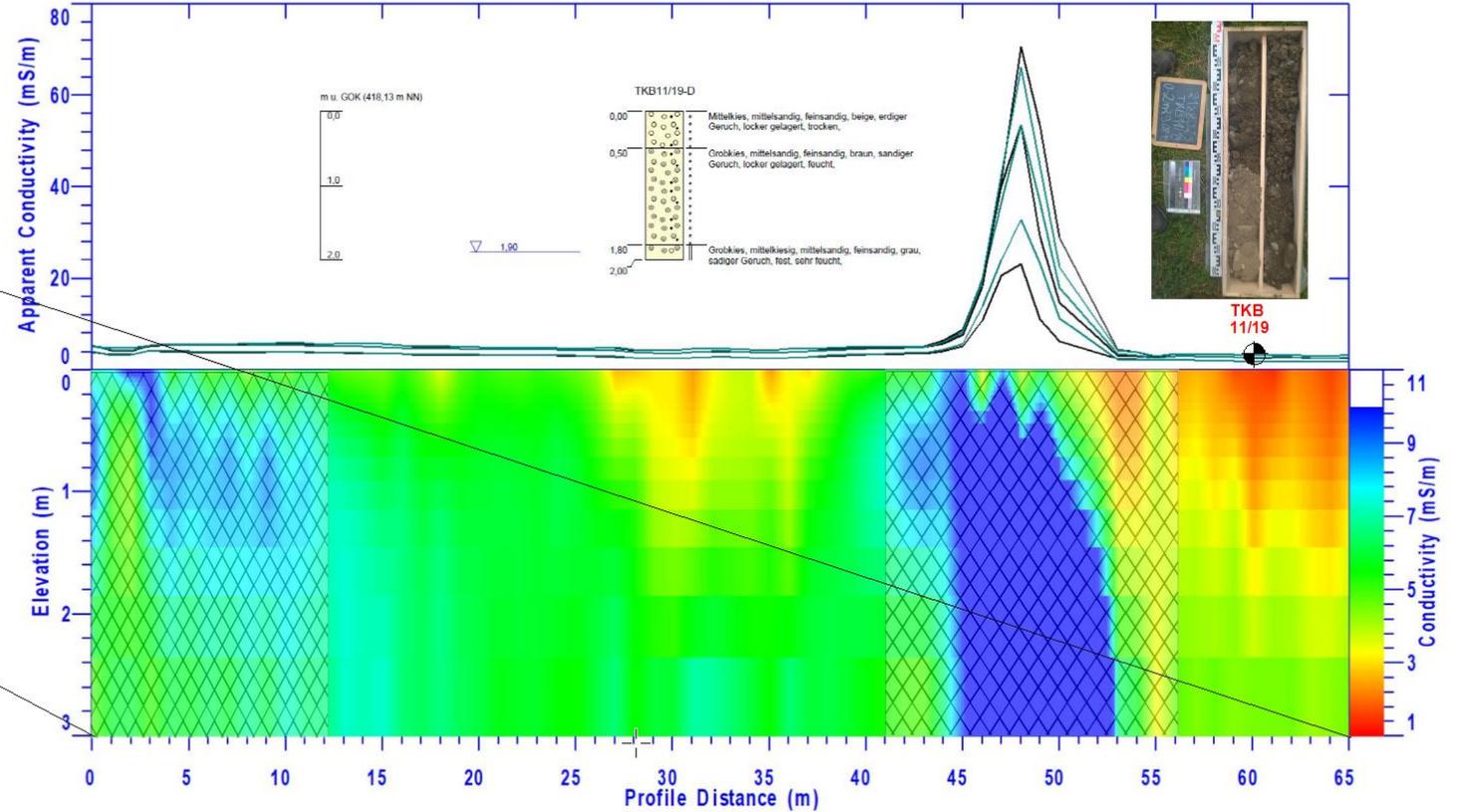


Abb. 17: Vertikalschnitt Leitfähigkeit entlang Profil 0, Gebiet 1 in Gegenüberstellung mit den Bohrerergebnissen der Bohrung TKB 11/19

3.2. Testgebiet Aufbereitungshalde des Pb-Zn-Bergbaus Haufenreith

3.2.1 Aufbereitung Haufenreith

Der Bergbau Haufenreith geht 1909 in den Besitz der französischen Gesellschaft ' Societè anonyme des Mines d'Haufenreith' über, die umfangreiche Erschließungsarbeiten durchführte und in einem weiteren Ausbauschritt eine neue nassmechanische Aufbereitungsanlage errichtete. Vorher erfolgte die Anreicherung des zerkleinerten und klassierten Erzes in erster Linie mittels Handscheidung. Die tägliche Produktionsmenge an Roherz im Bergbau betrug um 1912 36 t (OKORN 1912). Die mögliche monatliche Produktion für das Haufenreither Revier schätzte KLOSS (1915) im Jahr 1915 auf 336 - 392 t Fördererz mit einem Gesamtmetallgehalt von 12-18 %.

Das eingesetzte nassmechanische Verfahren brachte allerdings große Aufbereitungsverluste mit sich. Nach einer Zusammenstellung von MAYER & SCHÖN (1923) lagen die Aufbereitungsverluste in den Jahren 1911 - 1917 bei Blei zwischen 32 und 57 % (Tab. 5).

	Rohaufgabe	% Pb	% Pb
	% Pb	im Konzentrat	Ausbringung
1911	14	43,5	57
1912	13	42,6	54
1913	15	41	48
1914	12	40,5	54
1915	14	40	32
1916	10,5	42,1	50
1917	7	41,1	59,2

Tab. 5. Zusammenstellung der durchschnittlichen Aufbereitungsergebnisse 1911-1917 (nach MAYER & SCHÖN, 1923)

In den zur Verfügung stehenden Unterlagen liegen aber keine exakten Angaben bezüglich der Zinkgehalte der in die Aufbereitung gelangenden Erze und der Aufbereitungsverluste vor. Es ist jedoch von ähnlichen Gehalten wie beim Blei auszugehen. Nach einer Angabe von KLOSS (1910) betrug in diesem Jahr der Zinkgehalt der im benachbarten Bergbau Arzberg geförderten Erze bis zu 20 %. Da die Aufbereitungsverluste bei Zink -ähnlich wie bei Blei- bei etwa 50 % lagen, kann dementsprechend von beträchtlicher Blei- und Zinkrestgehalten im Bergematerial zum Zeitpunkt der nassmechanischen Erzaufbereitung (1909-1922) in Haufenreith ausgegangen werden.

Zur Aufbereitung der in der Kriegszeit entstandenen Halden -vor allem der Mittelkonzentralthalden- wurde ab 1921 die Aufbereitung durch den Einbau von Klassiertrommeln und weiteren Setzmaschinen erweitert (WEISS, 2005). Aufgrund des schlechten Wirkungsgrades wurde die Anlage 1922/23 modernisiert und erstmals in der Steiermark eine Flotationsanlage errichtet, die jedoch nur kurze Zeit in Betrieb stand. Die Aufbereitung der Erze erfolgte dabei nach dem in Abb. 18 zusammengefassten Verfahrensstammbaum. Das auf die Halde gestürzte Bergematerial tritt in verschiedenen Aufbereitungsebenen mit unterschiedlichen Körnungen (> 15 mm, 2-4 mm, 1-2 mm, < 1mm) auf, wobei das Grobmaterial (> 15 mm) aber vorrangig als Schüttmaterial für den Wegebau verwendet wurde. Die Körnungen < 4 mm wurden weitgehend auf die Halde verstürzt. Die Aufbereitungshalde zeigt einen schichtigen Aufbau, wobei die variablen Korngrößenzusammensetzungen sehr gut diese hierarchischen Abtrennschritte widerspiegeln. Zum besseren Verständnis des internen Korngrößenaufbaus der Aufbereitungshalde sei auf eine detaillierte Beschreibung des Flotations-Aufbereitungsprozesses bei MAYER & SCHÖN (1923) verwiesen.

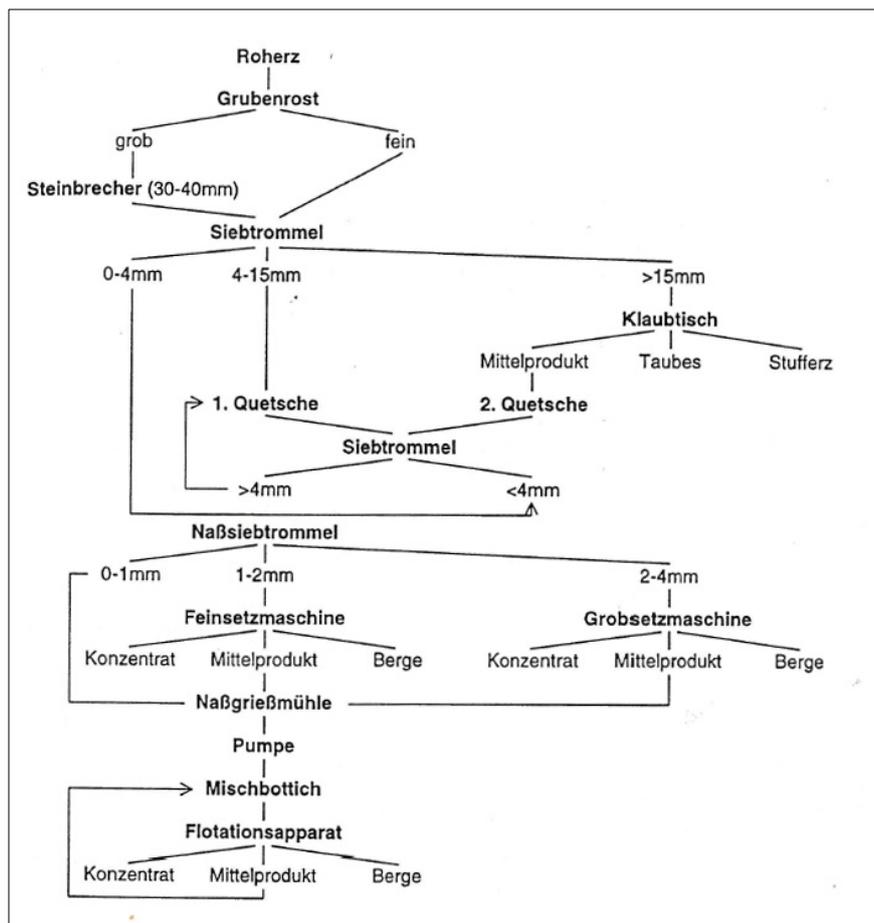


Abb. 18: Verfahrensstammbau der Aufbereitung Haufenreith (MAYER & SCHÖN, 1923; aus SCHERMANN & SCHEDL, 1994)

Die auf den Halden aufgestapelten, vorsortierten Haldenerze wurden mittels eines Schrägaufzuges in den Steinbrecher befördert und auf etwa 30-40 mm vorgebrochen. Das zerkleinerte Material wurde anschließend in einer Siebtrommel in die Kornfraktionen <4 mm, 4-15 mm sowie >15 mm getrennt. Die Fraktion > 15mm gelangte auf den Klaubtisch, wo Taubes und Stufferz manuell abgetrennt und vom Mittelprodukt gesondert wurde. Die Fraktion 4-15 mm sowie das Mittelprodukt vom Klaubtisch wurden in zwei getrennten Quetschen zerkleinert und mittels Siebtrommel in Fraktionen <4 mm bzw. >4 mm getrennt. Bei der größeren Kornfraktion erfolgte ein weiterer Zerkleinerungsschritt. Mittels einer Nasssiebtrommel wurde das gesamte Material <4 mm in die Korngrößen 0-1 mm, 1-2 mm (Feinkorn) sowie 2-4 mm (Grobkorn) klassiert. Fein- und Grobkorn behandelte man anschließend getrennt in Fein- bzw. Grobsetzmaschinen. In diesem Aufbereitungsschritt kam es zur Abtrennung in Konzentrat, Mittelprodukt und Berge. Die anfallenden Mittelprodukte zerkleinerte man mittels einer Nassgrießmühle und führte die daraus resultierende Trübe der Flotationsanlage zu. Die Flotationsanlage bestand aus vier Zellen. Die beiden ersten Zellen lieferten das Fertigprodukt, die dritte und vierte Zelle ein Mittelprodukt, das durch Zurückpumpen in einem Mischbottich einer erneuten Flotation zugeführt wurde. Die gewonnenen Konzentrate entwässerte man anschließend mittels einer Filterpresse. Die Erzschliche kamen mit etwa 17% Feuchte aus der Filterpresse und wurden einer Lufttrocknung unterzogen bis sie in einem verladefertigen Zustand waren.

Der Durchschnittsgehalt der bei der Flotation durchgesetzten Bleierze betrug nach MAYER & SCHÖN (1923) in einer viermonatigen Betriebsperiode im Jahre 1923 5,09 % Pb, bei einem Höchstgehalt von 9%. Durch die Flotation konnte damit eine Ausbeute an Blei von 70% erreicht werden, die deutlich höher als die der nassmechanischen Aufbereitung war. Der Bleigehalt in den auf die Halde gestürzten Abgängen lag somit im Durchschnitt nur mehr bei etwa 1,3 %. 1923 stand lediglich ein Abbau auf Bleiglanz in Betrieb. Die Gesamterzeugung im Flotationsprozess betrug zu diesem Zeitpunkt nur mehr 60 t (ROTTLEUTHNER, 1923).

Im Jahr 1924 erwarb die Haufenreither Blei- und Zinkerz-Bergbau Aktiengesellschaft Bergbau und zugehörige Aufbereitung. Zur Aufarbeitung der vorhandenen Halden wurde die inzwischen wieder in Stand gesetzte Aufbereitung erweitert. Ab dem Jahr 1926 nahm die Bergwerks Union AG die Erzkonzentrate ab. Im Jahr 1927 erfolgte eine weitere Reduktion des Betriebs und schließlich 1928 die völlige Einstellung des Bergbaus.



Abb. 19: Aufbereitungsanlage Haufenreith um 1920; links Bildmitte Teile der Haldenschüttungen entlang der Raab; Blickrichtung gegen Südwesten (Foto Gemeinde Arzberg)



Abb. 20: Aufbereitungsanlage Haufenreith um 1920 (Foto: Gemeinde Arzberg)

3.2.2 Aufbereitungshalde

3.2.2.1 Haldenmorphologie

Die Aufbereitungshalde lässt sich aufgrund der Betriebsdauer der Erzaufbereitung im Bereich des Bergbaus Haufenreith zeitlich relativ scharf abgrenzen. Die ca. 300 m langgezogene, 4-30 m breite und 1-8 m hohe Halde schließt entlang der Straße zwischen Arzberg und Haufenreith am orographisch rechten Raabufer unmittelbar südlich an die Aufbereitung an (Abb. 21). Eine schmale Haldenschüttung liegt entlang der Haldenböschung am Topbereich der Halde (Abb. 22). Ursprünglich war auch hier der Haldenfuß am damaligen Fahrweg durch eine Trockenmauer abgestützt. Die Bezirkshauptmannschaft Weiz schrieb außerdem im Jahr 1914 vor, das Material unter dem natürlichen Böschungswinkel abzugleichen und die Böschungen zu besamen (Inspektionsbericht im Archiv der Berghauptmannschaft Graz 1914). Im Befahrungsbericht von 1918 (Archiv der Berghauptmannschaft Graz) wurde der Haldensturzplatz als „schon gänzlich unzureichend“ bezeichnet; zum Teil war bereits Material über die Stützmauer abgestürzt, zum Teil bis zum Hang des südlich anschließenden Bauernhofes gerollt. Die Kubatur der Halde beträgt nach groben Schätzungen über 10.000 m³. Genauere Angaben lassen sich auf Basis der Geländefunde derzeit noch nicht machen. Die Konfiguration der Halde entlang der Hangböschung ist auch auf Basis der ergänzenden geophysikalischen Vermessungsarbeiten noch nicht ganz klar (siehe Kap. 3.2.5). Gesamttonnagen über 22.000 t sind aber als gesichert anzunehmen.

Eine Grubenkarte des Bergbaus Haufenreith (Lagerstättenarchiv GBA, Abb. 23) zeigt relativ detailliert die Haldenkonfiguration um 1920, die auch noch in ihren Grundzügen dem heutigen Aussehen entspricht. Die Halde schmiegt sich in der Talenge sichelförmig an die westlich anschließende Hangmorphologie. Im südlichen Abschnitt hat die Halde auch ihre größte Breite und Mächtigkeit, in Richtung ehemalige Aufbereitungsanlage keilt der hier sehr schmale Haldenkörper aus. Hangseitig liegt im Südwesten ein kleiner, geringmächtiger Haldenkörper auf dem Haldentop des großen Haldenkörpers. Das Haldenplateau liegt im Grenzbereich zu einer westlich anschließenden Waldfläche und zeigt bereichsweise einen dichten Baumbewuchs. Ein Teilbereich des Haldenplateaus ist abgezaunt und wird temporär als Pferdekoppel genutzt. An ihrem Südenende ist die Halde durch eine Wegerweiterung angeschnitten, wobei auch Haldenmaterial für die lokale Wegschotterung entnommen wurde.



Abb. 21: Digitales Geländemodell (DGM) - Aufbereitungshalde Haufenreith (Quelle: Digitaler Atlas Steiermark)

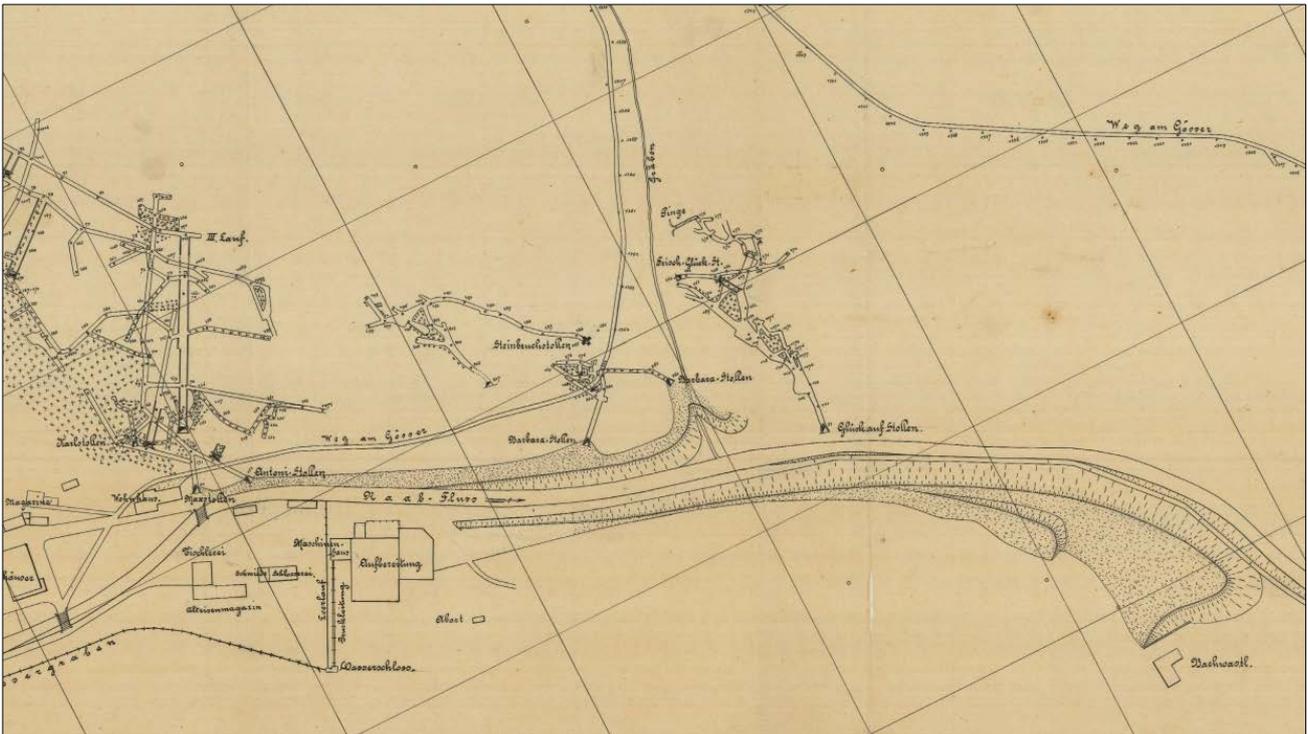


Abb. 22: Areal der Erzaufbereitung in Haufenreith mit langgezogener Haldenschüttung entlang des Raab-Flusses (Ausschnitt aus der ‚Grubenkarte von Arzberg und Haufenreith‘; Originalmaßstab 1:1.000, Lagerstättenarchiv GBA)

Das unmittelbare Areal der ehemaligen Aufbereitungsanlage untersteht gegenwärtig keiner intensiven Waldnutzung, der südwestlich an die Aufbereitungshalde anschließenden Teil wird landwirtschaftlich genutzt (Weideland bzw. Grünfüttererzeugung).

3.2.2.2 Haldenzusammensetzung

Der komplexe Internaufbau der Aufbereitungshalde ist anhand der bekannten Aufbereitungsschritte relativ gut charakterisierbar, wenngleich der Haldenkörper im Wesentlichen nur am Südrand über einen größeren Querschnitt zu beobachten ist. Das Haldenmaterial setzt sich vorrangig aus fein- bis grobkörnigen Aufbereitungsabgängen zusammen, wobei in den aufgeschlossenen Haldenbereichen eine auffallende Wechsellagerung zu beobachten ist (vgl. Abb. 23 bis 24). Feinstabgänge aus der Nassmechanischen Aufbereitung wurden hier offensichtlich mit Grobabgängen wechsellagernd deponiert. Im zentralen Topbereich der Halde liegt in Teilbereichen eine geringmächtige Schicht feinstkörniger Flotationsabgängen aus der letzten Betriebsphase der Aufbereitung. Ebenfalls im Topbereich der Halde -vor allem im Südbereich gehäuft- tritt auch grobstückiges Hauwerk (Serizit-Chloritphyllite, untergeordnet Schwarzschiefer) auf (Abb. 25). Zumeist handelt es sich dabei um Taubmaterial, vererzte Komponenten sind dabei nur selten anzutreffen.

Die Halde zeigt nicht nur eine große vertikale Varianz, sondern dürfte auch im lateralen Verlauf große Korngrößen-/Materialunterschiede aufweisen. Aus dem Verfahrensstammbaum lassen sich sehr gut die einzelnen Bergegruppen definieren, die im Aufbereitungsprozess in den unterschiedlichen Verfahrensschritten anfielen und die gleich neben der Aufbereitung verhaldet wurden (vgl. Abb. 18). Nach Siebtrommel wurden am Klaubtisch die Taubgesteine > 15 mm händisch ausgeklaut. In dem der Nasssiebtrommel nachgeschalteten Verfahrensschritt fielen Bergematerial sowohl bei der Feinsetzmaschine (1-2 mm) als auch bei der Grobsetzmaschine (2-4 mm) an. Vom Mengenaufkommen dürften diese Aufbereitungsabgänge die Hauptmassen der Aufbereitungshalde ausmachen. Nach 1923 kamen als finale Aufbereitungsabgänge Feinstberge (0-1 mm) der Flotation hinzu. Diese Feinstabgänge sind am Haldentop teilweise noch aufgeschlossen. Da die Flotation nur ganz wenige Jahre (2-3

Jahre) in Betrieb stand, dürfte deren Anteil am Aufbau der Aufbereitungshalde sehr gering sein und im wesentlichen die obersten 2-3 dm der Aufbereitungshalde betreffen. Mengenmäßig lassen sich Aufbereitungsabgänge jedoch mangels Ausgangsdaten nicht bilanzieren. Insgesamt dürften in 17 Betriebsjahren geschätzte 70.000 t Roherze aus dem Bergbau gefördert worden sein. Das tatsächliche Aufgabegut in der Aufbereitung lässt sich daraus nicht ableiten, da ein Teil der Förderung bereits im Grubenrost abgeschieden wurde. Aus den geschätzten 18 % Pb+Zn-Gehalten in den Roherzen und den rund 50 % Aufbereitungsverlusten bei der nassmechanischen Aufbereitung in den Jahren 1909-1922 landeten aber über 90 % der Rohaufgabe der Aufbereitung auf Halde oder wurden anderweitig verwendet.



Abb. 23: Feinkörniger, stark verwitterter Aufbereitungsabgang mit beprobten Profilschnitt am SW-Rand der Aufbereitungshalde



Abb. 24: Feinkörniger, stark verwitterter Aufbereitungsabgang, teilweise mit Grobkomponenten; SW-Rand der Aufbereitungshalde



Abb. 25: Aufbereitungshalde Haufenreith, freiliegendes Haldentop mit Hauwerksbedeckung; SW-Rand der Aufbereitungshalde

3.2.3 Geochemische und mineralogische Untersuchungen

3.2.3.1 Probenahme

Im Bereich der Aufbereitungsanlage wurden im Rahmen verschiedener Vorprojekte bereits eine Reihe von orientierenden Beprobungen von Boden-, Haldenmaterial und Pflanzenaufwuchs durchgeführt (SCHERMANN & SCHEDL, 1994; AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG;1995; SCHEDL et al. 2011, 2012). Der Hauptfokus dieser Untersuchungen galt dabei umweltgeochemischen Fragestellungen sowie begleitenden Untersuchungen für die Artikel 20-Meldung gemäß EU-Bergbauabfall-Richtlinie.

Eine repräsentative Beprobung des gesamten Haldenkörpers liegt bis dato noch nicht vor. Aufgrund des sehr heterogenen Aufbaus der Aufbereitungshalde sind repräsentative Aufschlüsse aber nur mittels Seichtbohrungen möglich. Bei dem Projekt ‚Haldenscreening‘ und dem aktuellen Projekt ‚Haldenressourcenkataster‘ wurden lediglich orientierende Haldenbeprobungen -meist auf der Haldenoberfläche- durchgeführt (Abb. 26). Dabei wurden verschiedene Beprobungstechniken für unterschiedliche Untersuchungsschritte und Analyseverfahren angewandt: Bei der überwiegenden Zahl der Proben handelt es sich oberflächennahe Probenahmen mit einer Probenahmetiefe von max. 30 cm. Am SW-Rand der Halde wurde auch 3 Schlitzproben an einem rund 1 m langen Haldenprofilanschnitt genommen (134-5005-504a bis 504c).

Die auf die spezifische Fragestellung von Haldeninhalte abgestimmte Zielprobe ist im Regelfall die Kornfraktion < 2 mm, die direkt im Gelände mittels Siebung gewonnen wird. wurde die Siebfraktion < 2 mm unmittelbar vor Ort gesiebt und anschließend mittels mobiler RFA analysiert (Abb. 27). Beim bisherigen Einsatz der mobilen RFA zur geochemischen Charakterisierung von Bergbauhalden hat sich nämlich gezeigt, dass diese Siebfraktion auch bei geringen Probenmengen wesentlich repräsentativer für die Haldeninhalte ist als grobstückige Einzelproben von der Haldenoberfläche.

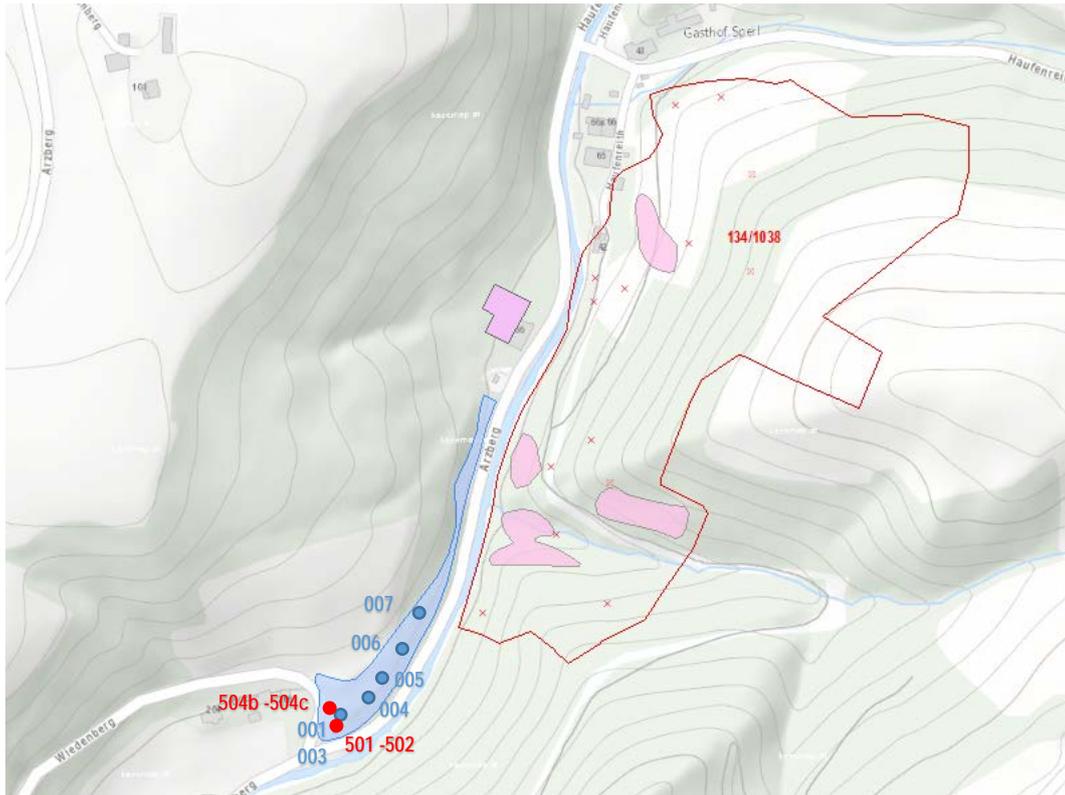


Abb. 26: Probenahmeplätze für geochemische Haldenanalytik im Rahmen des Projekts ‚Haldenscreening‘ (rot; SCHEDL et al. 2011, 2012) und gegenständlichem Projekt ‚Haldenressourcenkataster‘ (blau; 001 bis 007)



Abb. 27: Beprobter Profilschnitt SW-Bereich der Aufbereitungshalde; in situ-Messungen mittels mobiler RF

Zusätzlich zu den 7 Proben aus dem Projekt ‚Haldenscreening‘ wurden für das Projekt ‚Haldenressourcenkatalog‘ entlang eines NE-SW-Profiles auf der Aufbereitungshalde 9 weitere Proben für geochemische Untersuchungen gezogen. 6 Proben wurden dabei direkt im Gelände mittels mobiler RFA gemessen, 3 im Labor der GBA. Im Zuge des Projekts ‚Haldenscreening‘ wurden zu analytisch-methodischen Vergleichszwecken zwei Proben sowohl gesiebt (< 2mm) als auch ungesiebt beprobt und im Labor der GBA getrennt analysiert. Für die mineralogisch-mikrochemischen Spezialuntersuchungen wurden zusätzlich 2 Großproben (rund 8-10 kg) am SW-Rand sowie NW davon im Zentralbereich der Halde NW entnommen.

3.2.3.2 Ergebnisse der geochemischen Untersuchungen

Die Analytik erfolgte zum einen Teil mittels mobiler RFA im Gelände, zum anderen Teil im Labor der FA Geochemie der Geologischen Bundesanstalt mittels RFA (Haldenproben/Gesamtgehalte), teilweise ICP-MS und LECO (C- und S-gesamt in Haldenproben). Im Folgenden sind die Ergebnisse sämtlicher Analysen aller aus dem Bereich der Aufbereitungshalde Haufenreith untersuchten Proben berücksichtigt (vgl. Tab. 6 bis 8).

Die analysierten Haldenproben zeigen erwartungsgemäß die für die Pb-Zn-Vererzung von Haufenreith typischen Elementmuster. Insbesondere erreichen dabei die Zn- und Pb-Gehalte extrem hohe Werte. Die Bandbreite bei Zink liegt meist zwischen 1,8 % und 7,8 %. In den schmalen Zwischenlagen mit tauben Aufbereitungsabgängen kann der Zink-Gehalt unter 0,6 % sinken. Die Pb-Gehalte liegen tendenziell etwas niedriger bei 0,1-5% und damit auch deutlich niedriger als in den errechneten Daten aus den Betriebsarchiven. Das Zn/Pb-Verhältnis schwankt stark zwischen 2 und 20. Lediglich bei einer Probe (Hauf 001) liegt der Blei-Gehalt mit 5 % deutlich über dem von Zink (2,2%).

Der Bergbau Haufenreith konzentrierte sich im Wesentlichen auf zwei bedeutenden Lagervererzungen (Maxlager, Mariannenlager; WEBER, 1990). Die Vererzung setzt sich in variablen Verhältnisse aus Sphalerit und Galenit zusammen. Gegen die stratigraphische nimmt der Sphaleritanteil deutlich zu, wobei in der tiefsten Sohle des Maxlagers nur mehr reiner Sphalerit abgebaut wurde (WEBER, 1990). Baryt fehlt hingegen im Liegenlager (Maxlager) vollständig. Durch die Variabilität der Vererzung und der aufbereitungstechnischen Gegebenheiten sind im vertikalen Verlauf der Aufbereitungshalde keine signifikanten geochemischen Trends abzulesen.

Aufgrund des schlechten Wirkungsgrades der nassmechanischen Aufbereitung (bis 1922) besteht der überwiegende Teil der Aufbereitungshalde aus Abgängen mit relativ hohen Metallgehalten. Bei einem Durchschnittsgehalt der aufbereiteten Roherze von etwa 12 % und Aufbereitungsverlusten zwischen 41 und 68 % wären dies Blei-Gehalte von 5 bis 8 % in den deponierten Aufbereitungsabgängen. 1923 lag der Bleigehalt in den auf die Halde gestürzten Abgängen der neuen Flotationsanlage im Durchschnitt bei etwa 1,3 %. (MAYER & SCHÖN, 1923). Inwieweit die aktuell analysierten Pb-Gehalte diesen verbesserter Ausbringungsgrad als Folge der neuen Flotationsanlage entsprechen, lässt sich beim derzeitigen Informationsstand nicht beurteilen. Niedrige Blei-Gehalte (< 1 %) wurden nämlich nicht nur in den Oberflächenproben gemessen, sondern auch in Profilproben aus tieferen Abschnitten der Halde.

Eindeutig indikativ für die auftretende Buntmetallvererzung sind auch die Gehalte an Barium (bis 1.961 ppm) und Cadmium (bis 201 ppm), wobei das Fehlen von Baryt im Maxlager im entsprechenden Verteilungsmuster der Aufbereitungshalde nicht ersichtlich ist. Die Begleitmineralisation bestehend aus Pyrit, Chalkopyrit, Arsenopyrit, und Fahlerz zeigt sich auch in den variablen Gehalten an As, Cu, Co und Sb.

Bei der Beprobung der Halde im Rahmen des Projekts ‚Haldenscreening‘ (SCHEDL et al., 2011, 2012) wurde auch der Effekt der Korngröße auf die geochemische Zusammensetzung der Halde überprüft. Die bei den Haldenbeprobungen der GBA eingesetzte Standardsiebfraktion < 2 mm und die ungesiebte Originalprobe zeigen

aufgrund der generellen Feinkörnigkeit der Aufbereitungsabgänge in dieser Halde praktisch keinerlei Unterschiede.

Im aktuellen Projektvorhaben wurden schließlich auch Schwermineralkonzentrate analysiert, die bei der Anreicherung für die ebenfalls durchgeführten mineralogisch-mikrochemischen Untersuchungen gewonnen wurden. Konform mit dem hohen Anteil von Zink- und Bleisulfiden sowie Zink- bzw. Blei-Sekundärphasen in den Konzentraten sind diese beiden Elemente in den Schwermineralkonzentraten extrem angereichert (bis 30 % Zn, bis 16,4 % Pb). Die am SW-Rand der Halde sowie im zentralen mittleren Teil der Halde gezogenen Großproben zeigen sowohl in der Mineralogie der Schwerminerale (siehe. Anhang) als auch im Chemismus deutliche Unterschiede. In der Probe vom SW-Rand (Probe 018003) dominiert Pb (16,4 %) gegenüber Zink (4,3%), während die zweite Probe (Probe 018005) wesentlich metallreicher (32,1 % Zn+Pb) bei Dominanz von Zn (30 %) ist.

	134-5005-Hauf-001	134-5005-Hauf-004	134-5005-Hauf-007	Probe 018003 Haufenreith Süd Schwer- mineralkonz.	Probe 018005 Haufenreith Nord Schwer- mineralkonz.
As	< 1	< 1	< 1	77	61
Ba	874	701	1962	73	406
Cd	61	160	85	135	1024
Ce	89	123	92		
Co	42	21	29	61	126
Cr	50	50	84	19	22
Cs	2	7	11		
Cu	361	109	136	1051	569
Ga	3	8	7		
La	46	71	50		
Nb	34	61	44		
Nd	30	45	37		
Ni	49	31	36	49	35
Pb	49825	3284	10356	164406	20788
Rb	68	62	116	9	15
Sb	43	28	24		
Sc	10	11	8		
Sr	193	198	134	235	115
V	89	88	98	29	21
Y	6	25	25		
Zn	22445	31936	32442	42923	299784

Tab. 6: Ausgewählte geochemische Analysenergebnisse von Haldenproben sowie Schwermineralkonzentrat der Aufbereitungshalde Haufenreith (< 2 mm bzw. < 0,18 mm; Labor RFA; in ppm)

	134/5005/501 <2mm	134/5005/502 ungesiebt	134/5005/503 < 2mm	134/5005/504 ungesiebt	134/5005/504a mob. XRF	134/5005/504b mob. XRF	134/5005/504c mob. XRF
Ag	1	9	4	4	52	49	61
As	39	35	40	38	100	209	81,8
Ba	6218	5285	1245	1198	1328	634	1062
Cd	94	80	195	201	141	99	150
Co	23	25	30	38			
Cr	59	63	49	44	195	178	132
Cu	102	97	74	75	99	115	63
Hg	5	4	6	5	64	50	47
Mo	3	3	4	3			
Nb	36	38	41	38			
Ni	40	40	26	30			
Pb	11047	10557	5560	5645	4629	3363	3111
Rb	101	102	73	73			
Sb	17	16	10	10			
V	157	130	73	84	93	116	
Y	14	9	13	13			
Zn	28117	24230	55267	58457	78634	60063	6399

Tab.7: Ausgewählte geochemische Analysenergebnisse von Haldenproben der Aufbereitungshalde Haufenreith (Fraktion < 2mm, und ungesiebt Labor RFA; mobile RFA; in ppm) (SCHEDL et al. 2011, 2012)

	134-5005-002	134-5005-003	134-5005-004	134-5005-005	134-5005-006	134-5005-007
Ba	407,64	746,35	1324,91	773,39	902,04	1636,89
Cd	17	54,18	81,1	68,15	65,19	66,9
Cu	192,72	127,26	99,44	53,32	192,84	132,15
Ni	101,92	75,2	197,19	43,78	80,97	88,57
Pb	144,58	3892,49	4208,66	957,81	21373,76	7112,52
Zn	442,76	25643,76	46913,39	18475,47	22484,44	32598,69
Fe	63492,48	52038,14	54156,68	35663,78	124361,61	56723,59
Ti		2939,53	1615,4	3553,31	5220,58	2901,8
S	1804,32	3792,19	2747,54	1112,81	7345,17	2528,12

Tab. 8: Ausgewählte Analysenergebnisse geochemischer Geländemessungen mittels mobiler RFA; Aufbereitungshalde Haufenreith (Fraktion < 2mm, in ppm)

3.2.3.3. Ergebnisse der mineralogisch-mikrochemischen Untersuchungen

Eine ganz wesentliche Fragestellung bei der Bewertung von Haldeninhaltsstoffen bzw. Stoffflüssen in und aus Haldenkörpern betrifft die Auswahl geeigneter Untersuchungsmethoden zur Abklärung dieser Prozesse. Neben verschiedenen klassischen geochemischen Untersuchungsmethoden haben sich in den letzten 20 Jahren in Österreich bei verschiedenen Untersuchungsprogrammen im Bereich von Bergbauen (Bergbau-/ Haldenkataster, Haldenscreening, Kritische Mineralrohstoffe) mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen (Mineralphasenanalytik) als flankierende Methodik zur Bewertung von Bergbauhalden bewährt. Bei der Bewertung des Rohstoffpotenzials von Sekundärrohstoffen ist zudem die genaue Kenntnis der Trägerphasen für die geochemisch indizierten Wertstoffe wichtig.

Die Aufbereitung und Präparation des Probenmaterials für mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen variiert entsprechend der unterschiedlichen Probenmedien und Fragestellungen, läuft nach einem jahrelangen Einsatz nach standardisierten Vorgaben ab. Die methodische Vorgangsweise für diese Untersuchung orientiert sich

im Routinebetrieb an folgenden (spezifischen) Arbeitsschritten:

Aufbereitung und Präparation:

- Trocknung aller Proben im Trockenschrank bei max. 60 Grad, wenn notwendig
- Siebung der Proben im Labor auf <0,7 mm bzw. <0,35 mm
- Teilen/Vierteln aller Proben in Untersuchungs- und Rückstellproben
- Trennung aller Proben nach spezifischem Gewicht in Fraktionen $\sigma > 2,98$ und $\sigma < 2,98$ mittels Schwereflüssigkeit
- Trennung der Sedimentproben in magnetische und nichtmagnetische Fraktionen (mit Handmagnetscheider)
- Trennung der nichtmagnetischen Fraktion der Sedimentproben in die Teilfraktionen < 0,06mm und > 0,06mm
- Präparation aller Proben und Herstellung von Dünnschliffen, polierten Dünnschliffen und Anschliffen

Mineralogische Untersuchung:

- visuelle Durchsicht aller Proben mittels Binokulars, zusätzlich auch mit UV-Licht
- lichtoptische Untersuchungen (mit Auflicht- und Durchlichtmikroskop) – Identifizierung der Phasen
- Mikrosonden- und elektronenmikroskopische Untersuchungen einschließlich Phasen-Analytik mittels EDAX-Zusammensetzung der Phasen und Spurenelementgehalte (Schnellübersichten und Detailphasenuntersuchungen)

Interpretation und Dokumentation:

- Auflistung aller bestimmten (Mineral-)Phasen einschließlich Beschreibung der jeweiligen Spurenelementgehalte
- Quantifizierung der Hauptphasen
- Ableitung der Quellen der jeweiligen Zielrohstoffe

Im Rahmen des gegenständlichen VG-Projekts wurden insgesamt 2 Proben (Fein- und Grobmaterial) des Aufbereitungs- abgangs sowie zu Kontrollzwecken eine vererzte Hauwerksprobe (aus der Aufbereitungshalde) untersucht. Zusätzlich standen die mineralogischen Untersuchungsergebnisse einer weiteren Haldenprobe aus dem Projekt ‚Haldenscreening‘ (SCHEDL et al. 2012) zur Verfügung.

Die Untersuchungsergebnisse sind im Anhang nach einheitlichen Vorgaben dokumentiert:

- o Auflistung und Beschreibung der identifizierten Phasen und deren Häufigkeit in der jeweiligen Probe;
- o zusammenfassende Auflistung nach Schwermetallen und sonstigen Elementen
- o Spurenelementgehalte von ausgewählten Mineralphasen auf Basis von Mikrosondenmessungen
- o zusammenfassende mineralogische Charakteristik der untersuchten Proben
- o Gesamtdokumentation mit ausgewählten Schliffotos und Elementverteilungsbildern.

Vorangestellt ist eine kurze Zusammenfassung der mineralogisch-mikrochemischen Untersuchungsergebnisse der 4 untersuchten Haldenproben, die detaillierten Untersuchungsergebnisse finden sich im Anhang.

Die grobstückige Hauwerksprobe (18004/1) aus der Aufbereitungshalde ist keine typische Erzprobe aus dem Bergbau Haufenreith: Sie wurde deshalb mituntersucht, da dieses Material am Top der Aufbereitungshalde sehr verbreitet ist und makroskopisch eher den Eindruck eines Taubgesteins macht. Petrologisch handelt es sich dabei um einen Serizit-Chloritschiefer mit linsenförmiger Quarz-Karbonat-Gangart. Die sporadische Vererzung tritt in Form von Imprägnationen und Nestern in der Gangart oder in Serizit-Chloritreichen Lagen auf und besteht vorwiegend aus Sphalerit, Galenit, Pyrrhotin und Pyrit. Erwähnenswert ist auch das nicht seltene Auftreten von SEE-Trägerminerale Lanthanit, Allanit und Monazit.

Die Mineralphasenanalytik der Schermineralprobe 018005 aus feinstkörnigen Haldenablagerungen vom zentralen Haldentop widerspiegelt sehr gut die Gesamtchemie der untersuchten Haldenprobe (30 % Zn). Die Probe gehört zu extrem feinkörnigen Flotations-Abgängen aus der Schlussphase der Aufbereitung in Haufenreith. Entsprechend dem sehr hohen Zink-Gehalt dieser Probe ist Sphalerit (überwiegend eisenarme Varietät) bei weitem das häufigste Erzmineral und tritt als Folge der Aufbereitungsprozesse meist in losen Körnern auf, teilweise auch in Verwachsung mit Galenit. Galenit ist das zweithäufigste Erzmineral und tritt bevorzugt intergranular in der karbonatischen Gangart auf. Galenit zeigt vielfach eine xenomorphe Ausbildung und wird als Folge von Verwitterungsprozessen häufig von Cerussit verdrängt. Begleitphasen sind Pyrit, Pyrrhotin, Chalkopyrit, Bournonit und Cobaltin. Trägerphasen für Zink sind neben Sphalerit und sekundären Zinkmineralen auch Galenit und Chalkopyrit, für Blei neben Galenit und Cerussit auch Bournonit und Chalkopyrit.

Die Schwermineralprobe 18003 stammt aus dem Haldenanschnitt am SW-Rand der Aufbereitungshalde und repräsentiert wechsellagernde Aufbereitungsabgänge aus der Phase der nassmechanischen Aufbereitung (mit sehr schlechtem Wirkungsgrad). Chemisch zeigen sich große Unterschiede zur Schwermineralprobe 18005 (Flotationsabgang). Blei (16,4 %) dominiert hier eindeutig gegenüber Zink (4,3 %). Galenit ist bei weitem die dominierende Erzphase in dieser Probe und tritt häufig in Paragenese mit Sphalerit, Pyrrhotin und Pyrit auf. Häufig ist Galenit als Folge der Verwitterung bereits durch Cerussit verdrängt. Sphalerit bildet meist isolierte Körner, ist aber deutlich weniger häufig als Galenit. Im Gegensatz zur Probe 18005 dominiert hier ein eisenreicher Sphalerit (3,1-7,7 % Fe).

Vorherrschende Sulfidphasen in der bereits im Projekt 'Haldenscreening' (SCHEDL et al. 2012) untersuchten Schermineral-Profilmischprobe (11007) sind Galenit, Sphalerit, Pyrrhotin, Chalkopyrit und Pyrit. Sphalerit ist eine eisenreiche Varietät und tritt häufig in Form isolierter Körner auf. Die Aufbereitungsabgänge zeigen in der Mischprobe bereits sehr Verwitterungseinflüsse. Die Sulfid-Aggregate werden randlich intensiv durch Sekundärphasen (Cerussit, Hydrozinkit/Smithsonit, Fe-Hydroxide) verdrängt. Aus den Übersichts-Streupräparaten ist ersichtlich, dass die nichtmagnetische Fraktion in den Schwermineralkonzentraten von sekundären Zn-Mineralen (Smithsonit, Hydrozinkit) und Cerussit dominiert wird. Cadmium ist in den Hauptsulfidphasen Galenit und Sphalerit sowie in deren Sekundärphasen Cerussit und Hydrozinkit annähernd gleich verteilt (0,13-0,27%). In den (Fe, Zn)-Hydroxiden wird hingegen das aus Verwitterungsprozessen freigesetzte Cadmium angereichert (bis 2,16%).

Sphalerite aus Haldenmaterial des Bergbaus Haufenreith wurden auch im Rahmen des MRI-Projekts 'Identifikation und Klassifizierung potentieller Hochtechnologie-Metall Ressourcen in ostalpinen Blei-Zinklagerstätten' (MELCHER & ONUK, 2018) untersucht. Die stratiformen Erzlager des Grazer Paläozoikums führen generell eher Fe-reichere Sphalerite (1-9 % Fe), die meist nur gering an Co, Ag, Ga, Sb und In angereichert sind. Die Sphalerite aus Haufenreith weisen ähnlich denen aus Deutschfeistritz/Elisabethbau höher Co-Gehalte (Median 147 ppm) auf. Ga- und Ge-Gehalte in den Sphaleriten aus Haufenreith sind selbst im Vergleich mit anderen Lagerstätten des Grazer Paläozoikums sehr gering. Auffallend sind jedoch die für die Lagerstätten des Grazer Paläozoikum bemerkenswert hohen In-Gehalte (Median 21 ppm). Das sind nach den Sphaleriten von Leogang und Walchen bisher die höchstgemessenen Indium-Gehalte im gesamten ostalpinen Raum. Bei Mikrosondenuntersuchungen für das gegenständliche VLG-Projekt wurde an einem Sphaleritkorn sogar ein isolierter Einzelwert von 100 ppm In gemessen.

3.2.4 Sekundäres Rohstoffpotenzial

Der sehr heterogene Aufbau der Aufbereitungshalde erschwert eine genauere Evaluierung des sekundären Rohstoffpotenzials im Hinblick auf die beiden Hauptwertstoff Zink und Blei. Aufgrund des schlechten Wirkungsgrades der nassmechanischen Aufbereitung, deren Abgänge einen Großteil des Materials ausmachen, wurde für die Halde im Durchschnitt immer ein relativ hoher Erzgehalt angenommen. Diese Angaben in verschiedenen Archivunterlagen aus der Betriebszeit basieren auf den bekannten Aufbereitungskenndaten bei MAYER & SCHÖN (1923). Zwischen 1911 und 1917 betrug der Wirkungsgrad der Aufbereitung für Blei zwischen 32 und 60 %, für Zink zwischen 10 und 20 %.

wobei der Durchschnittsgehalt der Aufgabeeze in diesem Zeitrahmen 12 % betrug. Daraus lässt sich ein Blei-gehalt von 3,8 bis 7,2 % für die Abgänge errechnen. Die in aktuellen Projekten gemessenen Blei-Gehalte (0,3- 5 %) in der Halde lagen aber meist unter diesen errechneten Gehalten. Der Durchschnittsgehalt von 1,2 % korrespondiert aber wieder sehr gut mit den Daten aus der Betriebsperiode der Flotationsanlage ab 1922. Bei ROTT-LEUTHNER (1923) werden diesbezügliche Durchschnittsgehalte für Blei von 1,3 % in den deponierten Aufbereitungsabgängen genannt.

Bei Zink fehlen die historischen Daten über den Wirkungsgrad der Ausbringung und die Gehalte in den Aufbereitungsabgängen. Es werden aber häufig ähnliche Gehalte wie bei Blei genannt (PROSKE, 1999). Aktuelle Referenzdaten über die Zink-Gehalte in der Aufbereitungshalde zeigen jedenfalls gegenüber Blei erhöhte Gehalte (1,8 – 7,8 %). Die Durchschnittsgehalte im oberflächennahen Bereich der Aufbereitungshalde liegt bei rund 3,9 %.

Zur Abschätzung des sekundären Rohstoffpotenzials wurde der Haldenkörper der Aufbereitungsanlage in zwei Teilbereiche zerlegt. Die obersten 1.500 m³ entsprechen in etwa dem Haldenkörper aus der Zeit des verbesserten Wirkungsgrades der Aufbereitung mit geringeren Zink- und Blei-Gehalten (Durchschnittsgehalte 3,8 % bzw. 1,2 %). Die restlichen 8.500 m³ der Halde wurde unter Zugrundelegung historischer Daten (durchschnittliche Blei- und Zink-Gehalte von etwa 6 - 7 %) bewertet. Daraus ergibt sich ein geschätztes Gesamt-Rohstoffpotenzial für Blei von 1.110-1.300 t, für Zink von 1.200-1.350 t. Die ausgewiesenen Potenziale beschränken sich ausschließlich auf die Hauptwertstoffe Zink und Blei und nicht auf begleitende Erzrohstoffe. Die Sphalerite von Haufenreith zeigen erhöhte Indium-Gehalte mit einem Median-Wert von 21 ppm. Das entspricht einem theoretischen, maximalen Gesamtgehalt an Indium in der Halde von 283 kg, wobei vorausgeschickt werden muss, dass Zink in der Aufbereitungshalde nicht ausschließlich an Sphalerit gebunden ist

Eine mögliche Verwertung der Aufbereitungshalde von Haufenreith wurde offensichtlich vor einigen Jahrzehnten ventiliert. In einem Amtsvermerk aus dem Jahr 1974 (Archiv der Berghauptmannschaft Graz) werden hohe Gehalte an brauner Zinkblende erwähnt. Die Halde wurde im Zuge der Untersuchung der Lagerstätten in den Jahren 1973-1977 durch die Bleiberger Bergwerks Union beprobt, um Flotationsversuche in Bleiberg durchzuführen. Ergebnisse dieser Untersuchungen liegen nicht vor.

Eine wirtschaftliche Nutzung ist aus derzeitiger Sicht realistischerweise nicht zu erwarten. Falls bei diesem Standort lokale Sanierungsmaßnahmen erforderlich wären, könnten damit aber auch entsprechende Gewinnungskonzepte kombiniert werden.

3.2.5 Geoelektrische Messungen im Rahmen begleitender Methodentests im Bereich der Aufbereitungshalde Haufenreith

In Zusammenarbeit mit der FA Rohstoffgeologie wurde von der FA Geophysik 1 geoelektrisches Profil im Oktober 2019 im Bereich der ehemaligen Aufbereitungshalde nördlich von Arzberg (Stmk.) vermessen, welches methodischen Testcharakter hatte. Es wurde mit 2 verschiedenen Messgeräten (GEOMON4D, eine Eigenentwicklung der GBA und dem kommerziellen Messgerät AGI/STING) gemessen, wobei neben dem Parameter elektr. Widerstand auch der Effekt der Induzierten Polarisation (Aufladbarkeit) des Untergrundes bestimmt.

Die Details zum geoelektrischen Profil sind in der nachfolgenden Tabelle 9 angegeben.

Geoelektrikprofil	Elektrodenabstand [m]		Messrichtung
Profil 1	3.5		SSE-NNW
	Messgerät	Profillänge [m]	
	AGI STING	290,5	
	GEOMON	294,0	

Tab. 9: Spezifikation des Geoelektrikprofils Haufenreith (Stmk.)

3.2.5.1 Methodik Geoelektrik

Bei der geoelektrischen Messmethode wird die Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im Untergrund gemessen. Die gängigsten geoelektrischen Feldmessungen bedienen sich meist einer linearen, symmetrischen Elektrodenkonfiguration in sogenannter 4 Punktanordnung, wobei die Außenelektroden den Strom einspeisen und die Innenelektroden die Potentialdifferenz messen. Das Prinzip einer herkömmlichen geoelektrischen Tiefensondierung besteht darin, durch Variation des Außenelektrodenabstandes verschiedene Tiefen zu erfassen.

Um zweidimensionale Aufnahme des Untergrundes zu ermöglichen, wurden Mitte der 90-er Jahre Multielektrodenanordnungen entwickelt, die aus einer Messeinheit mit einer Vielzahl von steuerbaren Elektroden bestehen. In der Folge werden von einer Steuereinheit automatisch durch Zusammenschalten der entsprechenden Tiefensondierungen bis zum maximal möglichen Außenelektrodenabstand gemessen (Skizze siehe Abb. 28). Die gegenständlichen Messungen wurden mit dem von der FA Geophysik der GBA entwickelten Messgerät GEOMON4D mit 93 steuerbaren Elektroden durchgeführt.

Die Messergebnisse selbst werden zur Qualitätskontrolle in Form einer sogenannten „Pseudosektion“ dargestellt, wobei die gemessenen scheinbaren Widerstände gegen den jeweiligen Elektrodenabstand („Pseudotiefe“) aufgetragen werden. Als Auswertung wird eine zweidimensionale Inversion nach der Methode der finiten Differenzen durchgeführt, wobei der Untergrund in rechteckige Blöcke aufgeteilt wird, welchen durch einen Algorithmus die zu den Messwerten bestmöglich passenden Widerstandswerte zugewiesen werden. Aus den Pseudowiderständen wird mit einem Inversionsverfahren ein Modell der Widerstands- Tiefenverteilung berechnet. So erhält man die Verteilung des elektrischen Widerstandes des Untergrundes (Skizze siehe Abb. 29). Das Ergebnis sind Profilschnitte, wobei die Darstellung der Topographie entlang der Profile berücksichtigt werden kann.

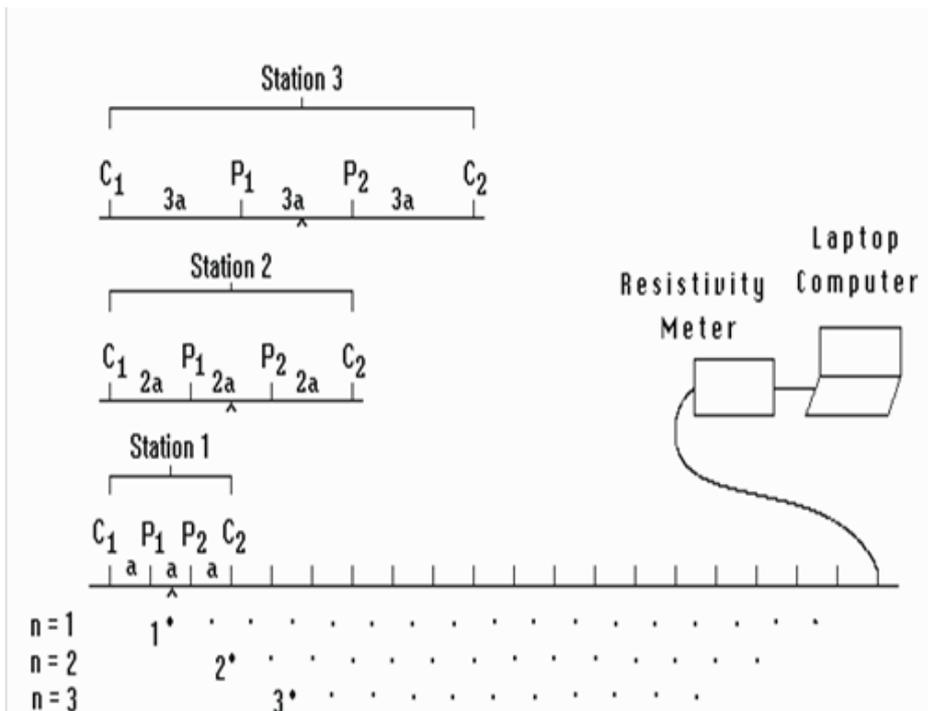


Abb. 28: Messprinzip der Multielektroden Geoelektrik

Zusätzlich wurde der Parameter der Induzierten Polarisation, also die Messung der elektrischen Aufladbarkeit (chargeability) des Untergrundes, als ergänzende Messmethode beim Einsatz der Gleichstrom-geoelektrik (Messparameter: elektrischer Widerstand) gemessen. Bei vielen Fragestellungen wo der Untergrund ein ausreichendes Maß an unterschiedlicher Polarisierbarkeit aufweist, können durch die Messung der Aufladbarkeit zusätzliche Abgrenzungen unterschiedlicher Bereiche vorgenommen werden. Die Auswertung und die Darstellung des Ergebnisses erfolgt in gleicher Weise wie beim Parameter des elektr. Widerstandes, als Ergebnis einer Inversionsrechnung in Form eines 2-dimensionalen Tiefenschnitt mit der Verteilung der elektr. Aufladbarkeit (chargeability).

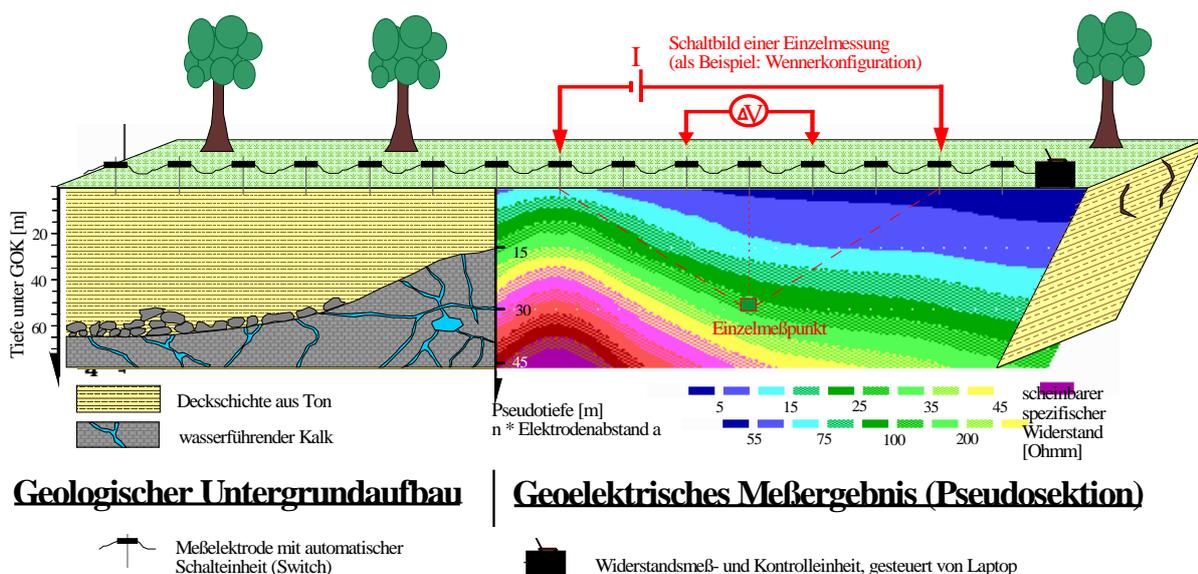


Abb. 29: Prinzip einer zweidimensionalen Aufnahme mit einem Multielektroden-System

3.2.5.2 Ergebnisse Geoelektrik

Abb. 30 zeigt die Lage des Untersuchungsgebietes. In Abb.31 sind die genauen Profillagen auf einem Orthofoto (Quelle: Geoland) übertragen.

Die Ergebnisse der Inversionsrechnung für die 3 Profile sind in den Abbildungen 32,33,34 und 35, wobei Abbildung 32 zur Vergleichbarkeit der Profile eine Darstellung mit gleichem Farbverlauf dargestellt. In den Abbildungen 33, 34 und 35 sind die jeweiligen Profile gemäß ihrem individuellen Dynamikbereich der elektr. Widerstände abgebildet.



Abb. 30.: Lage des Messgebietes auf ÖK 1:50.000 BEV (© AMAP) – Haldenbereich (rot umrandet)

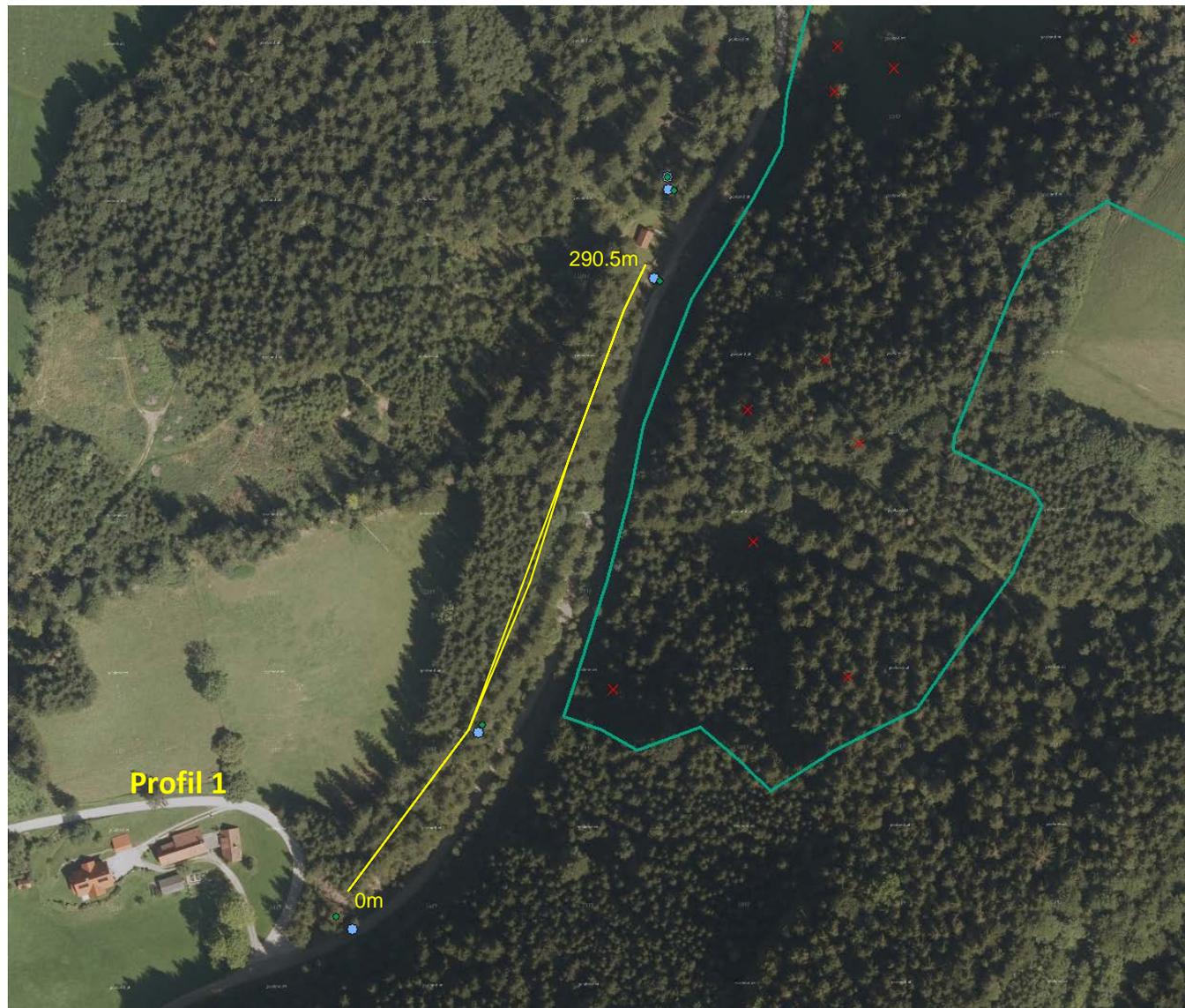


Abb. 31.: Lage der geoelektrischen Profile im Messgebiet Haufenreith auf Orthofoto (Quelle: Geoland)

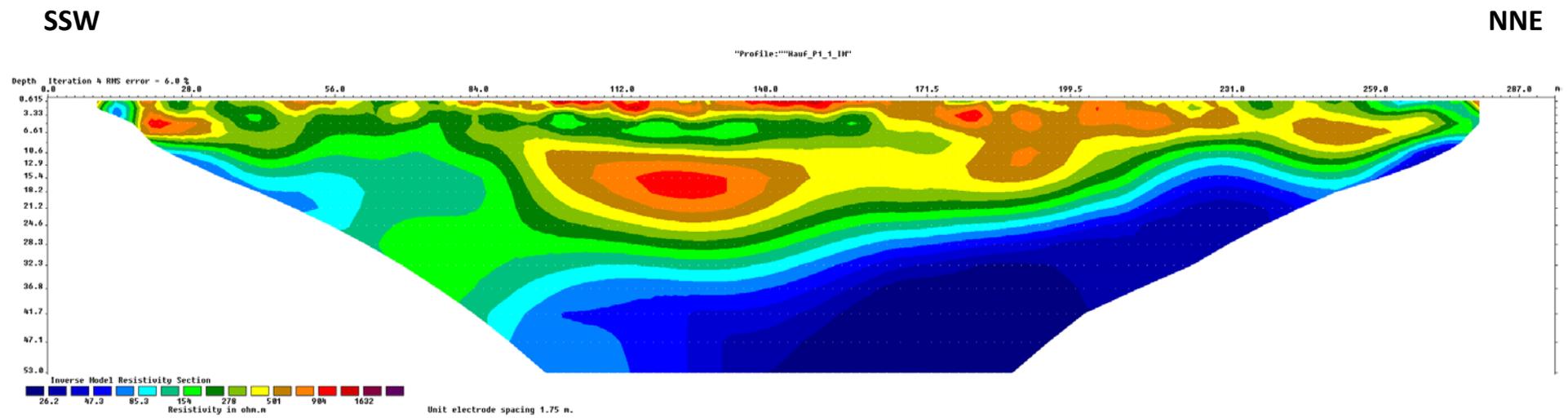


Abb. 32.: Ergebnis der geoelektrischen Profile im Messgebiet Haufenreith, Verteilung des elektr. Widerstandes/Messgerät GEOMON4D

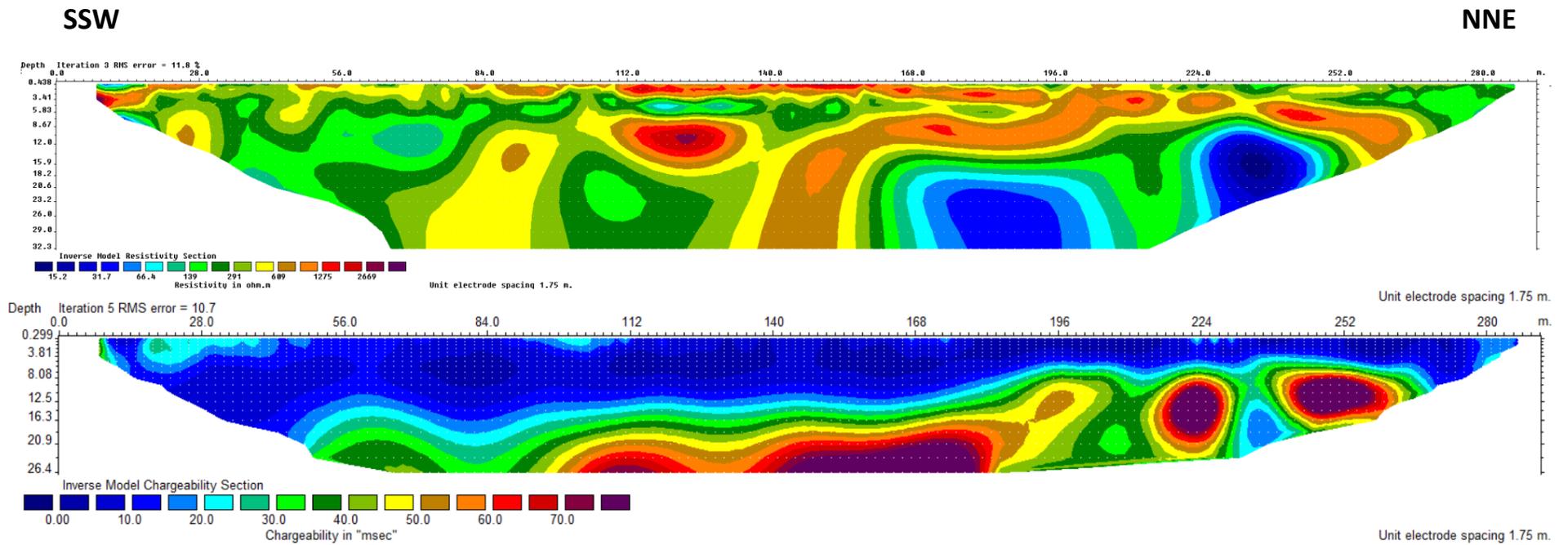


Abb. 33.: Ergebnis der geoelektrischen Profile im Messgebiet Haufenreith,

Verteilung des elektr. Widerstandes/Messgerät AGI/SING (oben)
 Verteilung der chargeability (Aufladbarkeit)/Messgerät AGI/SING (unten)

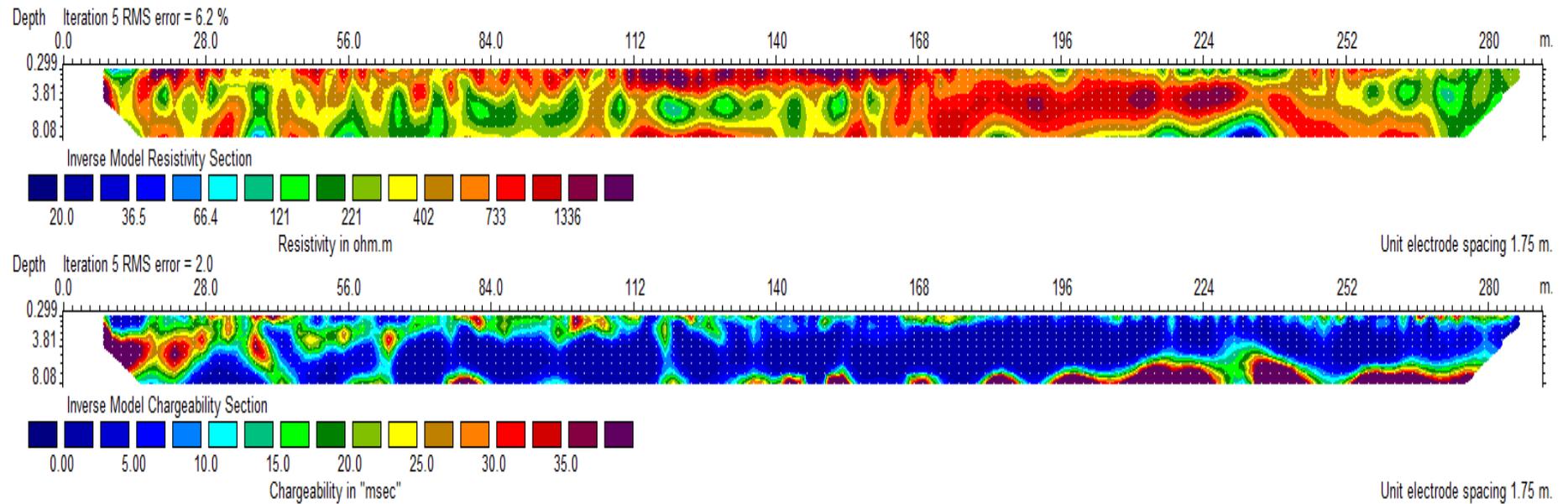


Abb. 34.: Detail der geoelektrischen Profile im Messgebiet Haufenreith (Limitierung der Daten auf Haldenbereich bis 8m Tiefe)
 Verteilung des elektr. Widerstandes/Messgerät AGI/SING (oben), Verteilung Verteilung der chargeability (Aufladbarkeit)/Messgerät AGI/SING

3.2.5.3 Interpretation der Geoelektrik-Ergebnisse

Abb. 32 zeigt das Ergebnis der elektrischen Widerstandsmessung des GEOMON4D Messgerätes. Im Profilschnitt (max. Tiefenerstreckung im zentralen Bereich des Profils ca. 50m) – die Topographie wurde hier nicht berücksichtigt, kann aber als einigermaßen horizontal angesehen werden – ist im Liegenden ein nieder-ohmiger (< 100 Ohmm), nach SSW einfallende, Bereich zu beobachten. Da die Mächtigkeit der Halde mit max. 10 m (ca. Höhe über Bachniveau) angenommen werden kann, ist dieser Bereich dem Anstehenden zuzuordnen. Im Wesentlichen handelt es sich beim anstehenden Untergrund der Aufbereitungshalde um Serizit-Chlorit-Schiefer/Phylliten, die als metamorphe Abkömmlinge von vulkanogenen Sedimenten angesehen werden.

Im Hangenden davon zeigt sich ein lateral heterogen aufgebauter Bereich, dessen elektrische Widerstandsverteilung von 80 bis ca. 100 Ohmm reicht und ebenfalls geogenen Ursprungs sein muss. Hier handelt es sich wahrscheinlich um aufgelockerte, verwitterte Serizit-Chlorit-Schiefer des Untergrundes. Die höherohmigen Bereiche im Untergrund korrelieren wahrscheinlich mit Karbonatlinnen, die immer wieder auch im Verband mit den begleitenden Serizit-Chlorit-Schiefen entlang des Raabtales auftreten (vgl. FLÜGEL & MAURIN, 1958).

Darüber befindet sich der eigentliche Haldenkörper, der sowohl eine laterale, als auch vertikale Differenzierung des elektrischen Widerstandes aufweist. Das entspricht auch dem in Aufschlüssen festgestellten und durch die vorgegebenen komplexen Aufbereitungsschritte bedingten sehr heterogenen Internaufbau der Aufbereitungshalde. In den schmalen, sehr lang gezogenen Haldenkörper wurden unterschiedliche Abtrennschritte mit unterschiedlichen Korngrößenspektren sukzessive eingebracht. Die Variabilität der Korngröße, aber auch der Wertstoffgehalte von Blei und Zink schwankt im dm-Bereich in vertikaler Richtung und im 10er-Meter-Bereich in horizontaler Richtung. Die wechselnden Korngrößenverteilungen dürften wahrscheinlich hauptverantwortlich für die kleinräumigen Muster im elektrischen Widerstand sein.

Zum Vergleich ist in Abb. 33 das Ergebnis des AGI/STING Messgerätes dargestellt. Die Tiefenerstreckung ist geringer (bis 32m) und obwohl ein anderer Farbbalken vorliegt, ist ein vergleichbares Verteilungsmuster des elektr. Widerstandes (Abb. 33, oben) zu erkennen. Dabei ist anzumerken, dass die Datenqualität der GEOMON4D deutlich besser ist und demnach eindeutiger zu interpretieren ist. In Abb. 33 (unten) ist das Ergebnis der Induzierten Polarisations (IP) Messung zu sehen. Innerhalb des Haldenkörpers ist nahezu keinerlei chargeability Effekt (Aufladbarkeit) bis auf den Bereich des Profilanfang (zwischen 0 und max. 100 Profilmeter) zu erkennen (siehe Vergleich auch Abb. 34, unten). Im Liegenden treten aber durchaus erkennbare Aufladbarkeitsphänomene auf, deren Ursache aber in den anstehenden Gesteinsbereichen (Serizit-Chlorit-Schiefer/Phylliten) zu suchen ist.

In Abb. 34 ist der Bereich des Haldenkörpers nochmals nur bis zu dem vermuteten Tiefenbereich von ca. 8 m mit besserer Detailauflösung dargestellt. In der oberen Darstellung ist der elektrische Widerstand, in der unteren Abbildung die Verteilung der chargeability zu sehen. Hier ist vor allem die höheren Werte der chargeability am Profilanfang zu erkennen. Möglicherweise hängt dieser chargeability Effekt im Bereich des Profilanfanges mit deutlich erhöhten Pb-Zn-Gehalten (vorrangig verursacht durch Galenit und Sphalerit) in diesem Bereich der Aufbereitungshalde zusammen. Dieser vordere Bereich der Halde setzt sich vor allem aus Aufbereitungsabgängen aus der Frühphase der nassmechanischen Aufbereitung zusammen, in der die Aufbereitungsverluste bei über 50% lagen.

Eine schmale Toplage mit niederohmigen Widerstandswerte zwischen 110 und 170 Profilmeter korreliert sehr gut mit dort beobachteten, sehr feinkörnigen Flotationsabgängen aus der letzten Phase (letztes Betriebsjahr) der Aufbereitung mit deutlich verbessertem Wirkungsgrad und damit verbunden deutlich verringerten Reststoffgehalten.

Die geoelektrische Vermessung der relativ schmalen Aufbereitungshalde zeigt also relativ kleinräumige Verteilungsmuster, die vorrangig als Korngrößenphänomene zu betrachten sind, aber möglicherweise auch unterschiedliche Sulfidgehalte widerspiegeln. Zur Kalibrierung der bisherigen Messergebnisse wären ergänzende Seichtbohrung mittels Handbohrer durchaus sinnvoll.

4. Literatur

- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG: Bodenschutzbericht 1999. Potentielle Kontaminationsflächen in der Steiermark. – Landwirtschaftliches Versuchszentrum Steiermark, 103 S., Graz 1999.
- FLÜGEL, H. & MAURIN, V.: Geologische Karte des Weizer Berglandes 1:25.000. - 1 Bl, Geol. B.-A., Wien, 1958
- KLOSS: Amtsbericht. Erzbergbau Haufenreith des Rene Gautier- Inspektion am 13.Juli 1910.- Unveröff. Bericht, Archiv der Berghauptmannschaft Graz, Graz, 1910.
- KLOSS: Amtsbericht über die am 10. Juni 1915 gepflogene Erhebung in Angelegenheit der Möglichkeit der Erzeugung von Bleierzen in den Bergbauen Arzberg und Burgstall des Max Asiel und Haufenreith des Rene Gautier.- Unveröff. Bericht, Archiv der Berghauptmannschaft Graz, Graz, 1915.
- MAYER, E. W. & SCHÖN, R.: Mitteilungen über die Betriebsergebnisse einer Bleiflotationsanlage in Haufenreith. – Metall u. Erz, 20, S. 385, Halle, 1923.
- OKORN, F.: Amtsbericht betreffend die vom 5. bis 7. März 1912 vorgenommenen informative Befahrung der Bleiglanz- und Zinkblendebergbaue Haufenreith des Rene Gautier und Arzberg des Max Asiel bei Passail. - Unveröff. Gutachten, Archiv Berghauptmannschaft Graz; Graz, 1912
- PIRKL, H., SCHEDL, A. & PFLEIDERER, S. (Hrsg.): Geochemischer Atlas von Österreich - Bundesweite Bach- und Flusssedimentgeochemie (1978-2010). - Arch. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 288 S., Wien, 2015.
- PROSKE, H.: Umweltgeologische Aspekte historischer Bergbau- und Hüttenstandorte in der Steiermark.- Unveröff. Bericht, Joanneum Research Forschungsges., 144 S., 3 Anh., Graz, 1999.
- ROTTLEUTHNER, H.: Gutachten – Entschädigung der société anonyme des mines d’Haufenreith. – Unveröff. Gutachten, Archiv Berghauptmannschaft Graz; Graz, 1923.
- SCHEDL, A., PIRKL, H., NEINAVAIE, H., PFLEIDERER, S., LIPIARSKI, P., HOBIGER, G., BENOLD, CH.; HASLINGER, E.; ATZENHOFER, B. & MAURACHER, J.: Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Steiermarks auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen ("Umweltgeochemie Steiermark"). - Unveröffentl. Bericht, Geol. B.-A., Endbericht 2010, Bund/ Bundesländerrohstoffprojekt St-C-076, 53 S., 73 Abb., 2 Tab., 3 Anh., 1 Beilbd., 2 Teile, Wien, 2010.
- SCHEDL, A., PIRKL, H., LIPIARSKI, P., PFLEIDERER, S., MAURACHER, J., BENOLD, CH., ATZENHOFER, B. & HOBIGER, G.: Bewertung von Stoffflüssen im Bereich ausgewählter Bergbauhaldenstandorte - Methodisches Ergänzungsprogramm zum VLG-Projekt „Screening und Risikoabschätzung von Bergbauhalden in Österreich“ Endbericht Projekt ÜLG – 58. - Unveröff. Bericht, Geol. B.-A., 142 S., 123 Abb., 25 Tab., 2 Beil., 8 Anh., Wien 2011.
- SCHEDL, A., PIRKL, H., NEINAVAIE, H., LIPIARSKI, P., BENOLD, CH., HOBIGER, G., PFLEIDERER, S. & MAURACHER, J.: Bewertung von Stoffflüssen im Bereich ausgewählter Bergbauhaldenstandorte - Methodisches Ergänzungsprogramm zum VLG-Projekt „Screening und Risikoabschätzung von Bergbauhalden in Österreich“. Endbericht Projekt ÜLG – 61. - Unveröff. Bericht, Geol. B.-A., 72 S., 53 Abb., 12 Tab., 1 Beil., 5 Anh., Wien, 2012.

- SCHEDL, A. & NEINAVAIE, H.: Erweiterung geochemischer Detailinformationen durch mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen (Mineralphasenanalytik). - In: PIRKL, H., SCHEDL, A. & PFLEIDERER, S. (Hrsg.): Geochemischer Atlas von Österreich - Bundesweite Bach- und Flusssedimentgeochemie (1978-2010). - Arch. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 28, S. 235-242., Wien, 2015.
- SCHEDL, A.; BENOLD, C.; LIPIARSKI, P.; REITNER, H.; AUER, C.; WEILBOLD, J.; POSCH-TRÖZMÜLLER, G.; KNOLL, T. & ATZENHOFER, B.: Geologisch-geochemische Kartierung im Rahmen ergänzender Untersuchungen (§ 13 ALSAG) "Halden Deutschfeistritz und Schrems": Altablagerung "Schlackenhalde Blei-Silber Hütte Deutschfeistritz". - Unveröff. Bericht, Geol. B.-A., 64 S., 58 Abb., 7 Tab., 1 Beilbd., Wien, 2018.
- SCHERMANN, O.; SCHEDL, A., LIPIARSKI, P., REITNER, H. & NEINAVAIE, H.: Erhebung und Bewertung ehemaliger Bergbau- und Hüttenstandorte hinsichtlich Risiko- und Folgenutzungspotentials - Haldenkataster.- Unveröff. Ber. zu Projekt ÜLG 36/93, 264 S., 76 Abb., 70 Tab., 3 Anh., Wien, 1994.
- THALMANN, F., SCHERMANN, O., SCHROLL, E. & HAUSBERGER, G.: Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1:1,000.000 (Atlasteil). - Geol. B. -A., Wien, 36 S., Wien, 1989a.
- THALMANN, F., SCHERMANN, O., SCHROLL, E. & HAUSBERGER, G.: Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1:1,000.000 (Texteil). - Geol. B. -A., Wien, 141 S., 47 Abb., 5 Tab., 6 Taf., Wien, 1989b.
- WEBER, L.: Die Blei-Zinkerzlagerstätten des Grazer Paläozoikums und ihr geologischer Rahmen. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 12, 289 S., 192 Abb., 25 Tab., Wien, 1990.
- WEBER, L. (Hrsg.): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur metallogenetischen Karte von Österreich 1:500.000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe.- Arch. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 19, 607 S., 393 Abb., 37 Tab., 2 Ktn., 2 Listen, Wien, 1997.
- WEISS, A.: Zur Geschichte des Bergbaus im Raum Arzberg-Haufenreith (Steiermark). - Joanea Geol. Paläont., 7, 99-125, Graz, 2005.

Anhang
Mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen

Schlackendeponie Pb-Ag Schmelzhütte Deutschfeistritz

Schlackenprobe 1633004 Pb-Ag-Schmelzhütte Deutschfeistritz

Phasenbestand:

Metalle, Legierungen

ged. Blei

Oxide, Hydroxide

Magnetit

Eisenhydroxide

Sulfide und Sulfate

Sphalerit

Galenit

Pyrrhotin

Anglesit

Silikate

Blei-Eisensilikat

Calcium-Eisen-Phosphorsilikat (\pm Pb)

Olivinmischkristalle

Glasphase

Herkunft der Schwermetalle und sonstige Elemente

Zn	Sphalerit, Glasphase, Olivinmischkristalle, Calcium-Eisen-Silikate (\pm P \pm Pb)
Pb	Galenit, Anglesit, ged. Blei, Eisen-Bleisilikat, Eisen-Calcium-Phosphorsilikat
Cd	Galenit, Sphalerit
Ag	Galenit, ged. Blei
Ni	Glasphase
P	Glasphase, (Ca, Fe, P)-Silikate

Schwermetallgehalt der Mineralphasen (Gew. %)

Galenit	Pb (81,11), Cd (0,54), Ag (0,48)
Sphalerit	Zn (48,33), Fe (13,99)
ged. Blei	Pb (98,21), Ag (0,39)

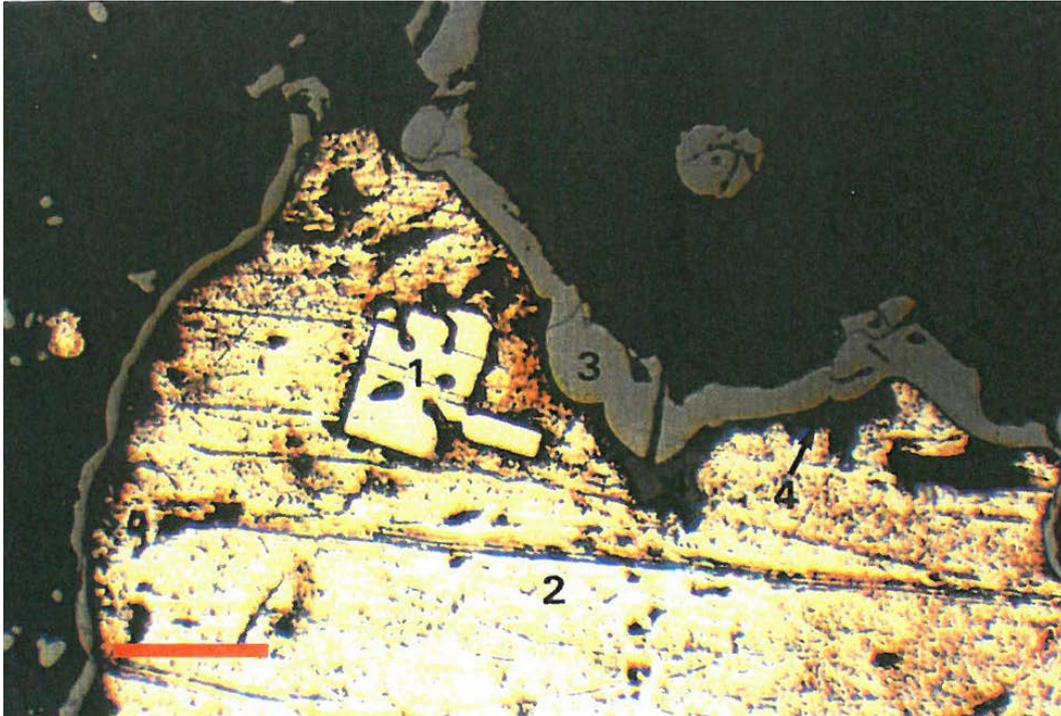


Abb. 1-1: Skelettförmiger Galenit (1) in ged. Blei (2), umsäumt von eisenreichem Sphalerit (3) und Anglesit (4), Olivinmischkristallen (dunkelgrau) und Glasphase (schwarz). Schlackenprobe 1633004 (Deutscheisstritz) (aus: SCHERMANN & SCHEDL, 1994)

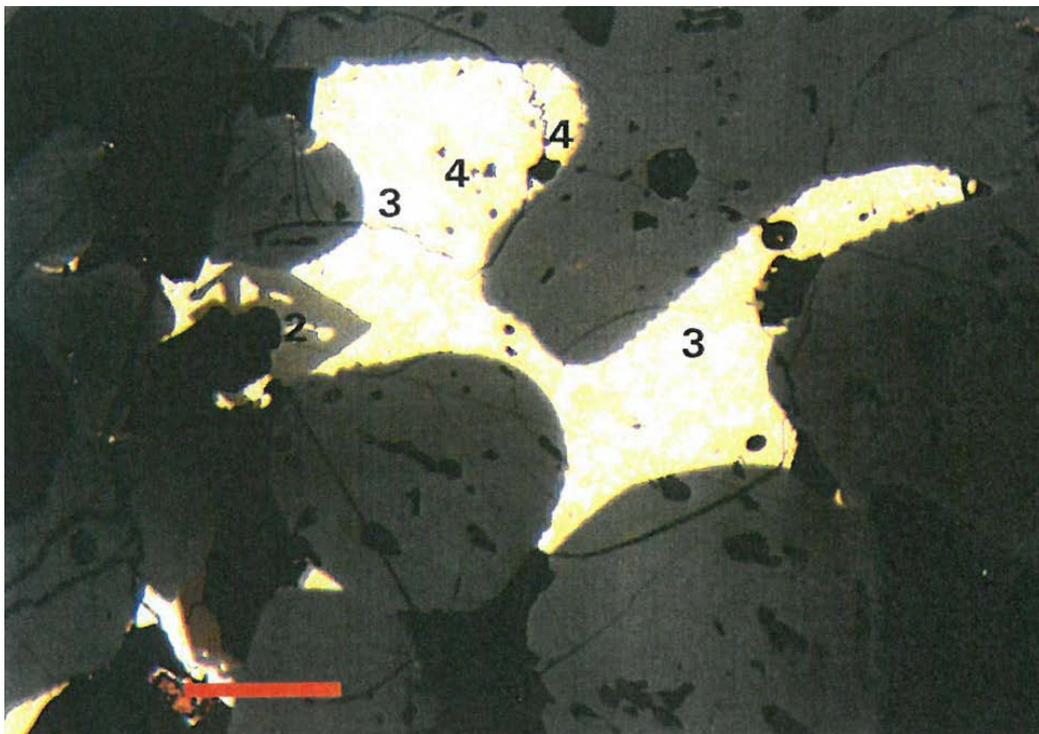


Abb. 1-2: Tropfenförmiger Sphalerit (1), Magnetit (2) sowie innig verwachsener Galenit (3) mit Pyrrhotin (4), Glasphase (schwarz); Schlackenprobe 1633004 (Deutscheisstritz) (aus: SCHERMANN & SCHEDL, 1994)

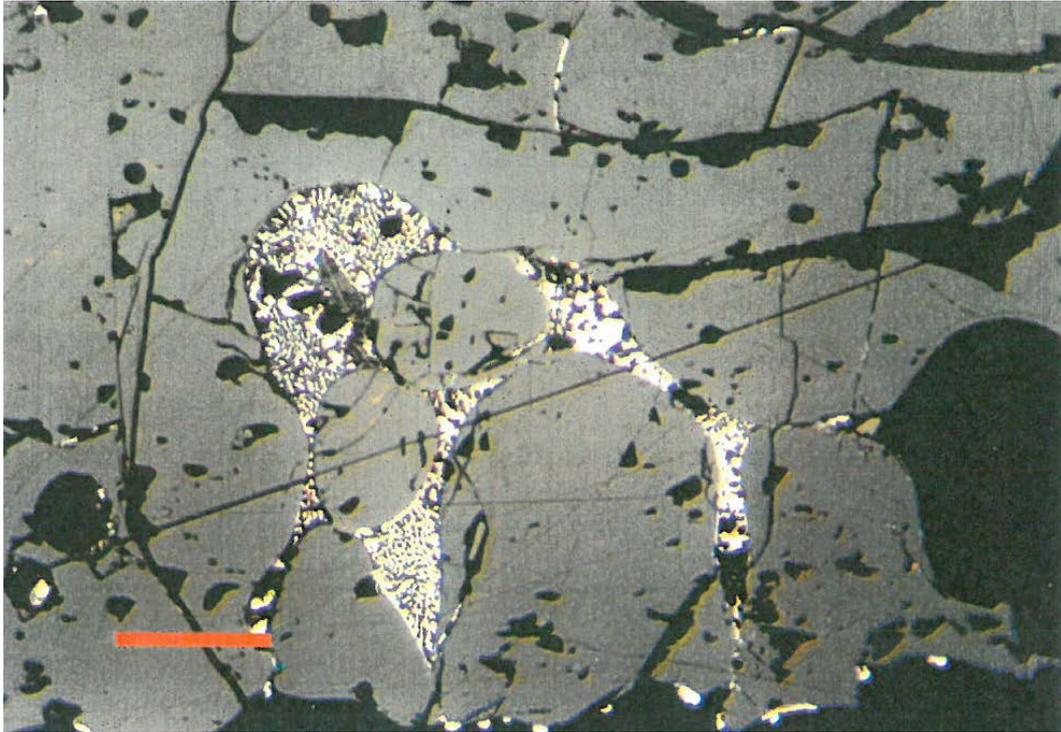
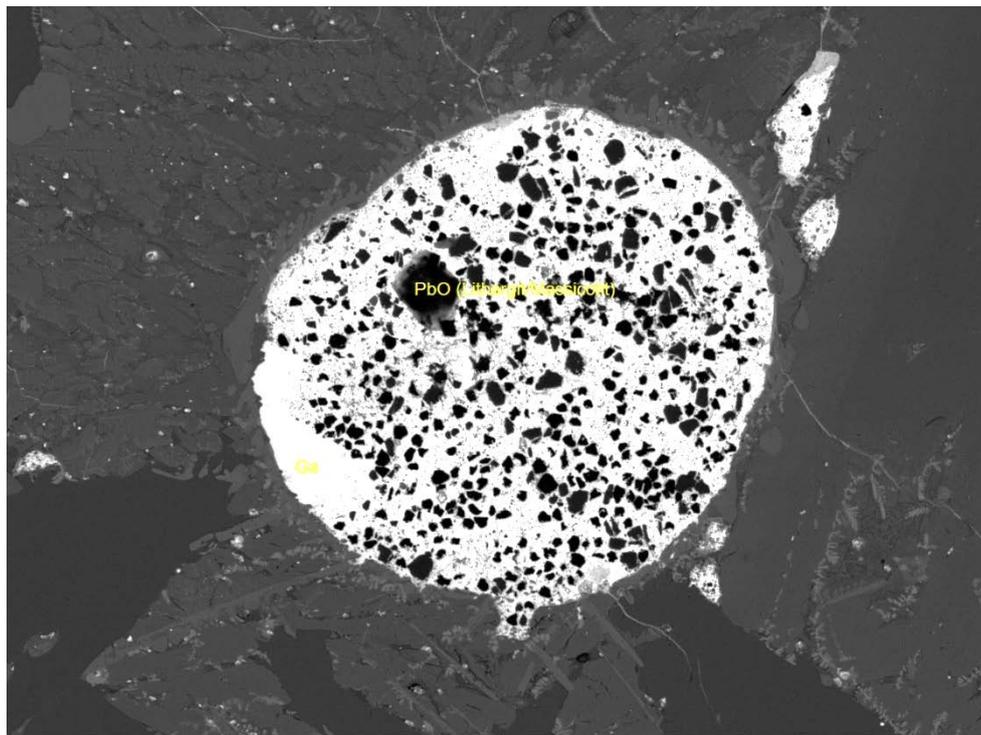


Abb. 1-3: Myrmekitische Verwachsung von Galenit (weiß) mit Glasphase (schwarz) in Sphalerit (grau) Schlackenprobe 1633004 (Deutscheisfritz) (aus: SCHERMANN & SCHEDL, 1994)



SEM HV: 15.00 kV PC: 8
 WD: 26.99 mm Scan speed: 6
 Date(m/d/y): 11/14/18 Name: image07303
 100 µm VEGA\\ TESCAN
 Digital Microscopy Imaging

Abb. 1-4: Globulares Schlackenpartikel bestehend aus PbO, Galenit und Glasphase (Schlackenprobe aus Probe D 56)

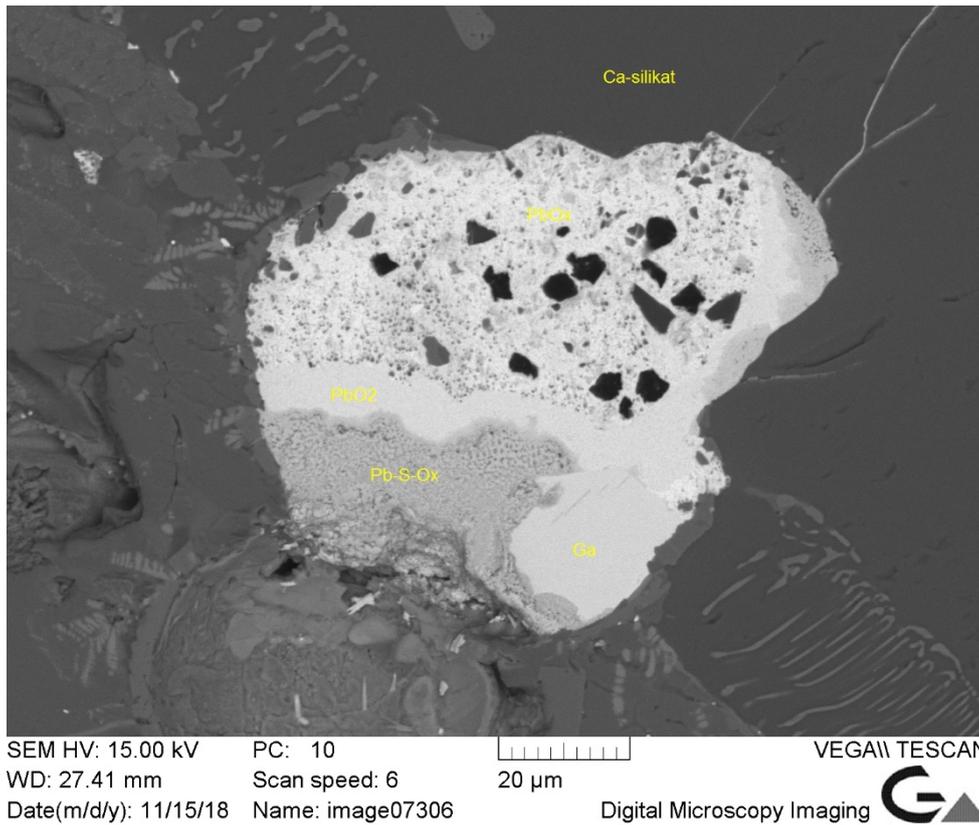


Abb. 1-5: Schmelzprodukt bestehend aus PbO_x , PbO_2 , $Pb-S-O_x$ und Galenit in Matrix aus Ca-Silikat (Schlackenprobe aus Probe D 56)

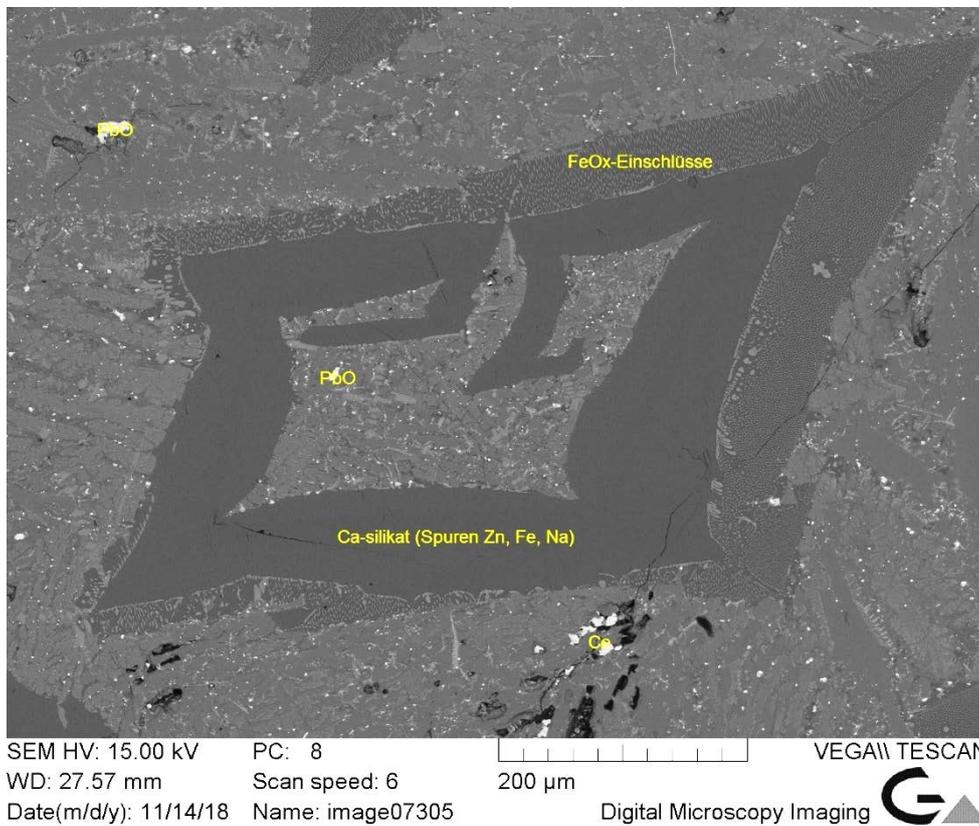


Abb. 1-6: Schmelzprodukt bestehend aus Ca-Silikat (mit feindispersiv eingebautem Zn) und FeO_x mit Einschlüssen von PbO und Cerussit (Schlackenprobe aus Probe D 56)

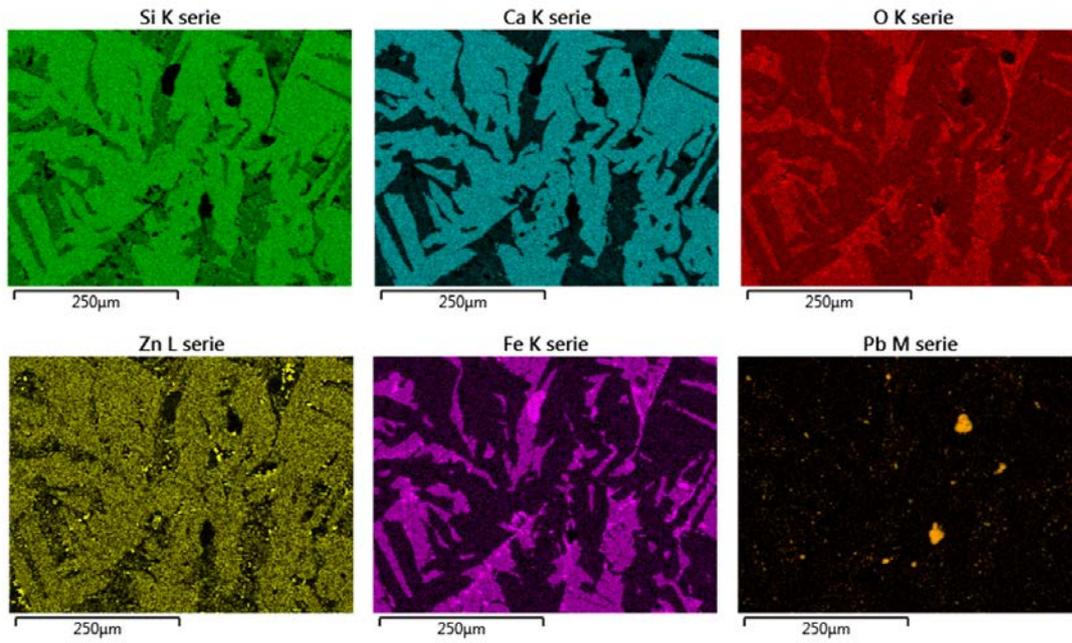


Abb. 1-7: Elementverteilungsbilder für Si, Ca, O, Zn, Fe; Ca-Silikat mit feindispersiven Zn-Einschlüssen (Schlackenprobe aus Probe D 56)

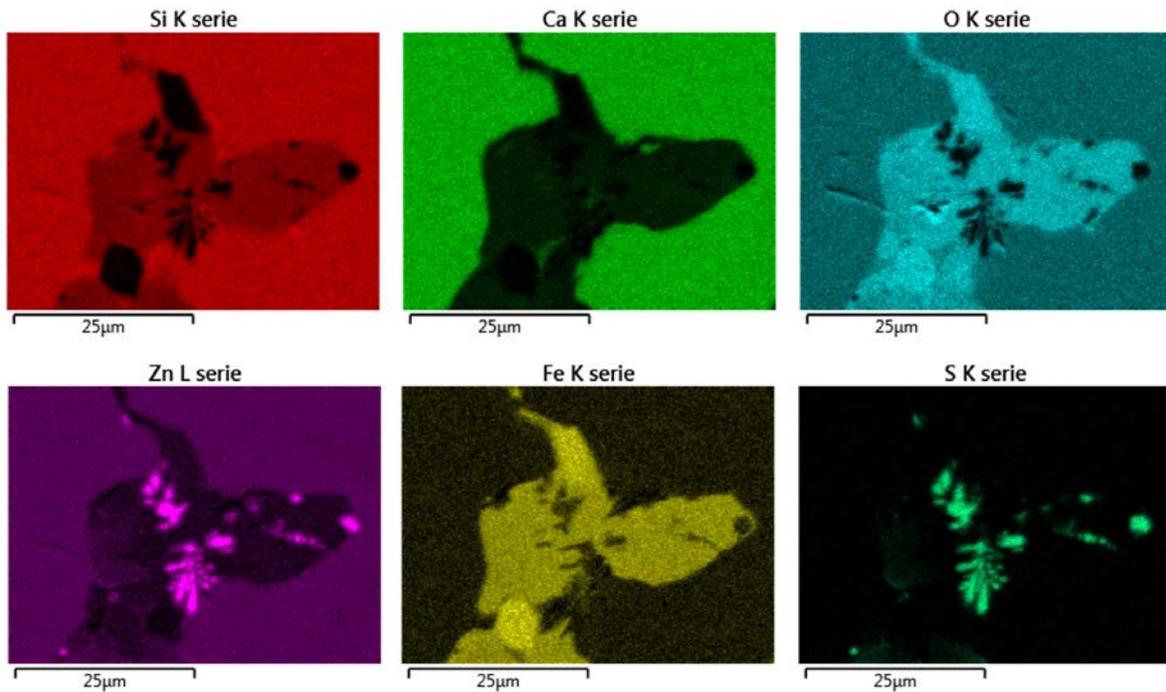


Abb. 1-8: Elementverteilungsbilder für Si, Ca, O, Zn, S und Fe; Einschluss von Sphalerit und Eisenoxid/-hydroxid in Ca-Silikat (Schlackenprobe aus Probe D 56)

Aufbereitungshalde Haufenreith

Probe 018004/1 Hauwerksprobe , Aufbereitungshalde Haufenreith'

Petrologische Charakterisierung:

feinblättriger Serizit-Chloritschiefer mit linsenförmiger Quarz-Karbonat- Gangart. Unter dem Mikroskop ist eine deutliche Lagenbau zu erkennen, in dem dicht verpackte Serizit-Chlorit-Aggregate durch Quarz-Karbonat Lagen getrennt werden. Die Vererzung tritt als Imprägnationen und Nestern in Gangart und Serizit-Chlorit-reichen Lagen auf.

Phasenbestand:

Oxide,Hydroxide

Ilmenit	++++	wurde als hypidiomorphe bis idiomorphe Kristalle in Serizit- Chloritmatrix beobachtet und ist stets stoffkonkordant geordnet. Ilmenit zeigt nicht selten Einschlüsse von Kobalt-Pentlandit, Galenit, Apatit und Monazit auf. Selten ist er auch mit Anatas vergesellschaftet.
Rutil	+++	tritt als feine und meist stoffkonkordante Kristalle in Chloritschiefermatrix auf. Rutil verdrängt untergeordnet auch Ilmenitkristalle.
Anatas	++	tritt als isolierte Kristalle sowie in Paragenese mit Rutil und Sphalerit auf.

Sulfide

Sphalerit	+++	tritt in Form von Imprägnationen und Nestern in Gangart sowie Chloritschiefer auf. Sphalerit enthält manchmal Einschlüsse von Pyrit, Ilmenit, Rutil, Quarz, Calcit und Ankerit; untergeordnet wurde auch eine Vergesellschaftung mit Galenit und Pyrit beobachtet.
Galenit	+++	tritt wie Sphalerit als Nester und Imprägnationen auf und ist z.T. mit Sphalerit, Pyrit und Chalkopyrit vergesellschaftet
Pyrrhotin	+++	wurde als feine Imprägnationen und in Form von Nestern beobachtet, untergeordnet in Verwachsung mit Galenit, Sphalerit und Pyrit. Pyrrhotin enthält sporadisch Einschlüsse von Galenit.
Pyrit	+++	tritt als idiomorphe bis xenomorphe Körner in Karbonat- Quarz- und Chloritmatrix auf. Pyrit wurde auch als idiomorphe Kristalle in Sphalerit beobachtet.
Chalkopyrit	++	wie Pyrrhotin und Pyrit.
Kobalt-Pentlandit	++	Paragenese mit Apatit und Monazit in Ilmeniten.

Phosphate

Monazit	++	als Einschlüsse in Ilmenit und Allanit.
Apatit	+++	mit Monazit in Ilmeniten.

Silikate

Chlorit	++++	als Bestandteile von Serizit-Chloritschiefer und z.T. auch mit Ankerit verwachsen. Es handelt sich um ein (Fe, Mg)-Chlorit.
Serizit	+++	als Einschlüsse in Ankerit sowie als Aggregaten in Wechsellagerung mit Chlorit.
Allanit	++	tritt als xenomorphe bis hypidiomorhe Kristalle in chloritreiche Matrix auf und enthält oft feine Kristalle von (Ca, La, Ce, Nd)- Mineralen (Lanthanit ?)
Quarz	+++	ist häufig neben Serizit, Ankerit und Calcit die Hauptbestandteile von stoffkonkordanter Gangart bzw. Lagerart und bildet oft ein Pflastergefüge

Karbonate und Sonstige

Calcit	++	bildet mit Quarz und Ankerit ein Pflastergefüge.
Ankerit	++++	ist Hauptbestandteil von linsenförmiger Gangart und enthält z.T. Einschlüsse von Sphalerit, Quarz und Calcit.
(Ca, La, Ce, Nd) -Mineral	+++	es handelt sich wahrscheinlich um das Mineral "Lanthanit", welches nicht selten als Alterationsprodukt von Allanit vorkommt. Lanthanit - ein (Ca, Ce, La, Nd)-Karbonat - verursacht aufgrund seines Thorium- und Urangelhalts häufig pleochroitische Höfe; zur genauen Identifizierung fehlt eine quantitative Analyse. Lanthanit kommt als Einschlüsse in Allanit und Chloritmatrix vor und ist sporadisch auch mit Monazit vergesellschaftet.

Herkunft der Schwermetalle und sonstige Elemente

Pb	Galenit
Zn	Sphalerit
Cu	Chalcopyrit
Co	Kobalt-Pentlandit
Ni	Kobalt-Pentlandit
Seltene Erden	Monazit, Allanit, Lanthanit
Th	Lanthanit
U	Lanthanit

Charakteristische Merkmale

- Das häufige Auftreten von Sphalerit, Galenit, Pyrrhotin und Pyrit
- Viel Titanmineralien wie Ilmenit, Rutil und Anatas (typisch)
- Das häufige Auftreten von Allanit und Lanthanit mit radioaktiven Höfen
- Das Auftreten von Apatit und Monazit in Ilmeniten

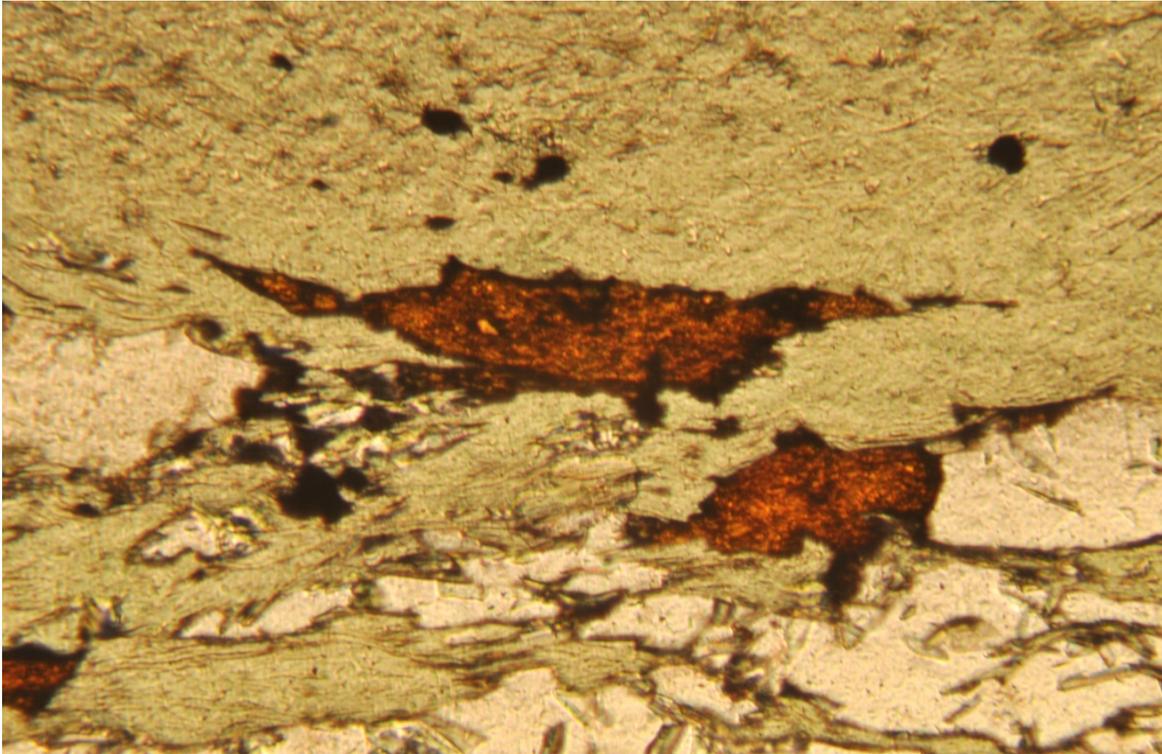


Abb. 2-1: Einschlüsse von Sphalerit (rötlich braun) in Chloritmatrix (grün) und Ankerit (farblos).
Probe 01800411, Haldenmaterial Haufenreith; polierter Dünnschliff, Bildgröße: 0.7x0.5 mm

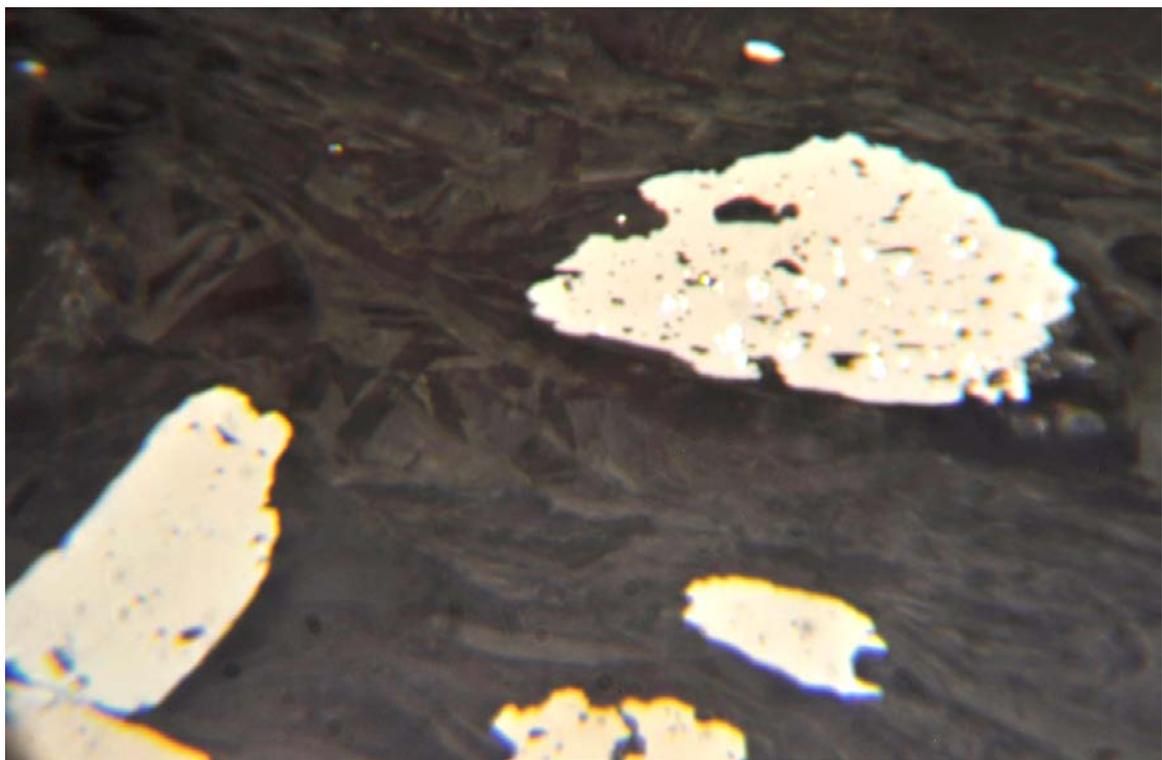


Abb. 2-2: Ilmenitkörner (beige) z.T. mit Einschlüssen von Galenit und Kobalt-Pentlandit (weiß gelblich);
Probe 018004/1, Haldenmaterial Haufenreith; polierter Dünnschliff, Bildgröße: 0.37x0.25 mm

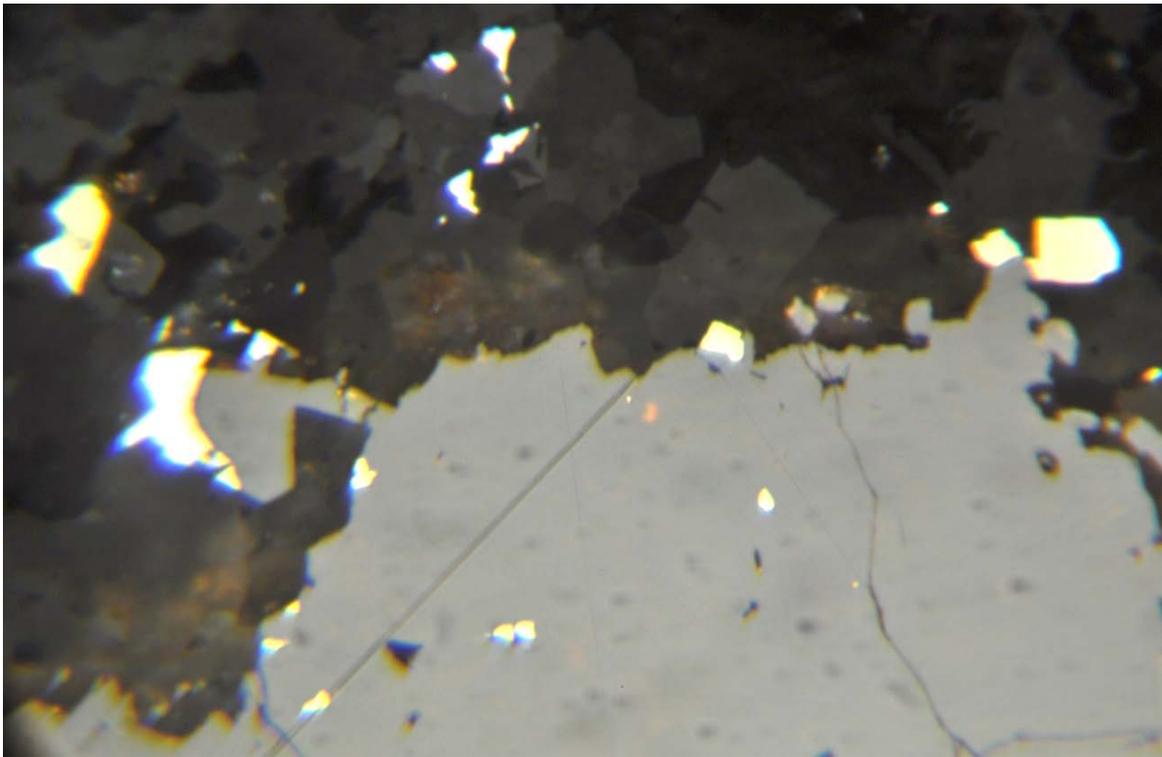


Abb. 2-3: Sphalerit (grau) verwachsen mit Pyrit (gelblich) und Galenit (weiß) in einer Matrix aus Ankerit und Quarz (schwarz-dunkelgrau); feine Einschlüsse von Pyrit in Sphalerit; Probe 018004/1; Haldenmaterial Haufenreith; polierter Dünnschliff, Bildgröße: 0.37x0.25 mm

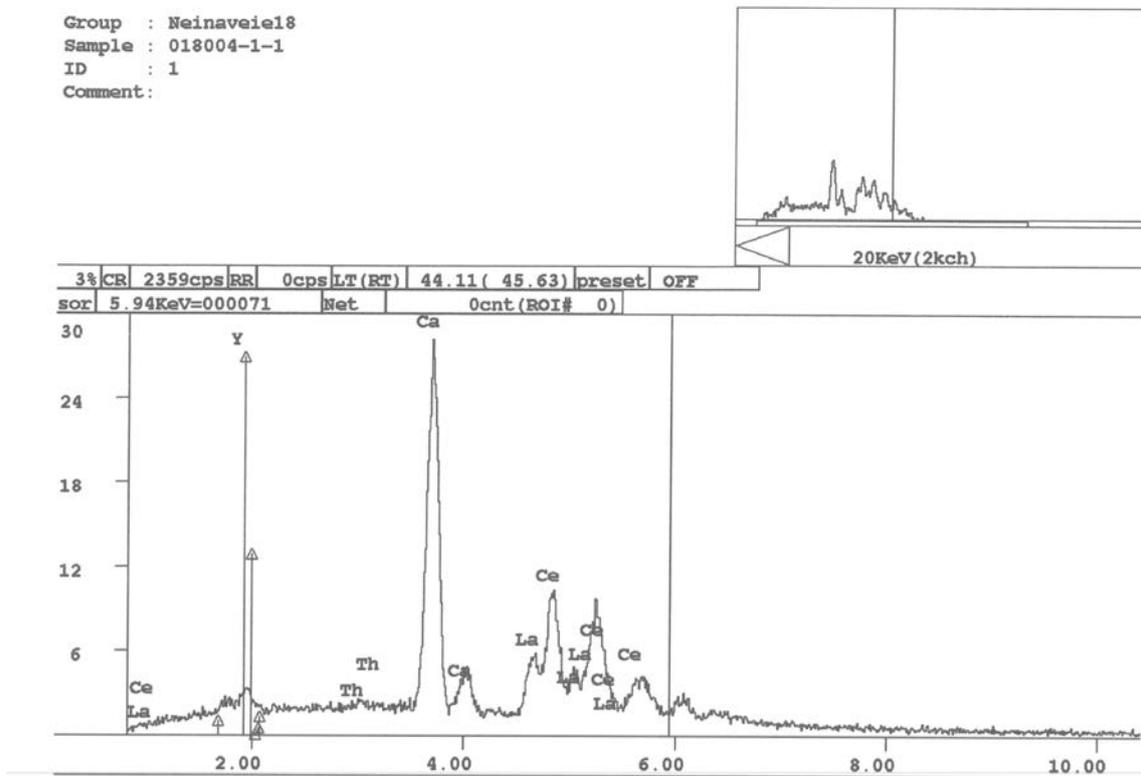


Abb.2-4: Elementspektrum von (Ca, La, CE, Nd)-Mineral (Lanthanit ?) mittels EDS; Probe 018004/1

Group : Neinaveiel8
Sample : 018-4-1
ID : 1
Comment :

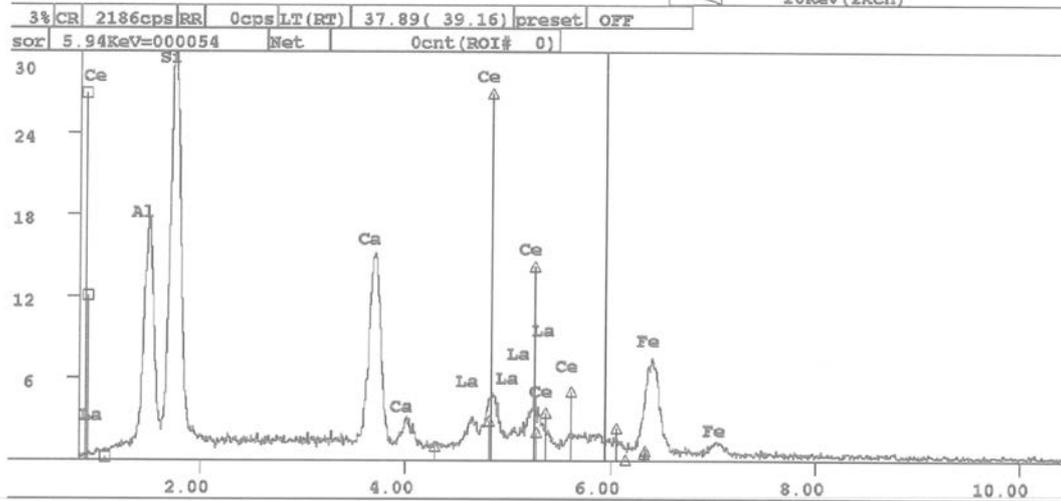
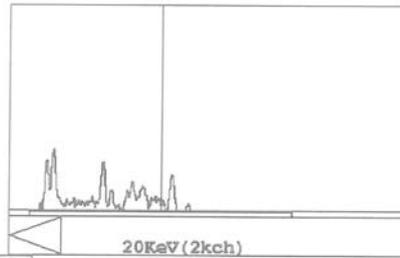


Abb.2-5: Elementspektrum von Allanit mittels EDS. Probe 018004/1

Probe 018005 – Schwermineralkonzentrat , Aufbereitungshalde Haufenreith' (Feinmaterial)

Phasenbestand:

Oxide, Hydroxide

Ilmenit	++++	als isolierte Körner sowie als Einschlüsse in Serizit-Chloritschiefer. Ilmenit wird häufig durch Rutil und /oder Anatas verdrängt und zeigt nicht selten Einschlüsse von Monazit, Chlorit, Quarz, Pyrit und Galenit.
Rutil	+++	als feine Kristalle in Schwarzschiefern sowie als Verdrängungsprodukte von Ilmeniten. Rutilkornaggregate bilden nicht selten Pseudomorphose nach Ilmenitkristallen.
Anatas	+++	tritt als xenomorphe bis idiomorphe Körner auf.
Ilmenorutil	+++	tritt meist als 0.004-0.008 mm große Körner in Serizit-Chloritschiefern auf; zeigt wegen des Th- und U-Gehaltes oft radioaktive Höfe.
Eisenhydroxide	+++	Verdrängungsprodukte von Ankerit, Pyrit und Chalkopyrit.
Sekund. Zinkminerale	++	verdrängt randlich die Sphaleritkörner.

Sulfide und Sulfate

Galenit	+++	überwiegend xenomorph ausgebildet und wird häufig durch Cerussit verdrängt. Galenit ist hier zweit häufigstes Erzmineral und tritt bevorzugt intergranular zwischen Ankerit- bzw. Quarz- Ankerit-Körner auf. Eine Vergesellschaftung mit Pyrrhotin und Pyrit ist typisch. Vereinzelt tritt auch als skelettförmige Kristalle in Ilmenit auf.
Sphalerit	+++++	Sphalerit bildet hier das häufigste Erzmineral und ist überwiegend als lose Körner zu beobachten. Sphalerit ist untergeordnet mit Galenit vergesellschaftet und enthält manchmal auch Entmischungen von Pyrrhotin.
Pyrit	+++	wurde als xenomorphe bis idiomorphe Partikeln beobachtet und zeigt manchmal Einschlüsse von Galenit, Pyrrhotin und Chalkopyrit.
Pyrrhotin	+++	als tafelige Kristalle sowie in Paragenese mit Galenit und /oder Sphalerit. Pyrrhotin wird z.T. weitgehend durch Eisenhydroxide verdrängt.
Chalkopyrit	++	meist in Paragenese mit Galenit, Pyrit und Pyrrhotin.
Bourbonit	+	ist mit Pyrrhotin und Galenit verwachsen.
Cobaltin	+	tritt sporadisch in Ilmenit auf.
Baryt	+	als loses Korn.

Silikate

Chlorit	+++	Bestandteile von Serizit-Chloritschiefern; chemisch handelt sich um Mischchlorite. In Serizit Chloritschiefern wurden häufig Einschlüsse von radioaktiven Ilmenorutilkörnern beobachtet.
Serizit	+++	in Paragenese mit Chlorit in Serizit-Chloritschiefern sowie untergeordnet auch in Quarz-Karbonat-Kornaggregaten.
Quarz	+++	als Einschlüsse in Ankerit sowie in Serizitchloritschiefern.
Plagioklas	++	

Karbonate

Ankerit	+++	ist z.T. mit Quarz vergesellschaftet und häufig mit Galenit bzw. Sphalerit verwachsen. Ankerit ist meist weitgehend durch Eisenhydroxid verdrängt.
Calcit	++	mit Quarz und /oder Ankerit verwachsen.
Cerussit	+++	ist Verdrängungsprodukt von Galenit.

Sonstige

Graphit	++	tritt bevorzugt in Schwarzschiefern auf.
---------	----	--

Herkunft der Schwermetalle

Pb	Galenit, Cerussit, Bournonit, Chalkopyrit
Zn	Sphalerit, sekundäre Zinkminerale, Galenit, Chalkopyrit
Sb	Bournonit, Galenit, Sphalerit
Cd	Sphalerit, Galenit, Chalkopyrit
Co	Cobaltin
Ni	Cobaltin
As	Cobaltin
Th	Ilmenorutil
U	Ilmenorutil
Seltene Erden	Ilmenorutil

Spurenelemente der Mineralphasen (in %)

Sphalerit (eisenarm)	Cd (0.23-0.25), Sb (0.00-0.024), Fe (0.53-0.55)
Sphalerit (eisenreich)	Cd (0.20-0.22), Sb (0.00), Fe (6.18-6.56)
Galenit	Cd (0.17-0.27), Sb (0.03-0.14), Zn (0.02-0.47)
Chalkopyrit	Cd (0.003-0.025), Zn (0.21-0.66), Pb (0.00-1.75)

Charakteristische Merkmale

- Sehr viel Sphalerit, überwiegend als eisenarme Varietät
- Weniger Galenit als in Probe 018003
- Das häufige Auftreten von Ilmenorutil in Grünschiefern (meist Th- und U-hältig)
- Viel Ilmenitkristalle, meist einschchlussreich.
- Häufig Anataspartikel
- Das häufige Auftreten von Gesteinsfragmenten aus Quarz, Ankerit und Calcit.
- Das Fehlen von Monazit in Ilmeniten.
- Das häufige Auftreten von Serizit-Chloritschiefern.
- Nicht selten rutilreiche Schwarzschieferpartikel
- Sporadische Auftreten von technologischen Partikeln Typus 'Verbrennungsanlagen'

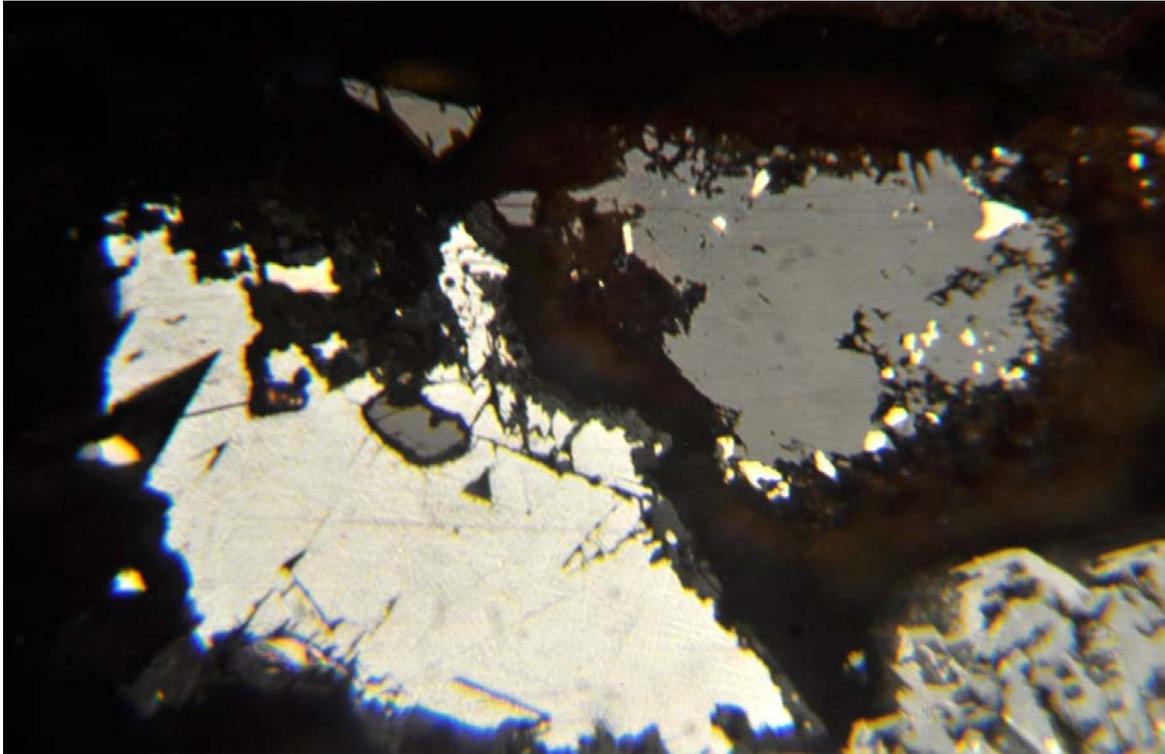


Abb.2-6: Galenit (grauweiß) mit Einschlüssen von Sphalerit (dunkelgrau); links im Bild Sphalerit (grau) mit Einschlüssen von Pyrrhotin (beige). Probe 018005-2; polierter Dünnschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße:0.37 x 0.25 mm

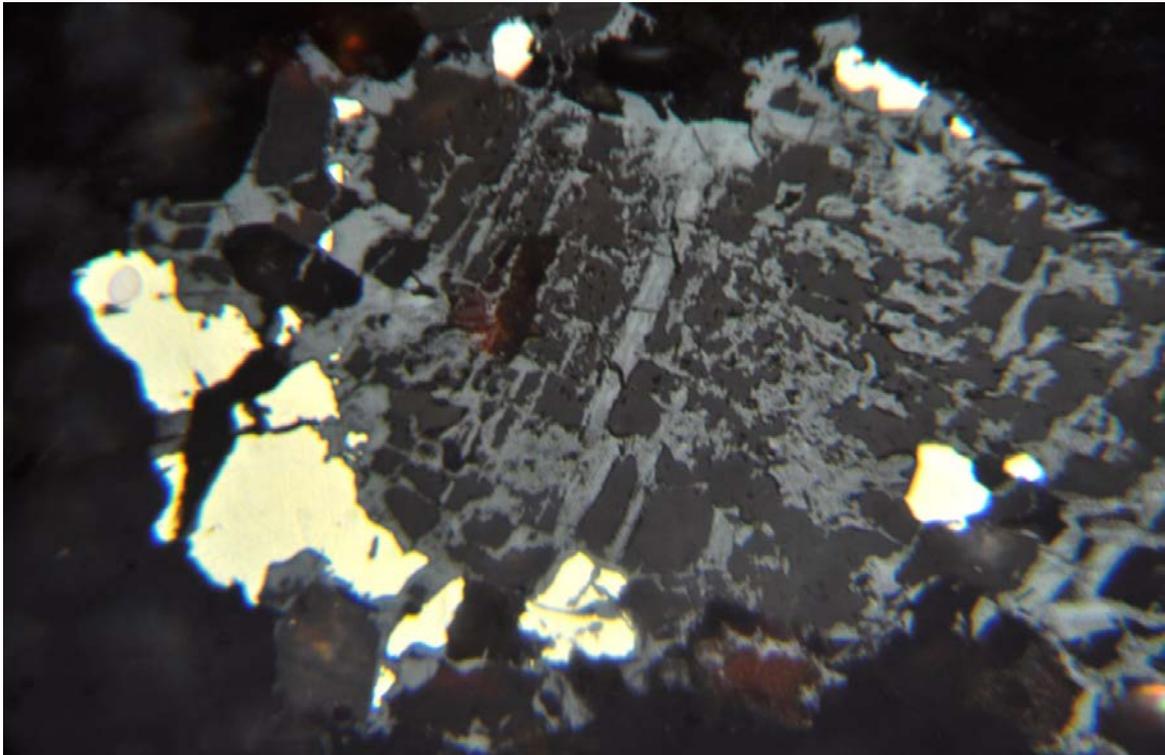


Abb.2-7: Ankerit (dunkelgrau) mit Pyriteinschlüssen (gelblich) wurde weitgehend durch Eisenhydroxid (bläulichgrau) verdrängt. Pyrit besitzt Einschluss von tropfenförmigem Pyrrhotin (links im Bild) Probe 018005-2; polierter Dünnschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße: 0.37 x 0.25mm

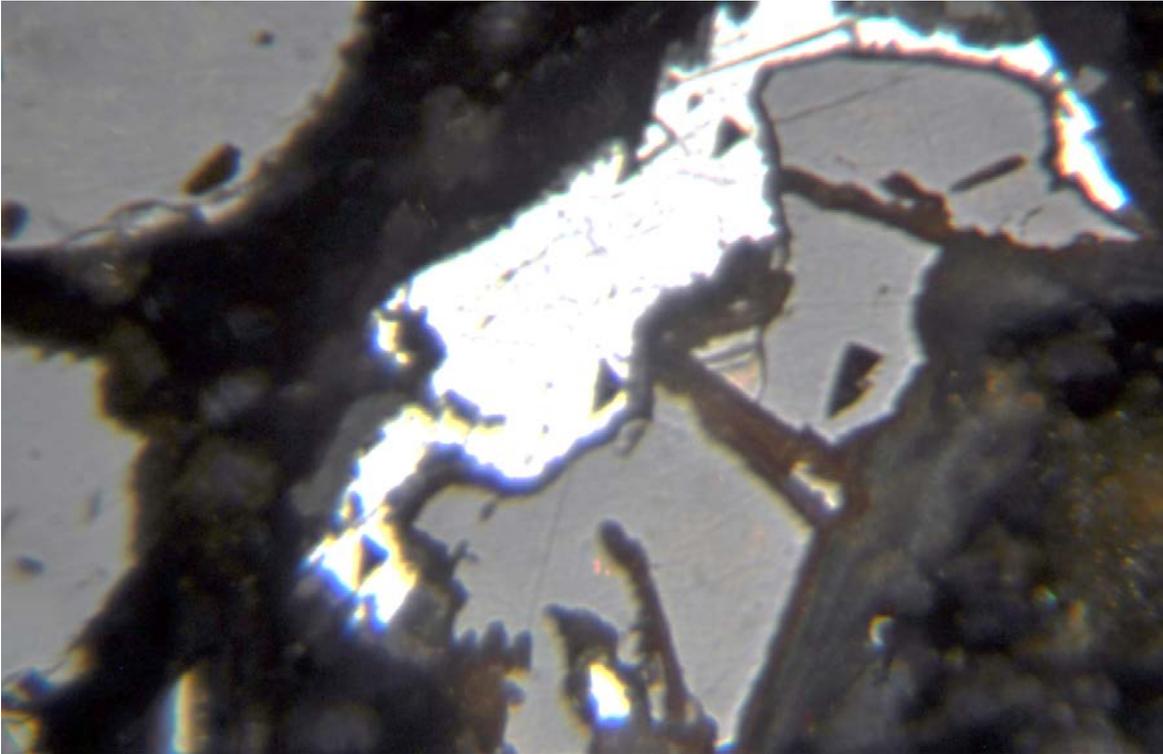


Abb.2-8: Galenit(weiß) verwachsen mit Sphalerit (grau) und sekundäre Blei- und Zink-Mineralen (schwarz), Probe 018005-2; polierter Dünnschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße: 0.37 x 0.25 mm

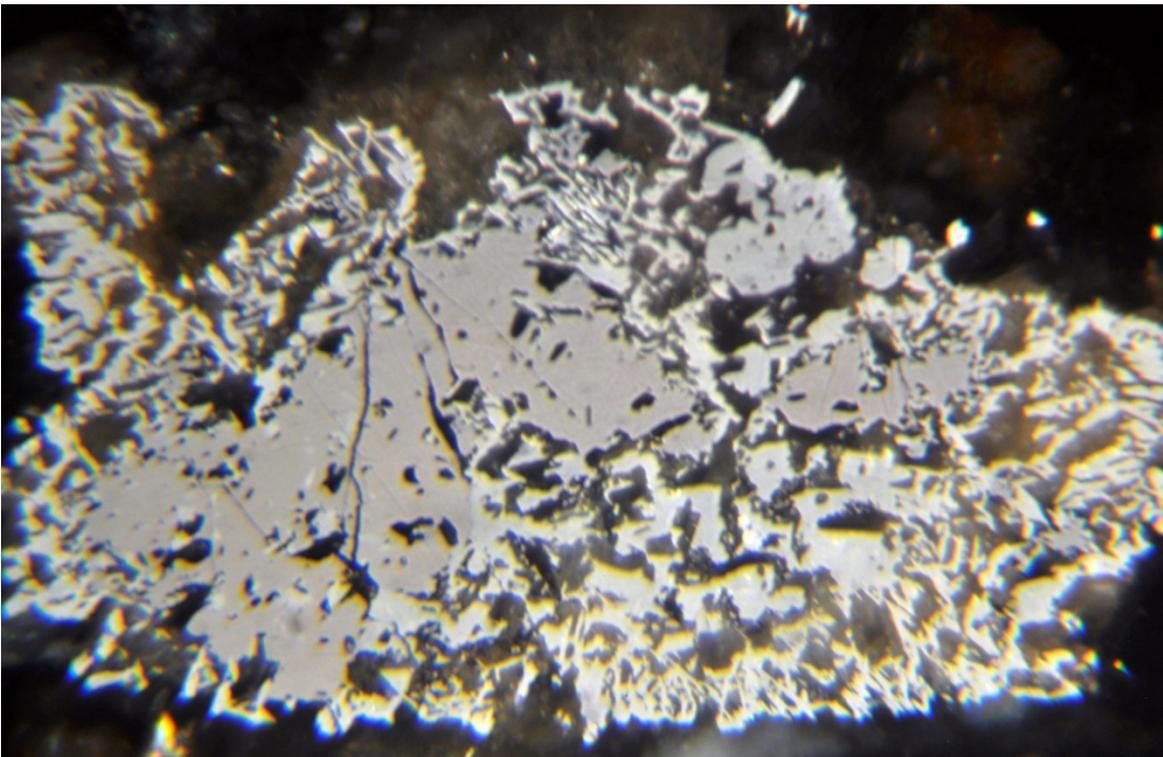


Abb. 2-9: Ilmenit (beige) wurde weitgehend durch Rutil (hellgrau) verdrängt, Probe 018005-2; polierter Dünnschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße: 0.37 x 0.25 mm

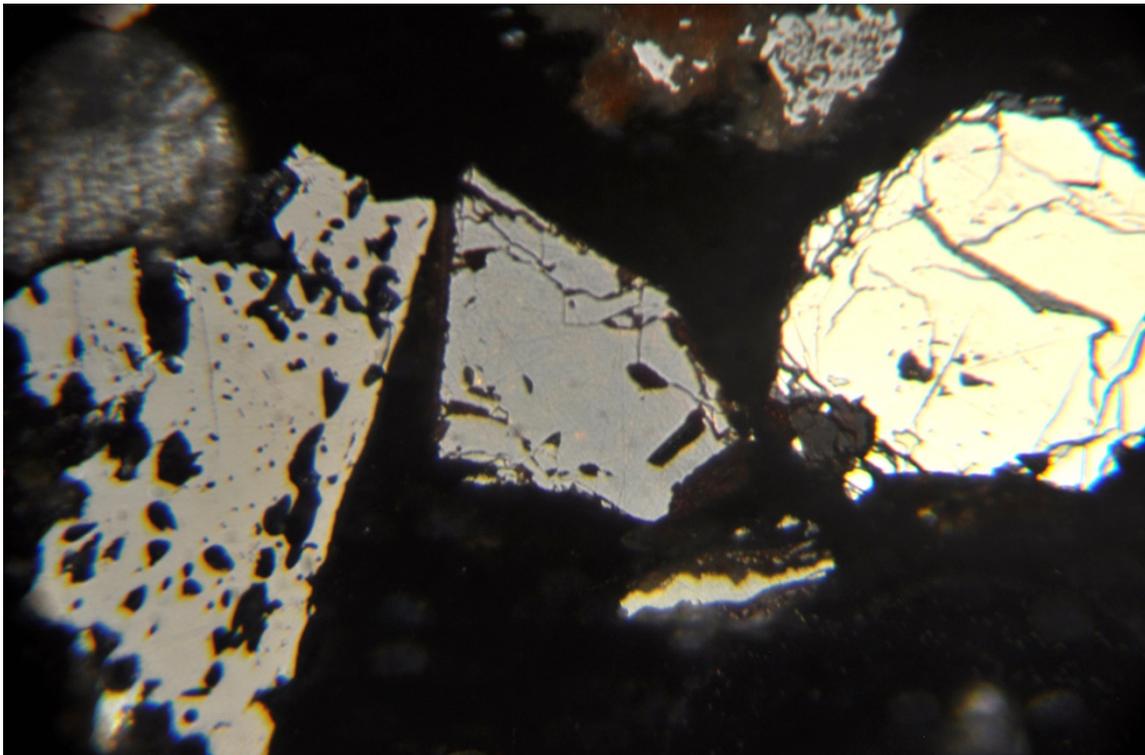


Abb.2-10: Ilmenit (hellbraun) mit zahlreichen Einschlüssen von Apatit und Chlorit (schwarz); hypidiomorpher Sphalerit (grau); rechts im Bild, Pyritkorn (gelb) mit Einschlüssen von Galenit (hellgrau); Probe 018005-2: polierter Dünnschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße: 0.37 x 0.25 mm

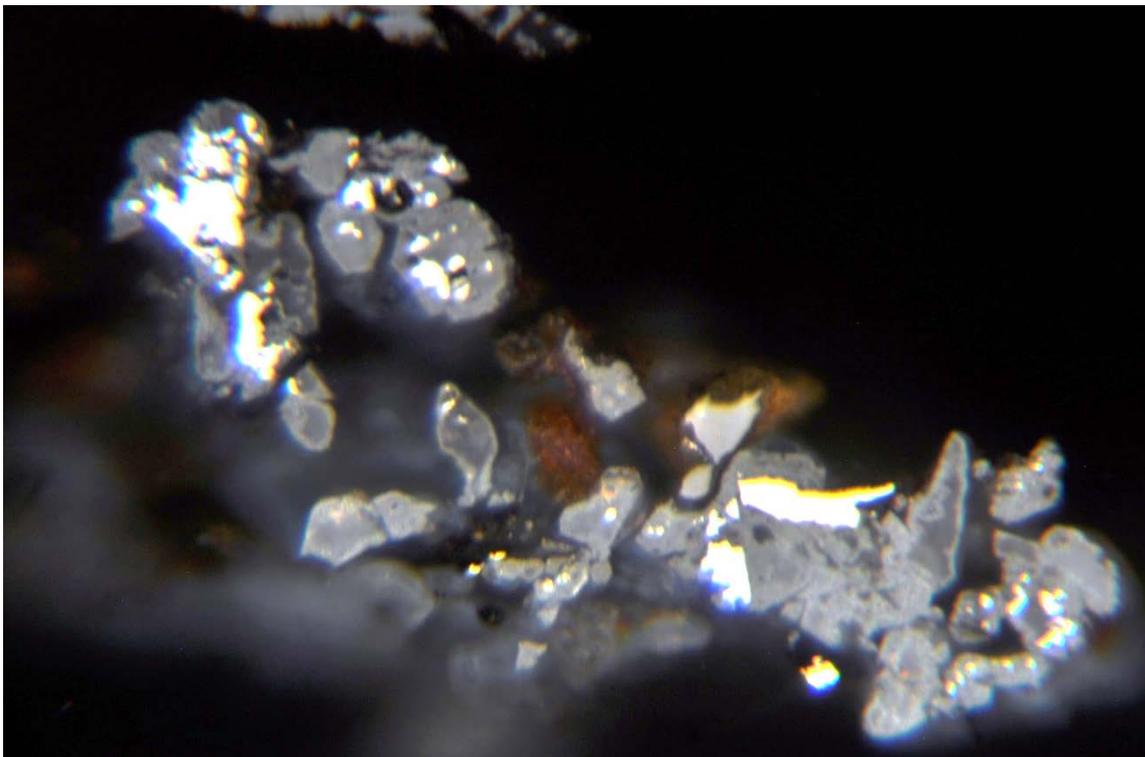


Abb.2-11: Galenit (weiß) wurde weitgehend durch Cerussit (bläulich grau) verdrängt; Probe 018005-1; polierter Anschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße: 0.37 x 0.25 mm



Abb.2-12: Junge Mobilisate von Pyrrhotin (beige) und Galenit (weiß) als Zwickelfüllungen in Ankeritkornaggregaten (grau). Ankerit wird entlang der Korngrenzen durch Eisenhydroxid (blaugrau) verdrängt; Probe 018005-1; polierter Anschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße: 0.37 x 0.25 mm

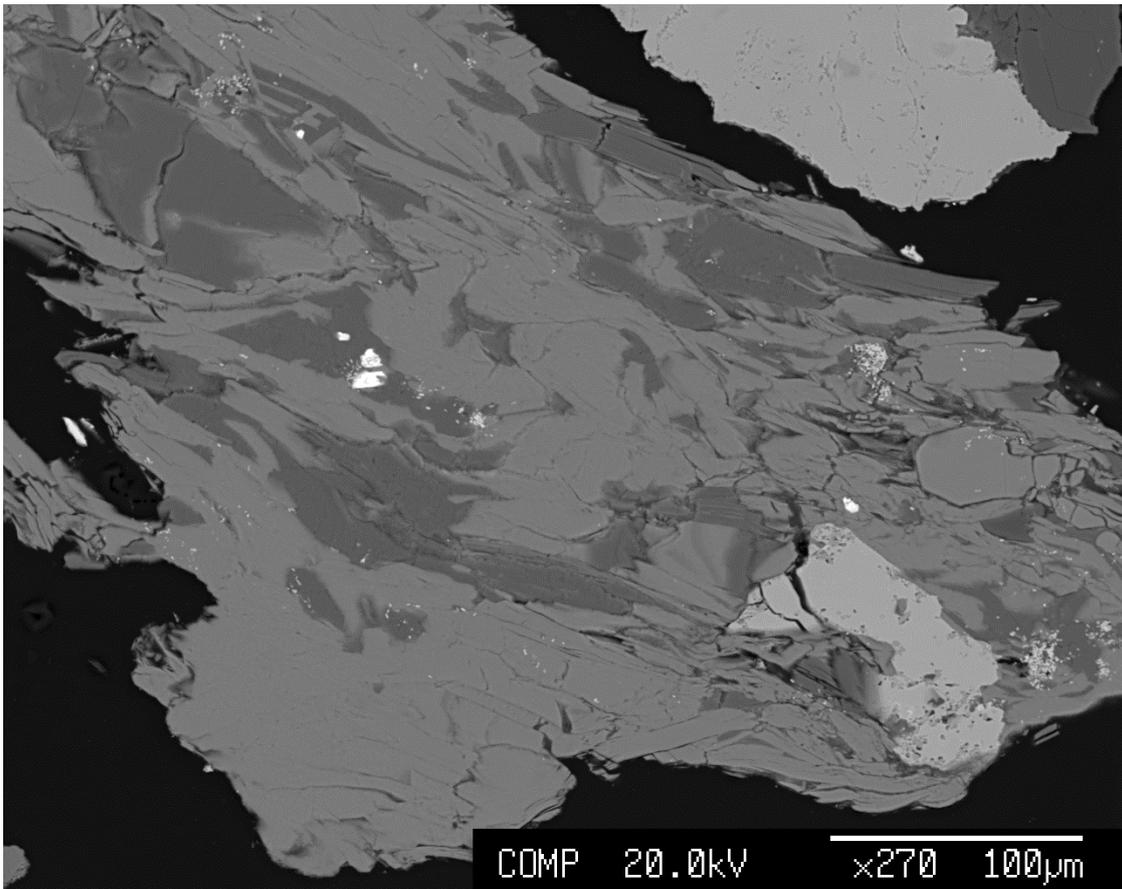


Abb.2-13: Einschlüsse von Ilmenorutilkörner (grauweiß) in Serizit-Chloritmatrix (grau und dunkelgrau); siehe auch Elementspektrum und Elementverteilungsbilder (Abb. 22 und 23), Probe 018005-2, BSE-Bild mittels rückgestreuter Elektronen.

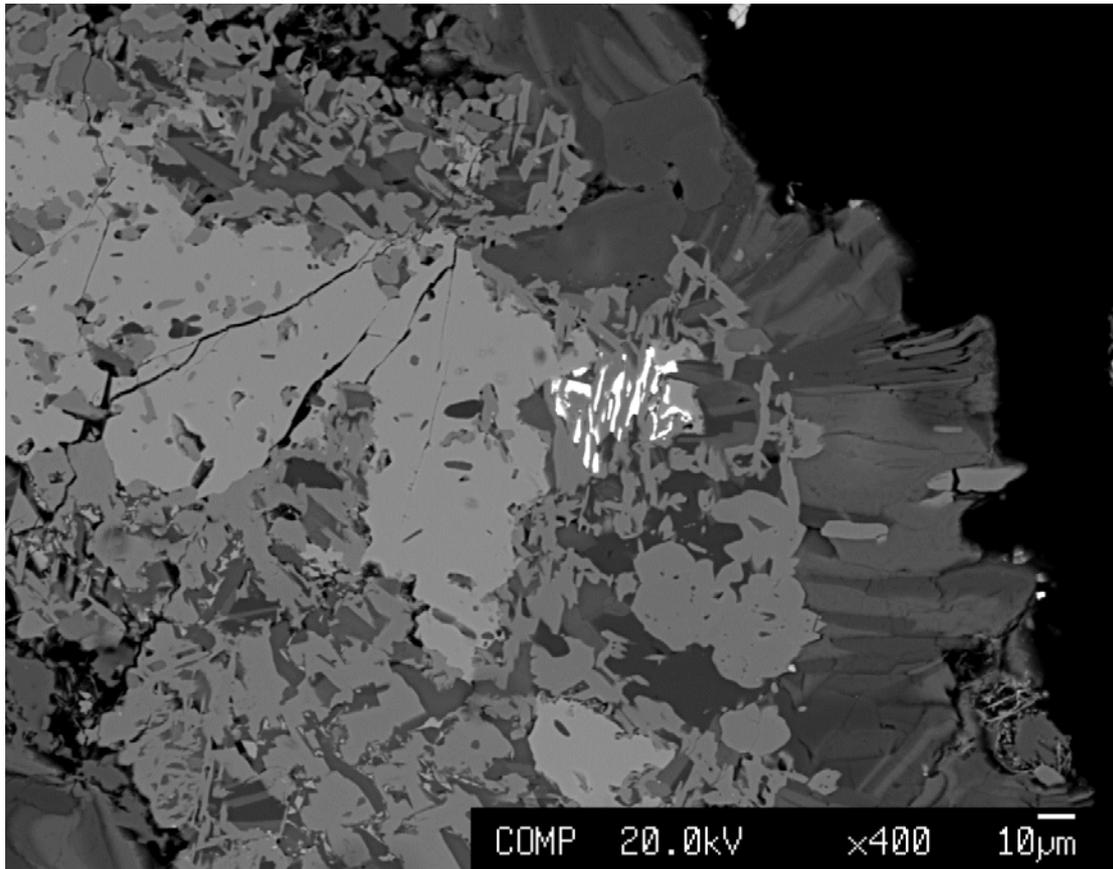


Abb. 2-14: Einschluss von skelettförmigem Galenit in Ilmenit; Probe 018005-2; BSE-Bild mittels rückgestreuter Elektronen

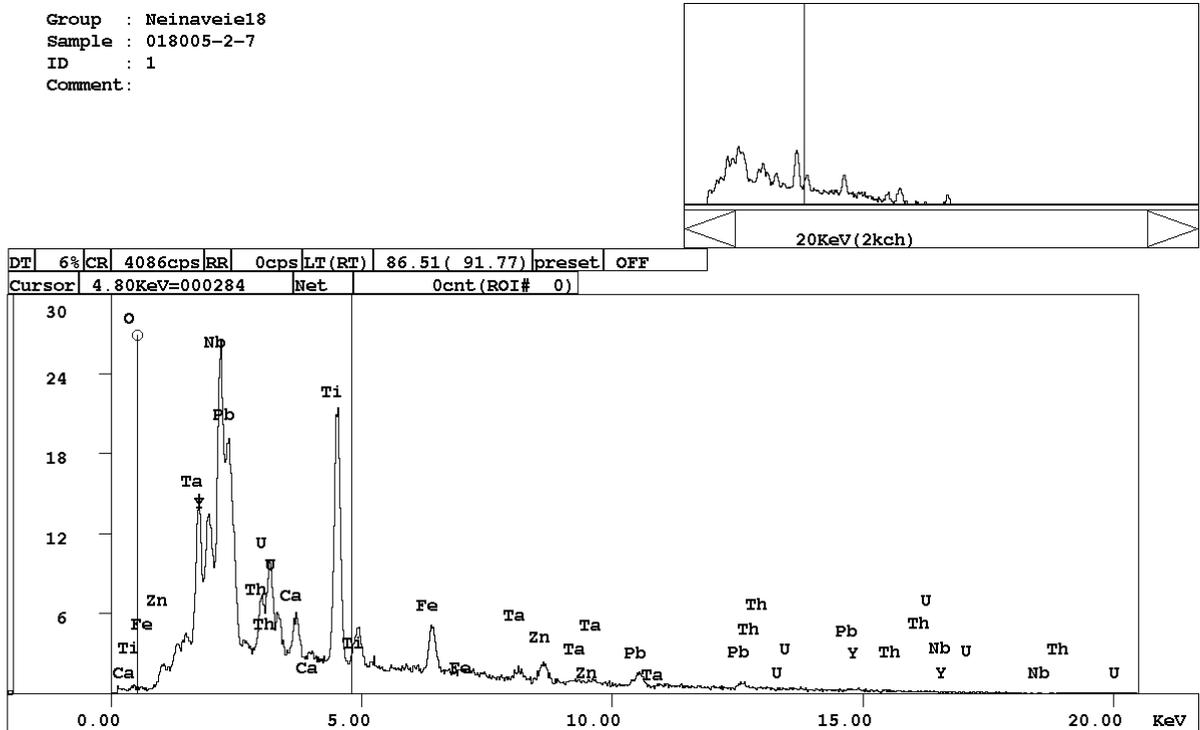


Abb.2-15: Elementspektrum von Ilmenorutil mittels EDS (Mikrosonde); Probe 018005-2

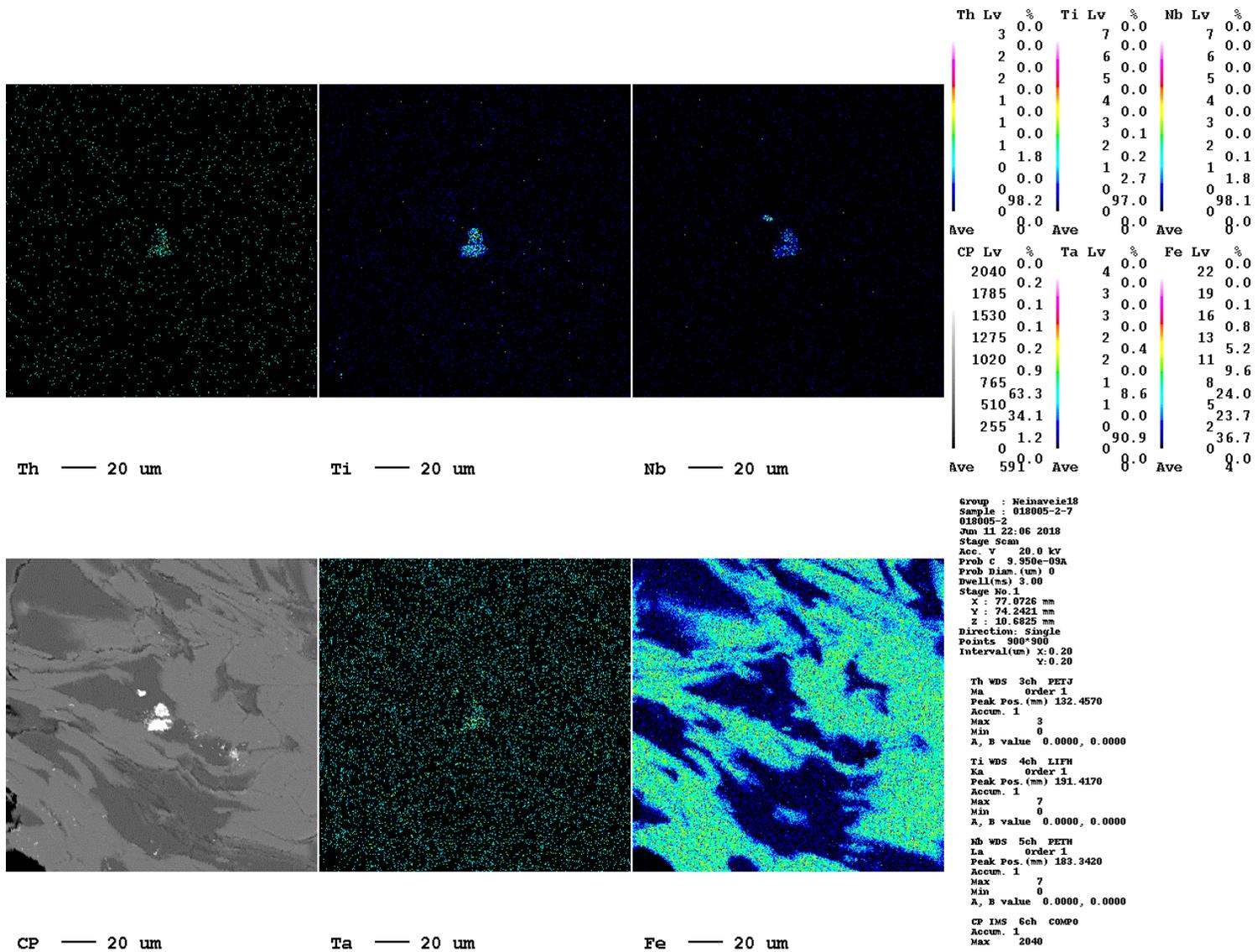


Abb.2-16: Elementverteilungsbilder von Th, Ti, Nb, Ta und Fe in Ilmenorutil, Serizit und Chlorit, Probe 018005-2 Haldenmaterial Haufenreith

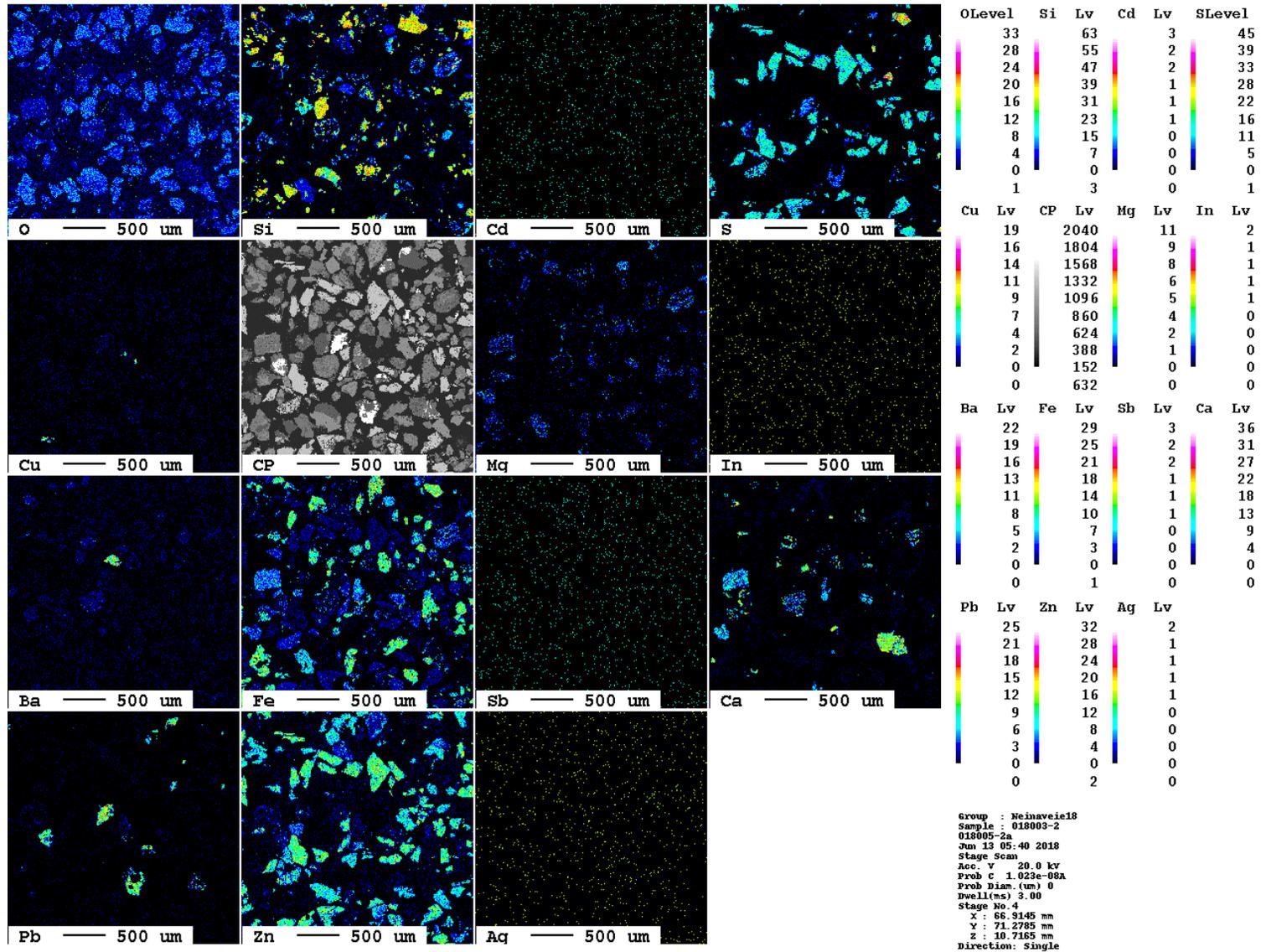


Abb.2-17:Elementverteilungsbilder von O, Si, Cd, S, Cu, Mg, In, Ba, Fe, Sb, Ca, Pb, Zn und Ag in Schwerminerkonzentrat nichtmagnetische Fraktion. Probe 018005-2 Haldenmaterial Haufenreith

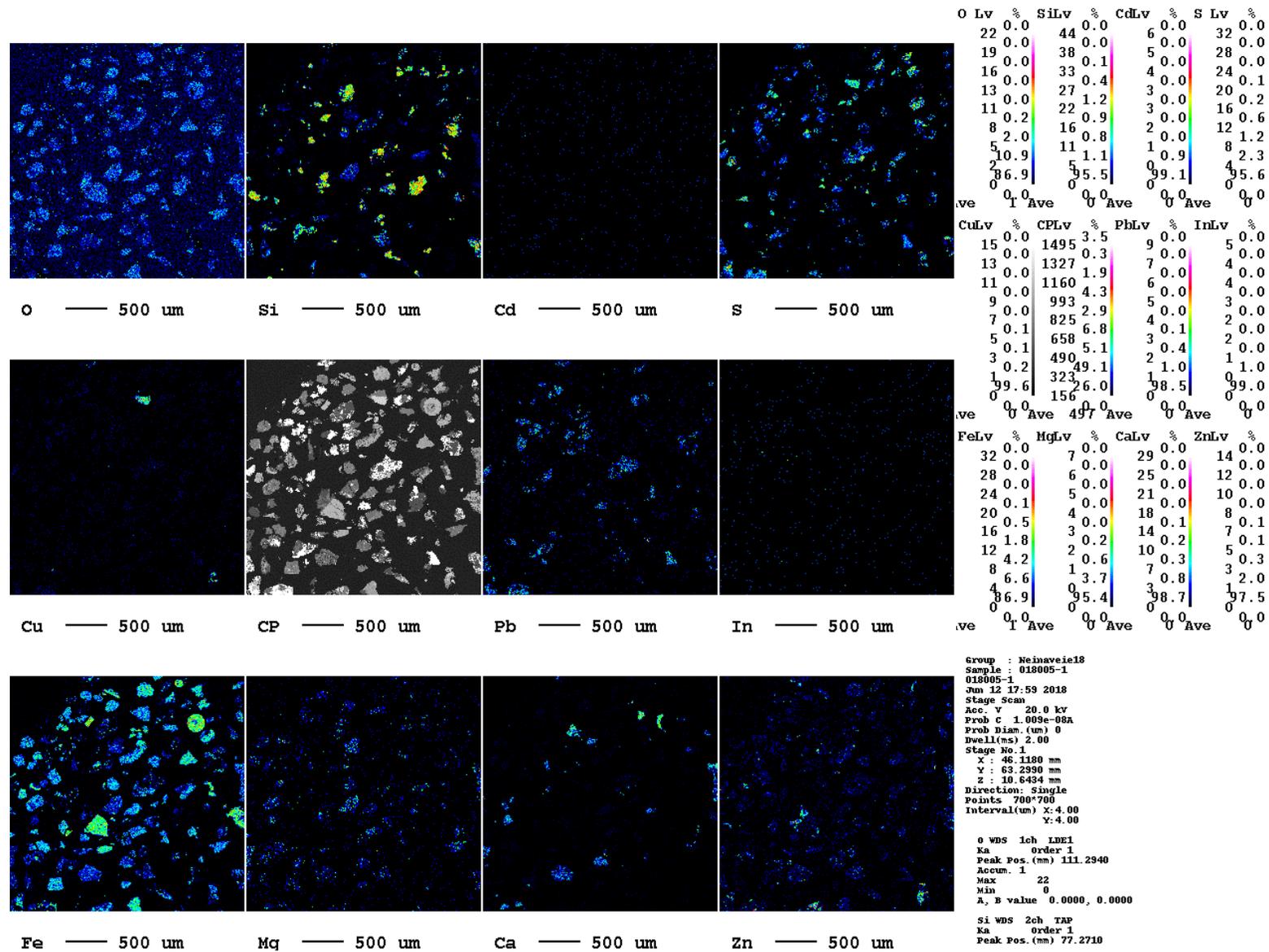


Abb.2-18: Elementverteilungsbilder von O, Si, Cd, S, Cu, Mg, In, Ba, Fe, Sb, Ca, Pb, Zn und Ag in Schwermineralkonzentrat magnetische Fraktion; Probe 018005-1 Haldenmaterial Haufenreith

Probe 018003 Schwermineralkonzentrat ‚Aufbereitungshalde Haufenreith‘ (Grobmaterial)

Phasenbestand:

Oxide, Hydroxide

Ilmenit	+++	tritt bevorzugt in Serizit- bzw. Chloritschiefern auf und weist häufig Einschlüsse von Monazit, Apatit, Cobaltin, Galenit und Pyrit auf. Ilmenit wurde auch untergeordnet in Paragenese mit Galenit sowie Ankerit beobachtet.
Rutil	+++	meist Umwandlungsprodukt von Ilmeniten.
Anatas	++	sekundär aus Ilmeniten sowie als idiomorphe Kristalle.
Eisenhydroxide	+++	Verwitterungsprodukt von Ankeriten und Sulfiden wie Pyrit und Chalkopyrit
Sekundäre Zinkminerale	++	Verdrängungsprodukt von Sphaleriten.

Sulfide und Sulfate

Galenit	+++++	bildet das dominante Erzmineral und ist häufig mit Sphalerit, Pyrrhotin, Pyrit und untergeordnet auch mit Chalkopyrit vergesellschaftet. Als Gangart wurde meist Ankerit und spärlich Quarz und Calcit beobachtet. Galenit wird häufig durch Cerussit verdrängt.
Sphalerit	+++	bildet das zweit häufigste Erzmineral und tritt als isolierte Körner sowie als Verwachsungen mit Galenit auf. Als Entmischungskörper in Sphalerit wurde Pyrrhotin beobachtet. Mikroskopisch und analytisch wurden eisenarme und eisenreiche Varietäten festgestellt. Eine Verdrängung von Sphalerit durch sekundäre Mineralien ist häufig.
Pyrit	+++	tritt als xenomorphe bis idiomorphe Partikeln auf und ist untergeordnet mit Galenit vergesellschaftet. Als Einschlüsse in Pyrit wurden Galenit, Sphalerit und Pyrrhotin beobachtet.
Pyrrhotin	++++	wurde stets in Paragenese mit Galenit und /oder Sphalerit beobachtet. Pyrrhotin tritt auch als Entmischungen in Sphalerit auf.
Chalkopyrit	++	spielt untergeordnete Rolle; tritt als Begleiter von Galenit, Sphalerit und Ankerit auf.
Kobalt-Pentlandit	++	wurde als feine Einschlüsse in Ilmenit beobachtet.
Cobaltin	++	wie Kobalt-Pentlandit
Baryt	+	vereinzelt als idiomorphes Korn

Phosphate

Monazit	+++	häufig mit Apatit und Cobaltin in Ilmenitkristallen
Xenotim	+	tritt sporadisch in Ilmenit auf.
Apatit	+++	wurde in Paragenese mit Monazit und (Co,Ni,As)-Sulfiden in Ilmeniten beobachtet.

Silikate

Chlorit	+++	ist Hauptbestandteil von Chlorit- bzw. Serizit-Chloritschiefern. Als Einschlüsse in Chloritschiefern wurden häufig Monazit- und Apatit-hältige Ilmenite beobachtet.
Serizit	++	Bestandteile von Serizit- und Serizit-Chloritschiefern, sporadisch wurde auch in Karbonaten beobachtet.
Plagioklas	++	in Serizit-Chloritschiefern.
Biotit	++	als Einschlüsse in Ilmenit.
Quarz	++	meist mit Ankerit und Chlorit verwachsen.

Karbonate

Ankerit	+++++	tritt als Gangart auf und ist meist weitgehend durch Eisenhydroxide verdrängt. Ankerit ist häufig mit Sulfiden vergesellschaftet.
Calcit	++	ist meist mit Ankerit verwachsen.
Dolomit	+	als Einschlüsse in Ankerit.
Cerussit	+++	stets als Verdrängungsprodukt von Galenitpartikel. Galenit ist z.T. vollständig in Cerussit umgewandelt.

Herkunft der Schwermetalle

Pb	Galenit, Cerussit, sekundäre Zinkminerale, Chalkopyrit
Zn	Sphalerit, sekundäre Zinkminerale, Cerussit, Galenit, Chalkopyrit
Sb	Sphalerit, Galenit
Cd	Sphalerit, sekundäre Zinkminerale, Cerussit, Chalkopyrit
Co	Cobaltin, Kobalt-Pentlandit
Ni	Cobaltin, Kobalt-Pentlandit
As	Cobaltin
Th	Monazit
U	Monazit
In	Sphalerit, Cerussit
Seltene Erden	Monazit, Xenotim

Spurenelementgehalt der Mineralien (in %)

Sphalerit (eisenreich)	Cd (0.19-0.22), Sb (0.00-0.002), In (0.00-0.01), Fe (3.14-7.7)
Sekundäre Zinkminerale	Cd (0.016-0.018), Pb (1.68-2.95)
Galenit	Cd (0.16-0.88), Sb (0.04-0.17), Zn (0.00-0.013)
Cerussit	Cd (0.13-0.21), Zn (0.02-0.18)

Charakteristische Merkmale

- Sehr viel Ankerit, meist mit Galenit, Sphalerit, Pyrrhotin und Chlorit verwachsen.
- Sehr viel Galenit, häufig in Paragenese mit Pyrrhotin, Sphalerit und Pyrit.
- Häufig eisenreicher und eisenarmer Sphalerit.
- Das häufige Auftreten von Ilmenit, meist mit Einschlüssen von Apatit, Monazit und Sulfiden wie Cobaltin und Kobalt-Pentlandit.
- Das häufige Auftreten von Pyrrhotin und Pyrit.
- Nicht selten Gesteinsfragmente von Chlorit- und Serizit-Chloritphylit.

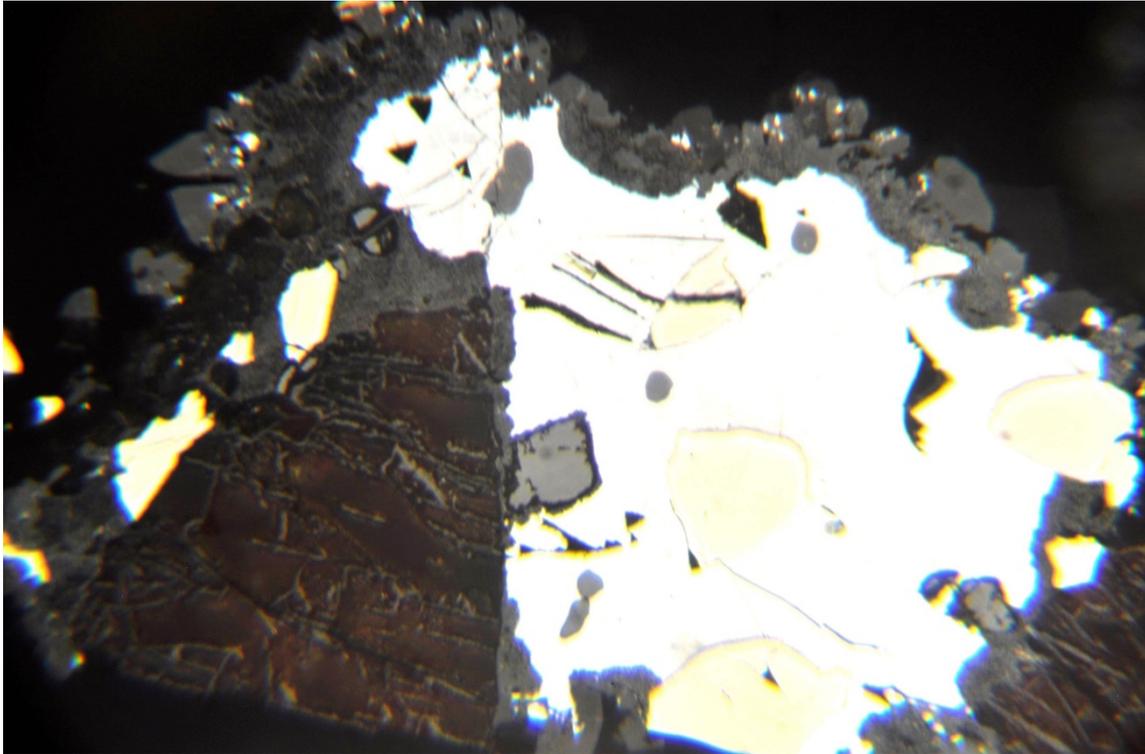


Abb.2-19: Galenit (weiß) mit Einschlüssen von Sphalerit (grau) und Pyrit (gelblich) verwachsen mit Ankerit (graubräunlich). Galenit wird randlich durch Cerussit (mittelgrau) verdrängt; Probe 018003-1; polierter Anschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße: 0.37x0.25 mm

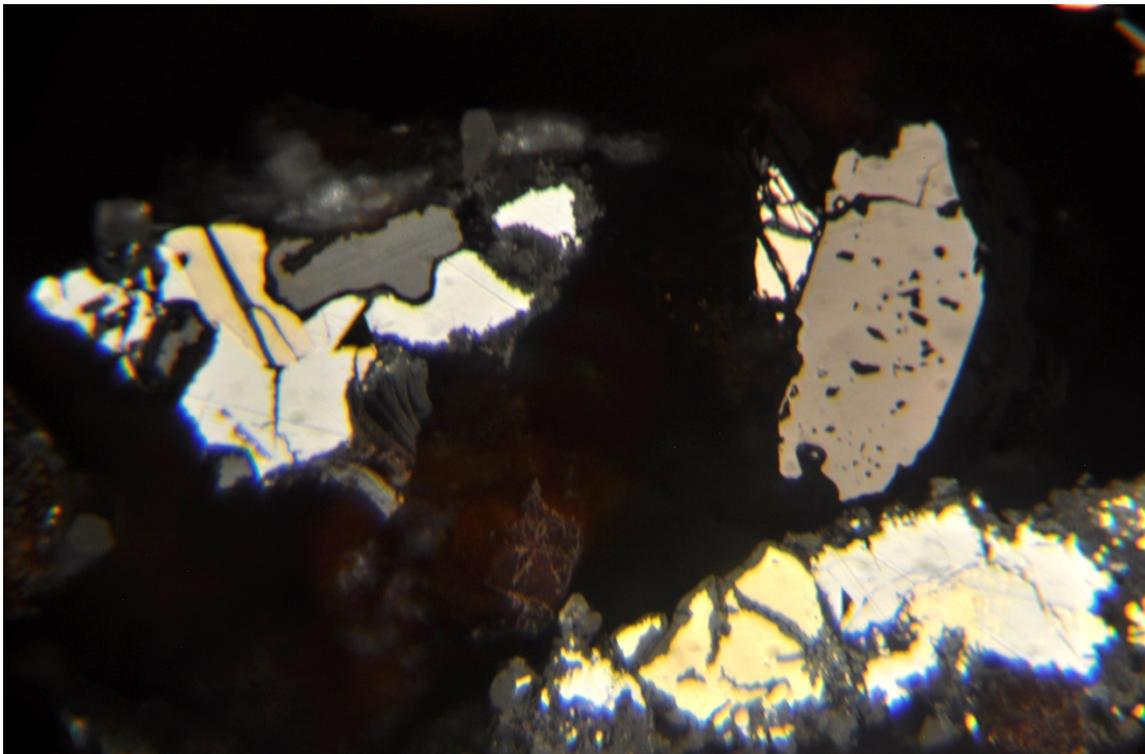


Abb.2-20: Links im Bild Paragenese Sphalerit (grau) und Pyrrhotin (beige); rechts unten Verwachsung von Galenit (weiß), Chalkopyrit (gelb) und Pyrrhotin (beige). Galenit und Sphalerit sind durch sekundäre Minerale (dunkelgrau) verdrängt. Oben rechts Ilmenitkorn (hellbraun) mit zahlreichen Einschlüssen von Apatit, Chlorit, Biotit, Probe 018003-1; polierter Anschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße: 0.37x0.25 mm

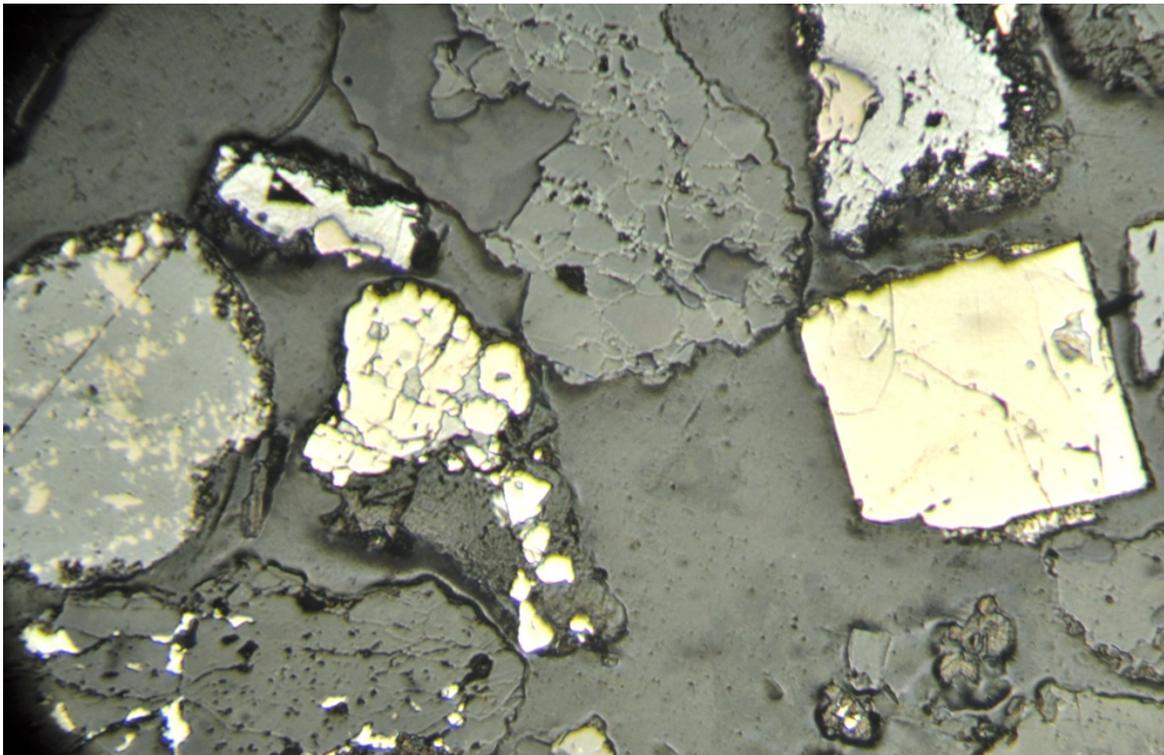


Abb.2-21: Links im Bild Sphalerit (hellgrau) mit Entmischungen von Pyrrhotin (beige) sowie Pyritkornaggregate (gelblich) mit Zwickelfüllungen aus Galenit (grauweiß). Rechts im Bild idiomorpher Pyrit mit Einschlüssen von Galenit (grauweiß). Die grauen Partikeln sind Ankeritkornaggregate, z.T. mit Pyrrhotin-Einschlüssen; Probe 018003-2; polierter Dünnschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße: 0.7x0.5 mm

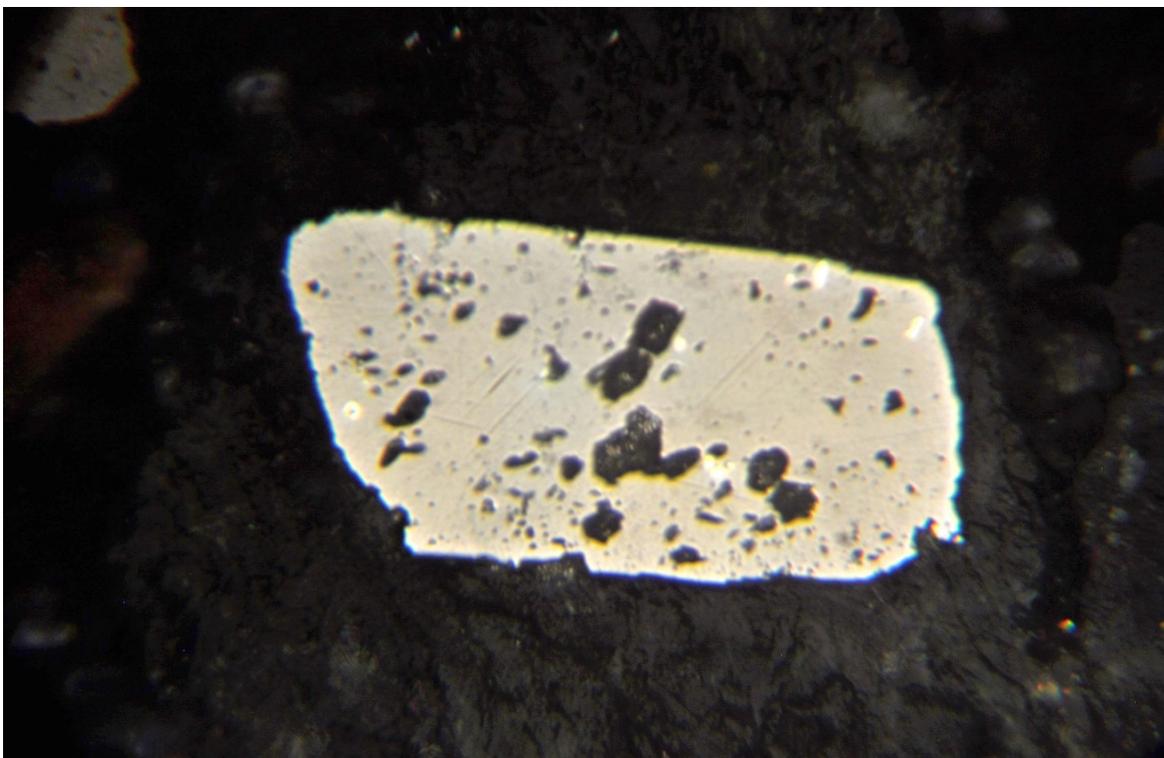


Abb. 2-22: Ilmenit (hellbräunlich) mit Einschlüssen von Apatit (dunkelgrau z.T. idiomorph), Monazit (hellgrau), (Co, Ni, As)-Sulfide (hell gelblich) und Chloritphyllit (Matrix), Siehe auch BSE-Bild und Elementverteilungsbilder; Probe 018003-2; polierter Dünnschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße: 0.37x0.25 mm

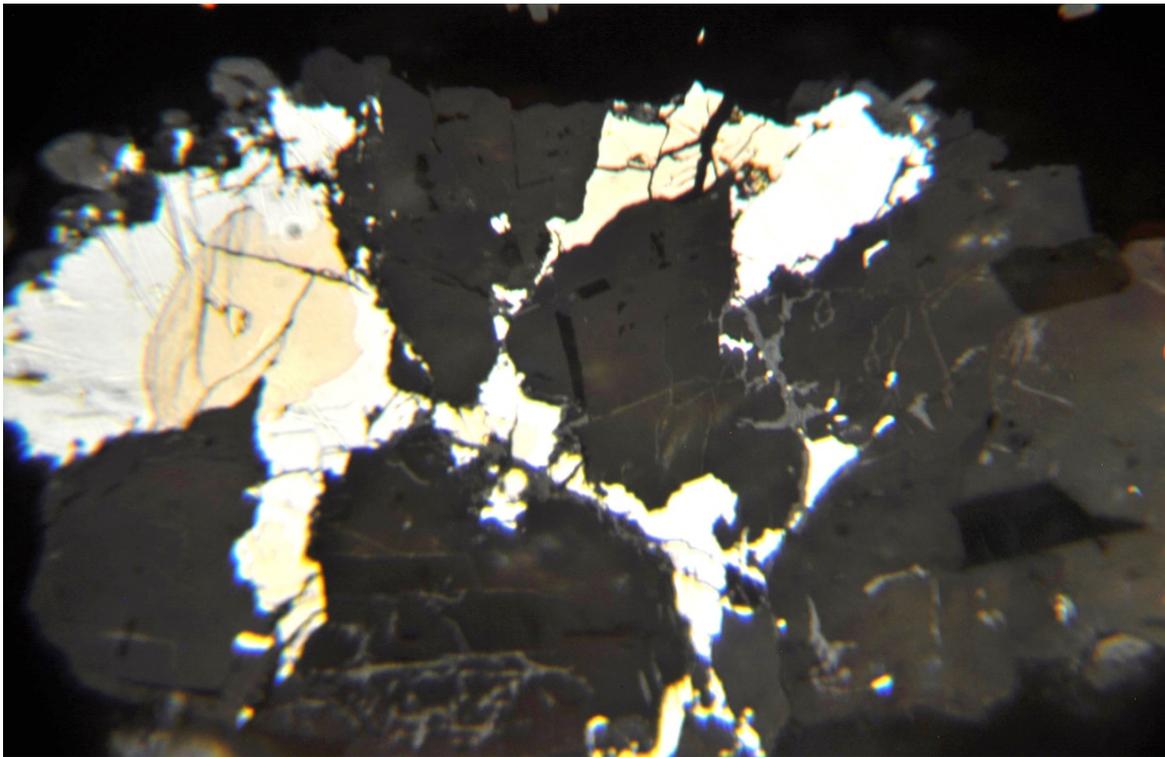


Abb.2-23: Junge Mobilisate von Galenit (weiß) und Pyrrhotin (beige) in Ankeritmatrix (dunkelgrau). Ankerit wird entlang Korngrenzen durch Eisenhydroxide (bläulich grau) verdrängt; Probe 018003-1; polierter Anschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße: 0.37x0.25 mm

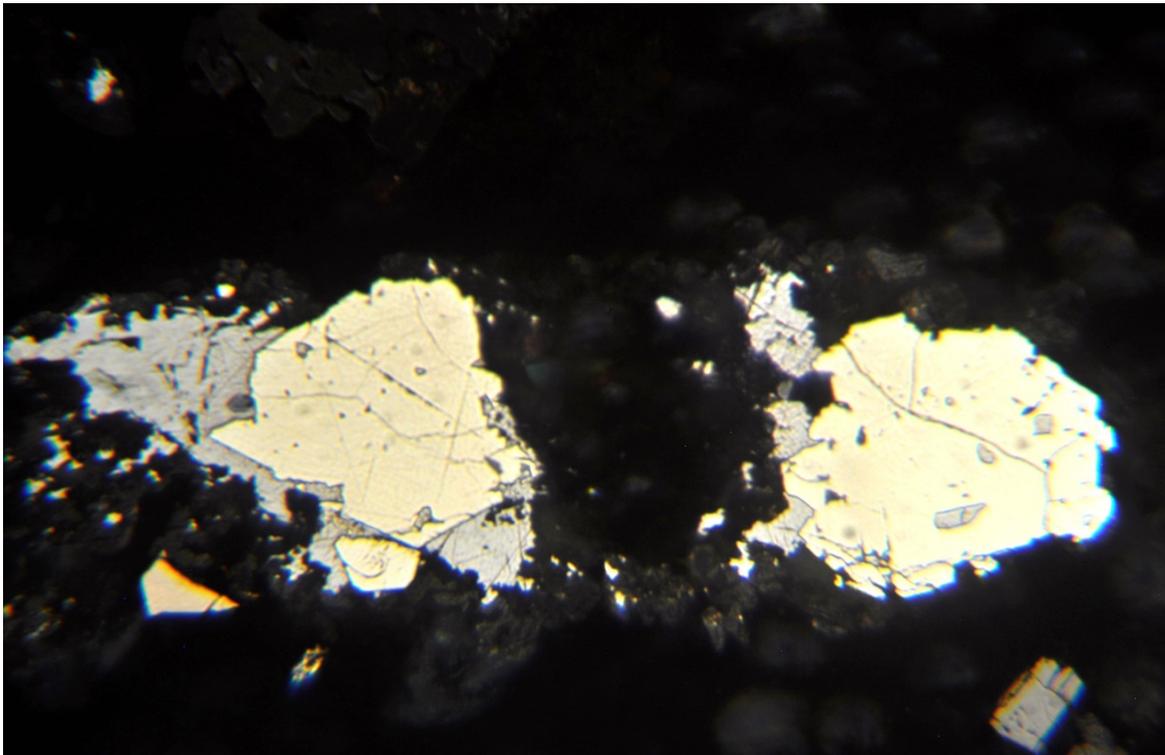


Abb. 2-24: Verwachsung von Galenit (weiß) mit Pyrit (gelblich) in Ankeritmatrix (dunkelgrau). Pyrit enthält auch Einschlüsse von Galenit; Probe 018003-2; polierter Dünnschliff, Haldenmaterial Haufenreith, Bildgröße: 0.37x0.25 mm

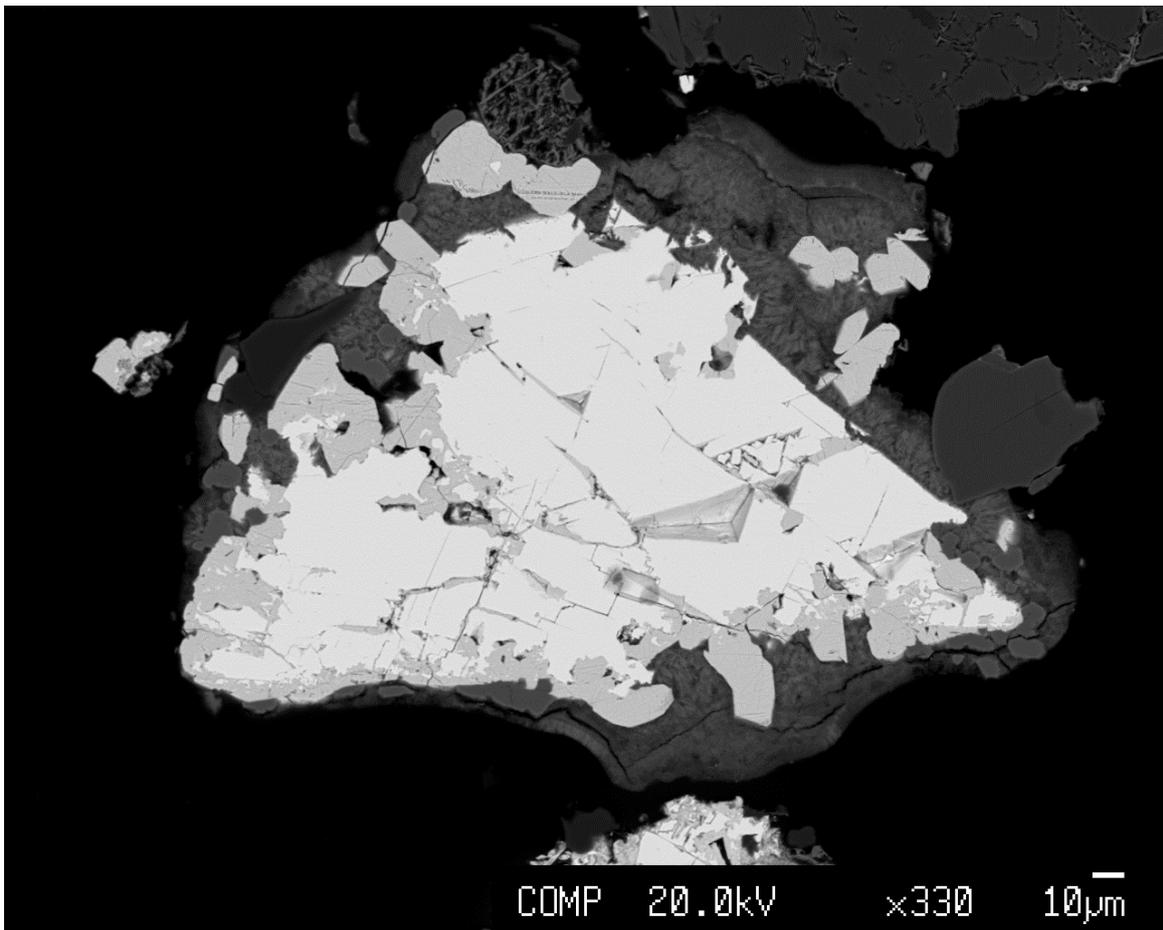


Abb. 2-25: Galenit (weiß) wird durch Cerussit (hellgrau) verdrängt; Probe 018003-2, Haldenmaterial Haufenreith; BSE-Bild mittels rückgestreuter Elektronen (Mikrosonde)

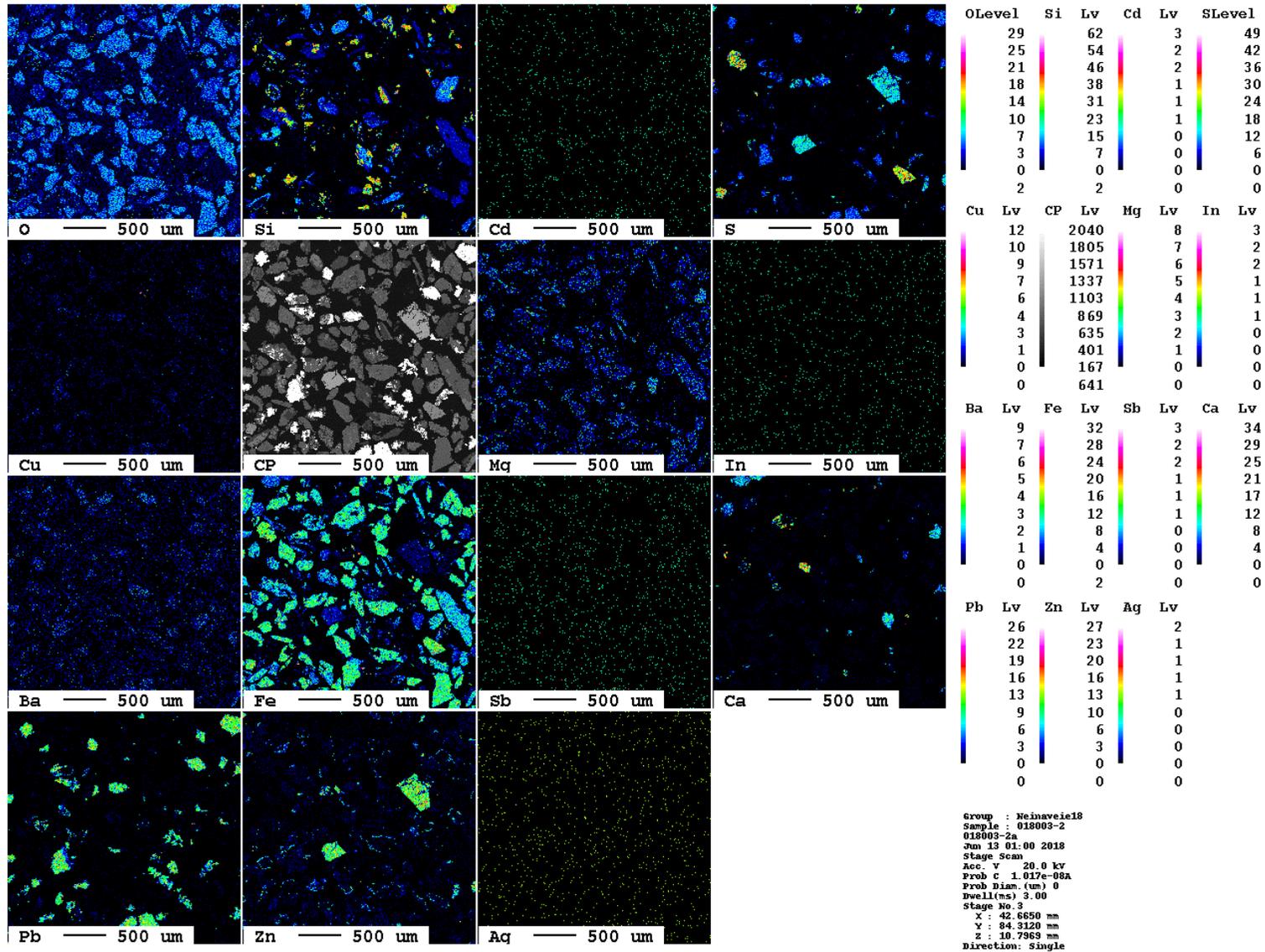


Abb. 2-26: Elementverteilungsbilder von O, Si, Cd, S, Cu, Mg, In, Ba, Fe, Sb, Ca, Pb, Zn und Ag in Schwerminerkonzentrat <0.35 mm, nichtmagnetische Fraktion; Probe 018003-2

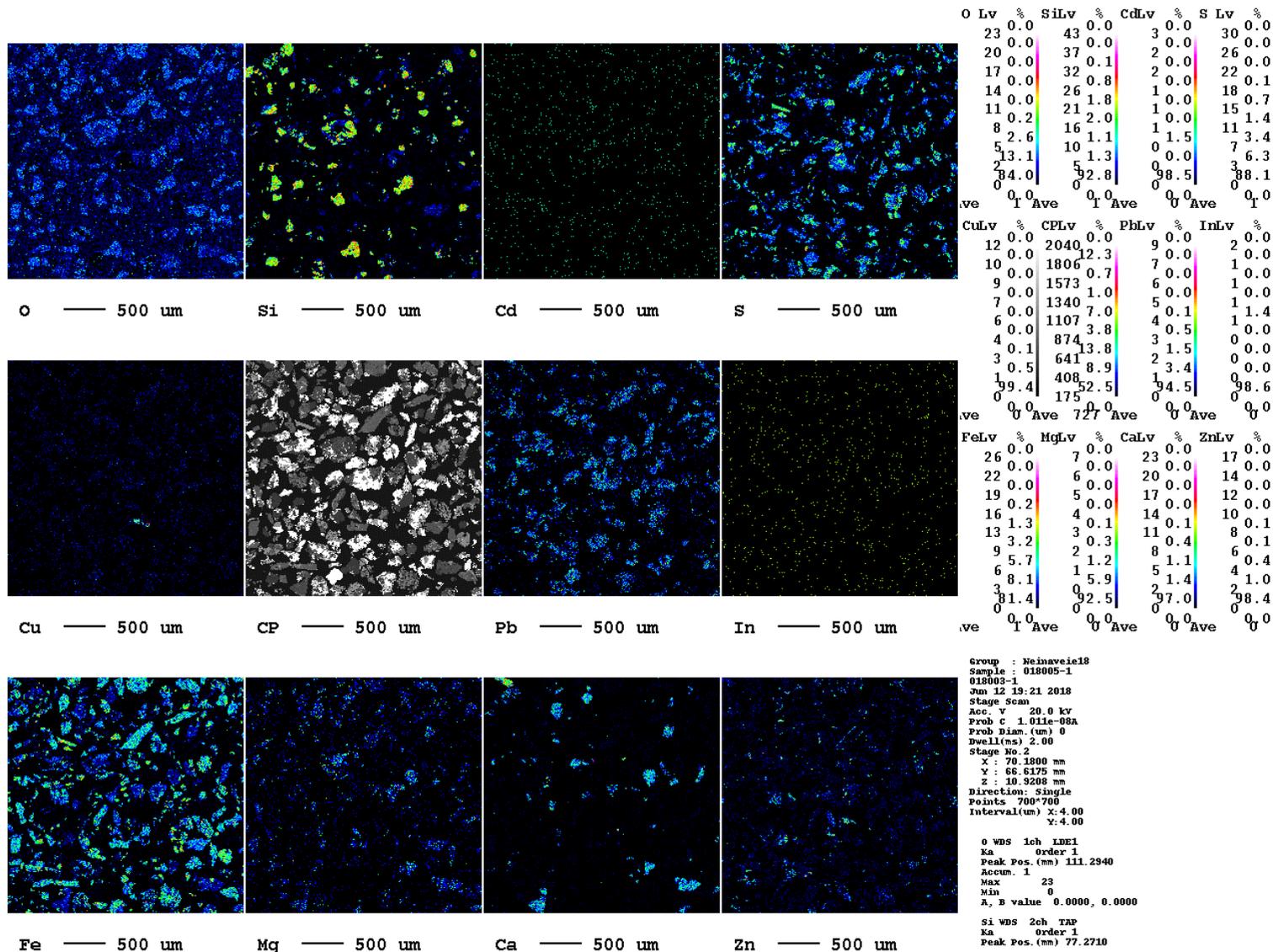


Abb. 2-27: Elementverteilungsbilder von O, Si, Cd, S, Cu, Mg, In, Ba, Fe, Sb, Ca, Pb, Zn und Ag in Schwerminerkonzentrat <0.35 mm, magnetische Fraktion. Probe 018003-1

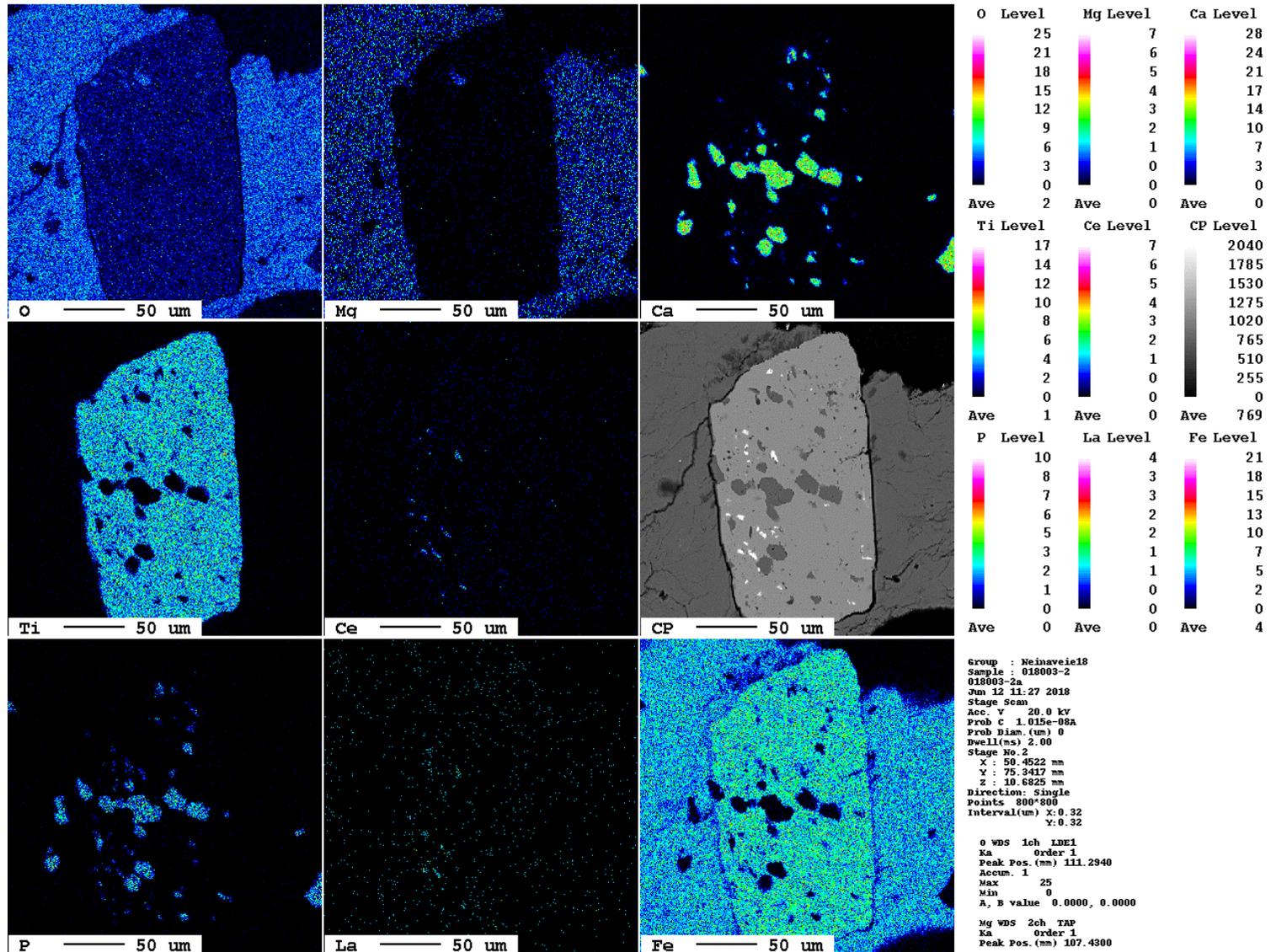


Abb. 2-28: Elementverteilungsbilder von O, Mg, Ca, Ti, Ce, P, La und Fe in Ilmenit mit Einschlüssen von Apatit, Monazit und Cobaltin. Probe 018003-2

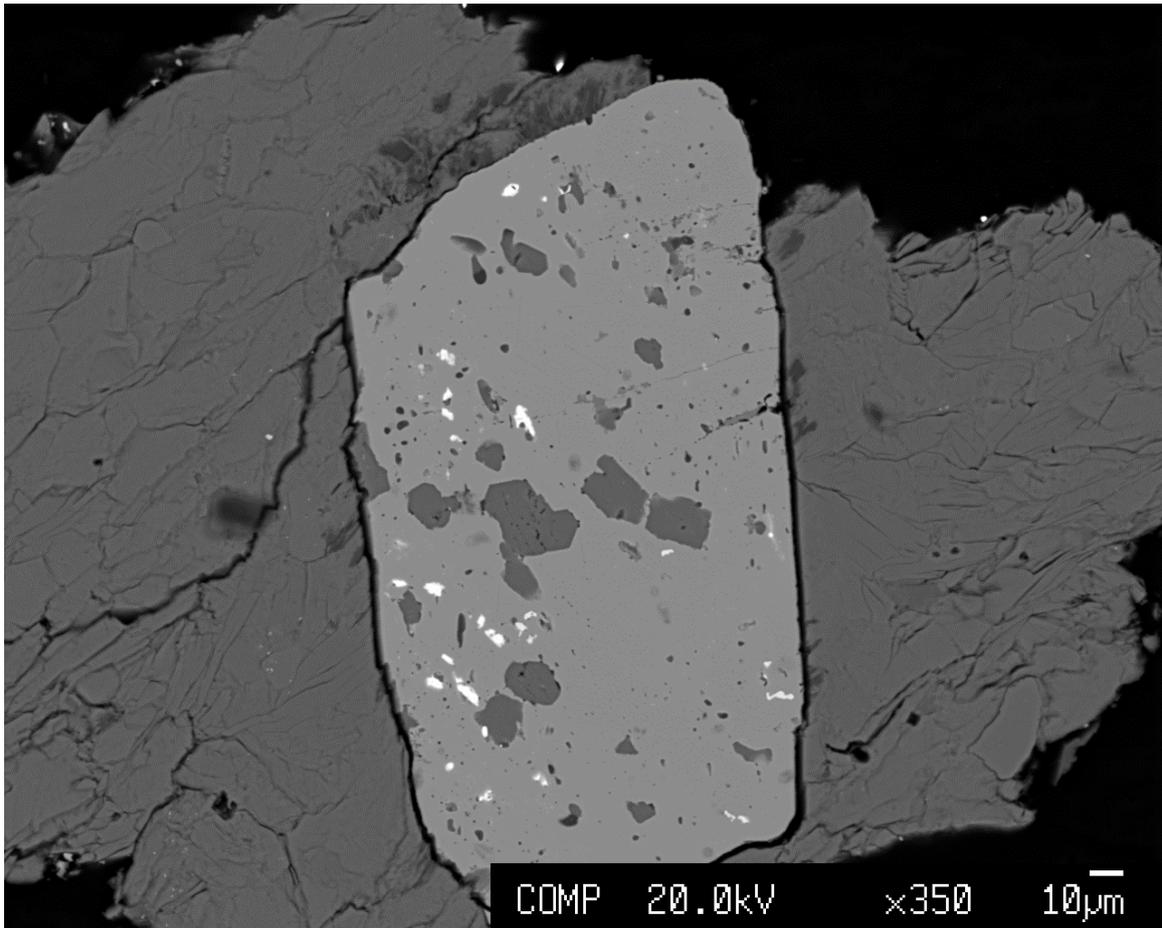


Abb. 2-29: Einschlüsse von Apatit (dunkelgrau, z.T. idiomorph), Monazit (weiß) und Cobaltin (hellgrau) in Ilmenit (grau) und Chlorit (mittelgrau, Matrix); Probe 018003-2, BSE-Bild mittels rückgestreuter Elektronen.

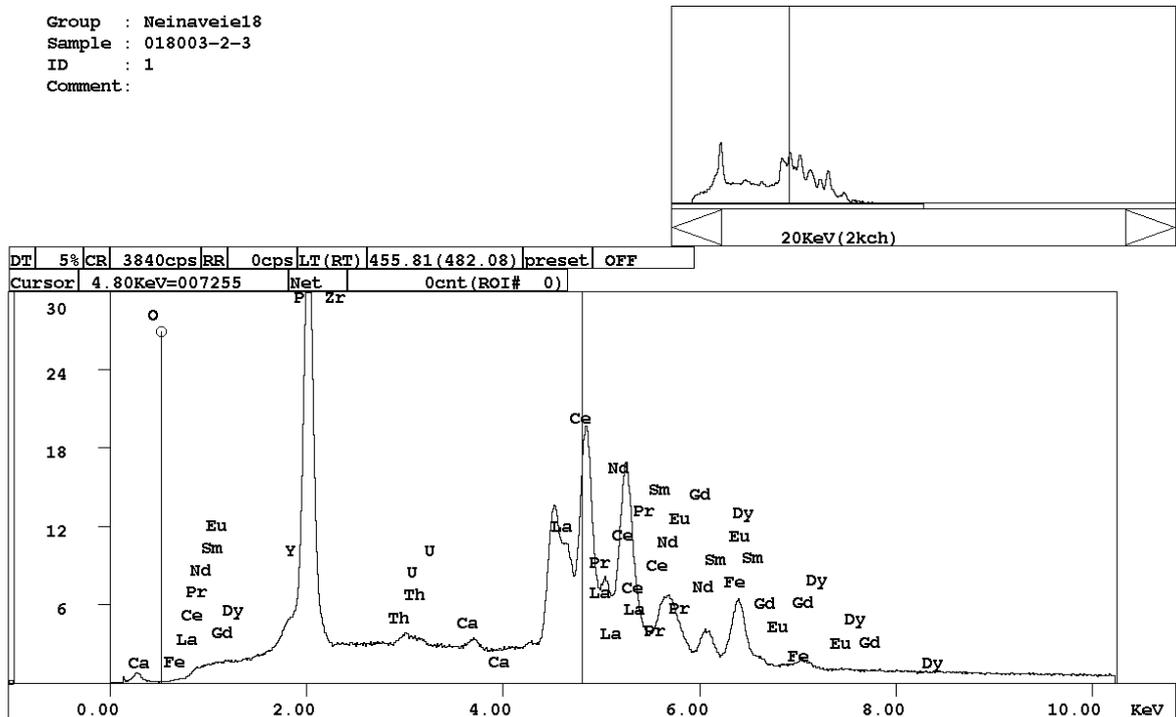


Abb. 2-30: Elementspektrum von Monazit in Ilmenit mittels EDS; Probe018003-2-3

Group : Meinaveiel8
Sample : 018003-2-3a
ID : 1
Comment :

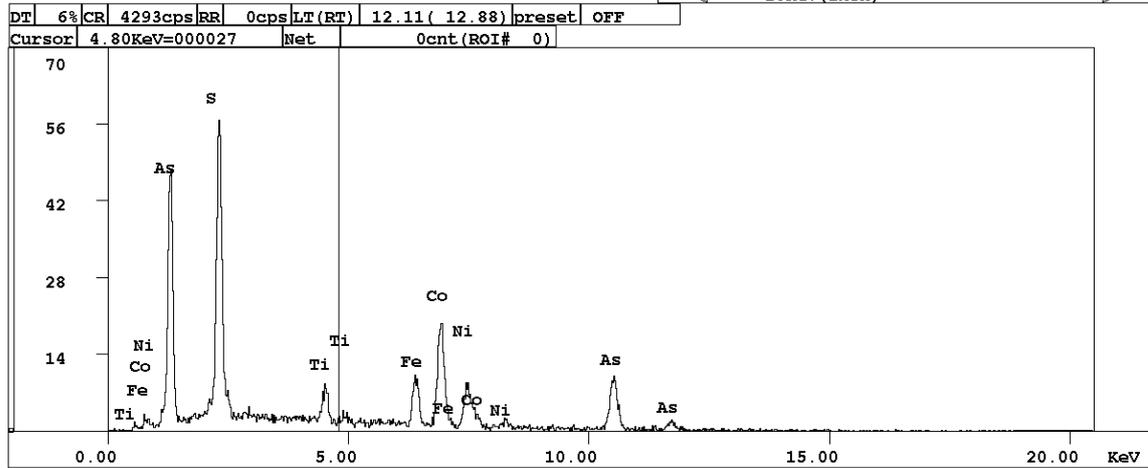
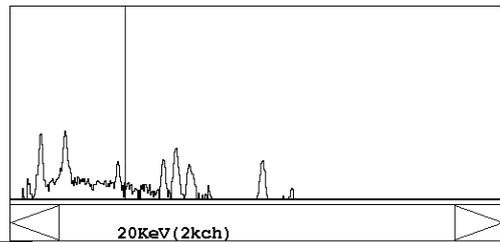


Abb. 2-31: Elementspektrum von Cobaltin in Ilmenit mittels EDS; Probe018003-2-3

Probe 011007_Aufbereitungshalde_Haufenreith (134/5005/504)

Phasenbestand

Metalle, Legierungen

Metallisches Eisen ++ - in Zundermaterialien und als Bleche

Oxide, Hydroxide

Magnetit +++++ - überwiegend geogen, z.T. weitgehend martitisiert. Technogen in Schlacken, Zundermaterialien und globularen Partikeln.

Hämatit aus Magnetiten. +++ - Bestandteile von Schlacken und globularen Partikeln; geogen meist sekundär

Wüstit +++ - Bestandteile von Zundermaterialien.

Calciumferrit ++ - Verdrängungsprodukt von Magnetit in Schlacken.

Hercynit ++ - in unregelmäßig aufgebaute, poröse Schlacken.

Ilmenit +++ - nicht selten mit Pyrit und Rutil verwachsen.

Hämatitilmenit +

Rutil +++ - z.T. mit Galenit und Pyrrhotin vergesellschaftet.

Pseudorutil ++ - Verdrängungsprodukt von Ilmenit.

Eisenhydroxide +++++ - Verwitterungsprodukt von Sulfiden, Fe-Karbonaten und metallischen Eisen.

(Fe,Zn)-Hydroxid + - Verdrängungsprodukt von Sphalerit.

Sulfide, Sulfate

Galenit +++++ - ist häufig mit Chalkopyrit, Pyrrhotin und Sphalerit verwachsen. Galenit wird häufig durch Cerussit verdrängt.

Sphalerit +++++ - tritt als isolierte Körner sowie in Paragenese mit Galenit, Chalkopyrit und Pyrrhotin auf; wird nicht selten durch Smithsonit und Hydrozinkit verdrängt.

Chalkopyrit +++++ - meist mit Galenit und Pyrrhotin verwachsen.

Pyrrhotin +++++ - ist ständige Begleiter von Galenit und Chalkopyrit und wird meist durch Fe-Hydroxid verdrängt.

Pyrit +++++ - meist mit Galenit und Sphalerit verwachsen; weist untergeordnet auch Einschlüsse von Galenit auf.

Markasit ++ - sekundär aus Pyrrhotin sowie in Paragenese mit Pyrit.

Pentlandit + - als Einschlüsse in Ilmenit.

Silikate

Chlorit +++ - Bestandteile von Chloritschiefern, nicht selten mit Apatit und Ilmenit verwachsen.

Biotit ++ - meist in Paragenese mit Galenit und Sphalerit.

Serizit ++ - ist mit Albit, Galenit und Pyrit vergesellschaftet und wird auch durch Chlorit verdrängt.

Albit ++ - mit Quarz in Chloritschiefern

Anorthit ++ - technogen in unregelmäßig ausgebildeten Schlacken.

(Fe,Zn)-Silikat ++ - in Buntmetallschlacken

Melilithmischkristalle ++ - in Buntmetallschlacken

Glasphase +++ - Bestandteile von Schlacken und globularen Partikeln.

Sonstige

Eisenkarbonate	++++	- Siderit und Ankerit, nicht selten werden die Karbonatkörner durch (Fe,Mn)-Hydroxide verdrängt. Pyrit und Chlorit treten manchmal als Begleiter auf.
Cerussit	+++	- von Galenit.
Hydrozinkit	+++	- Verwitterungsprodukt von Sphalerit
Smithsonit	++	- wie Hydrozinkit.
Apatit	++	- in Grünschiefern

Typische technogene Partikel

Buntmetallschlacken	+++	- meist Pb-, und Zn-hältig, nicht selten unregelmäßig und porös ausgebildet (Typus Verbrennungsanlagen!).
Zundermaterialien	+++	- z.T. mit Entmischungen von metallischem Eisen.
Globulare Partikel	+++	- bestehend aus Magnetit, Hämatit und Glasphase. nicht selten auch hohlkugelig ausgebildet

Herkunft der Schwermetalle und Sonstige Elemente

Pb	Galenit, Cerussit, Glasphase, (Fe, Zn)-Hydroxid
Zn	Sphalerit, Hydrozinkit, Smithsonit, Cerussit, Galenit, Glasphase
Ag	Galenit
As	(Fe, Zn)-Hydroxid
Cd	(Fe, Zn)-Hydroxid, Galenit, Sphalerit, Cerussit, Hydrozinkit

Schwermetallgehalt der Mineralphasen

Galenit)	Cd (0.13-0.21), Zn (0.02-1.11), Ag (bis 0.03)
Sphalerit)	Cd (0.24-0.27), Fe (6.57-7.70)
Cerussit)	Cd (0.19-0.22), Zn (0.21-0.45)
(Fe, Zn)-Hydroxide)	Zn (1.64-2.16), Pb (0.05-0.12)
Hydrozinkit	Cd (0.24-0.26), Pb (1.19-1.42)

Charakteristische Merkmale

- Sehr viel Galenit, Sphalerit, Pyrrhotin und Pyrit
- Häufig Chalkopyrit und Markasit
- Häufig Sekundärminerale wie Cerussit, Hydrozinkit und Smithsonit
- Häufig technogene Partikel wie Zundermaterialien, globulare Flugstäube sowie Pb- und Zn-führende Schlacken (meist unregelmäßig und porös ausgebildet)
- Sehr viel Eisenkarbonate wie Siderit und Ankerit.
- Sehr viel Eisenhydroxide, meist Verwitterungsprodukte von Sulfiden und Fe-Karbonaten.
- Häufig Magnetit, Hämatit, Ilmenit, Rutil und Chlorit

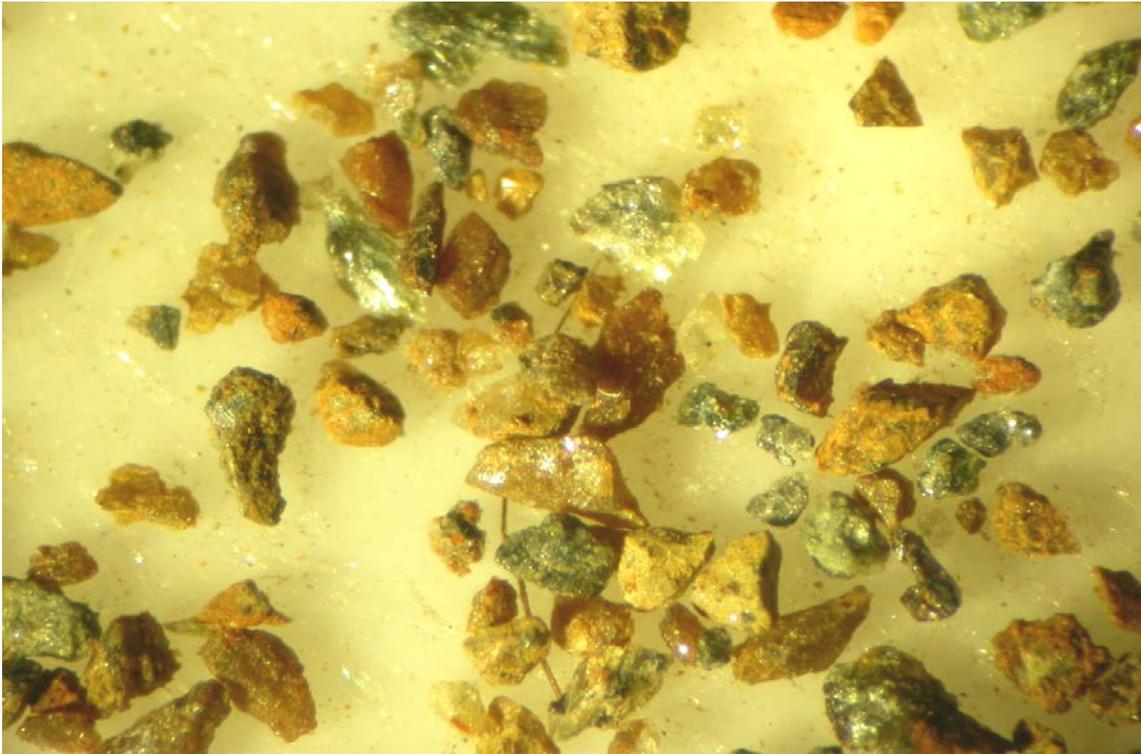


Abb.2-32: Schwermineralkonzentrat mit viel Sphaleritkörnern (hell bis rötlichbraun) sowie basischen Gesteinsfragmenten. Probe 011007-2, nichtmagnet. Fraktion; Aufbereitungshalde Haufenreith, Bildgröße: 4.2 x 3 mm

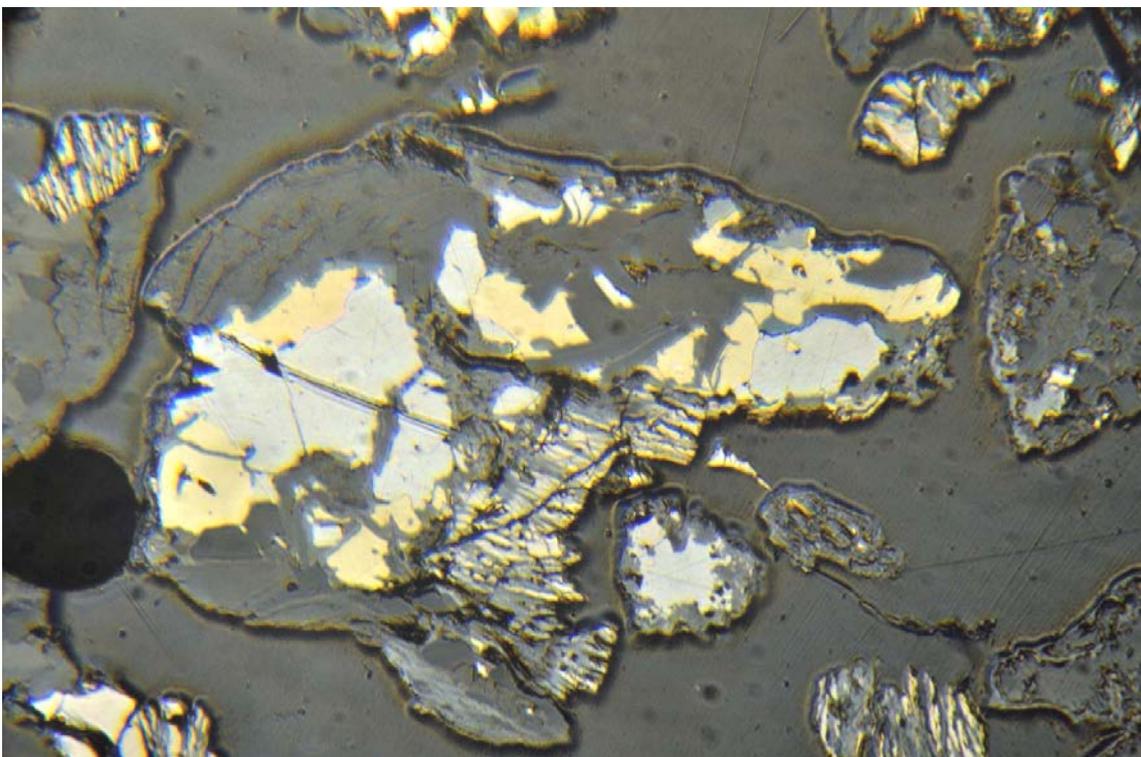


Abb.2-33: Paragenese Chalkopyrit (gelb), Galenit (hellgrau) und Pyrrhotin (beige); weitgehend durch Eisenhydroxid (grau) verdrängt. Galenit wird randlich durch Verwitterung in Cerussit (mittelgrau) umgewandelt; Probe 011007-1, magnet. Fraktion; Aufbereitungshalde Haufenreith, Bildgröße: 0.37 x 0.25 mm

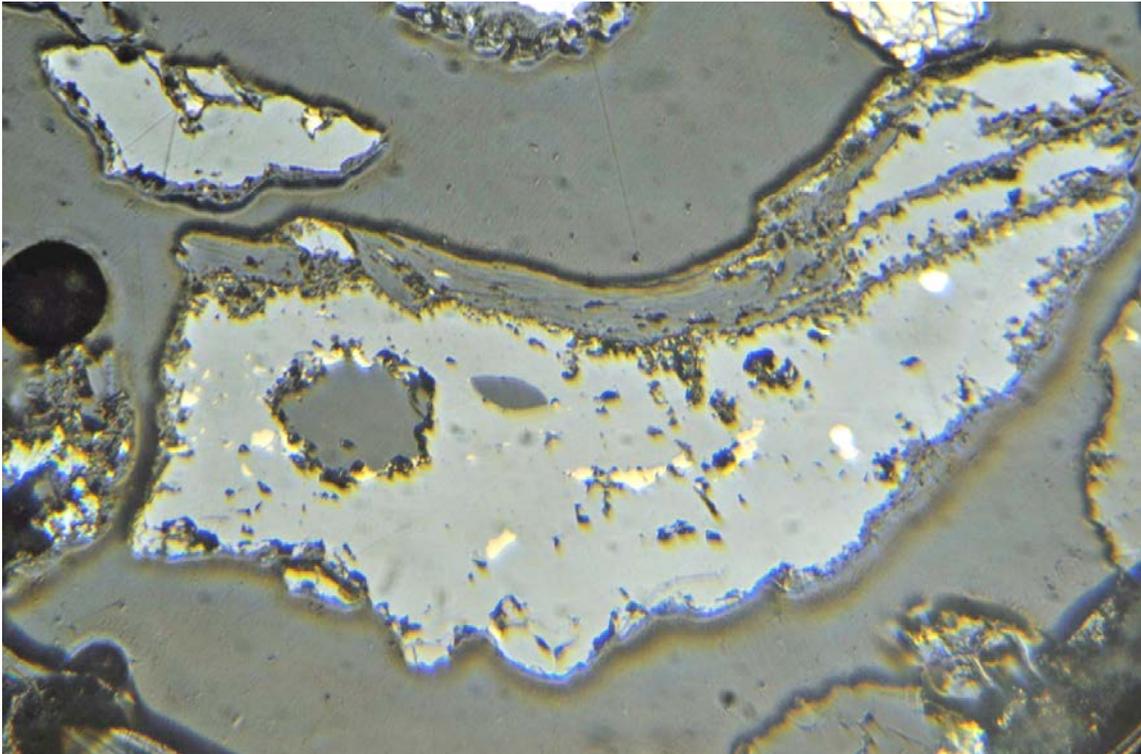


Abb.2-34: Sphalerit (hellgrau) mit Einschlüssen von Pyrrhotin (beige), verwachsen mit Biotit (grau, am Kornrand). Sphalerit selbst wird randlich und entlang von Spaltrissen durch (Fe, Zn)-Hydroxid verdrängt; Probe 011007-1, magnet. Fraktion; Aufbereitungshalde Haufenreith, Bildgröße: 0.37 x 0.25 mm

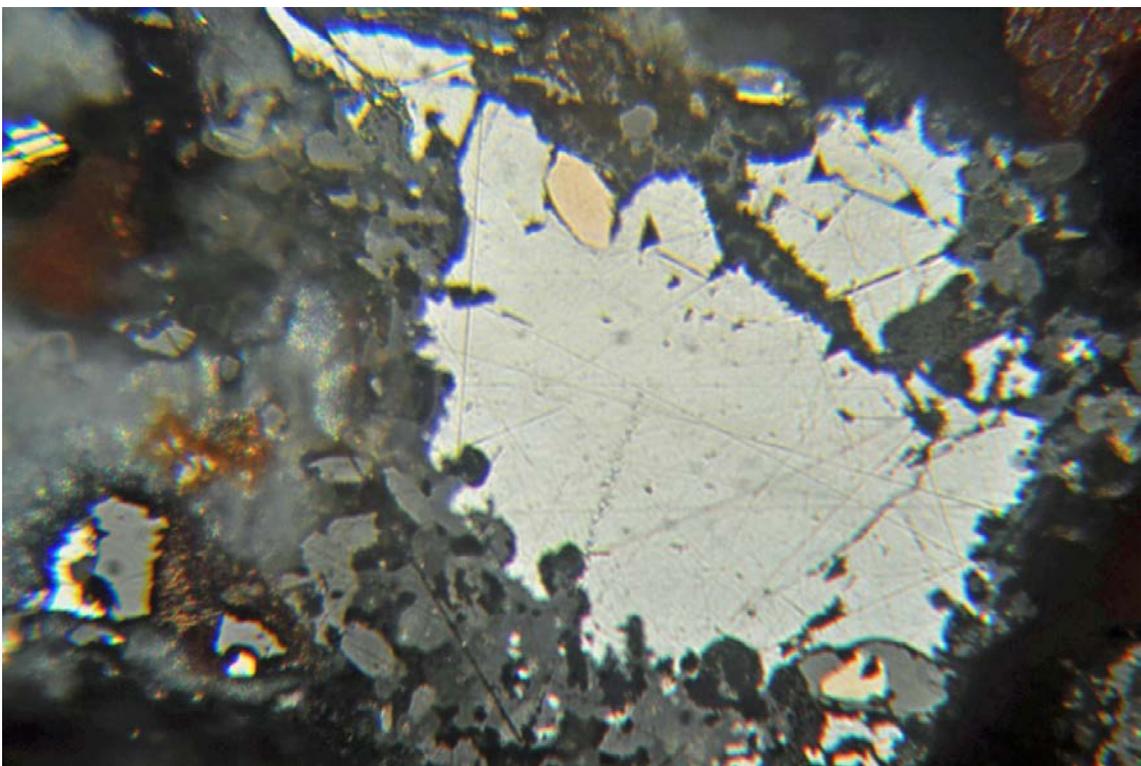


Abb.2-35: Galenit (grauweiß), verwachsen mit Sphalerit (hellgrau); wird randlich durch Cerussit (hellgrau-mittelgrau) verdrängt; Probe 011007-1, magnet. Fraktion; Aufbereitungshalde Haufenreith, Bildgröße: 0.37 x 0.25 mm

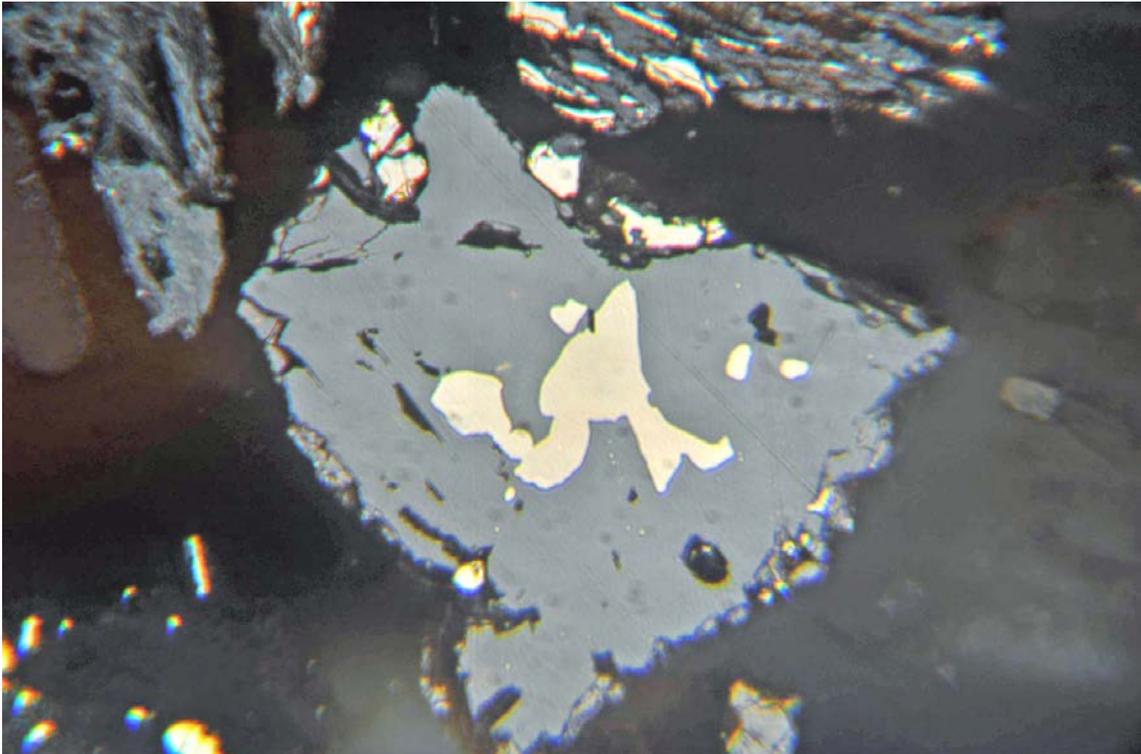


Abb.2-36: Sphalerit (mittelgrau) mit Einschlüssen von Pyrrhotin (beige); Probe 011007-1, magnet. Fraktion; Aufbereitungshalde Haufenreith, Bildgröße: 0.37 x 0.25 mm

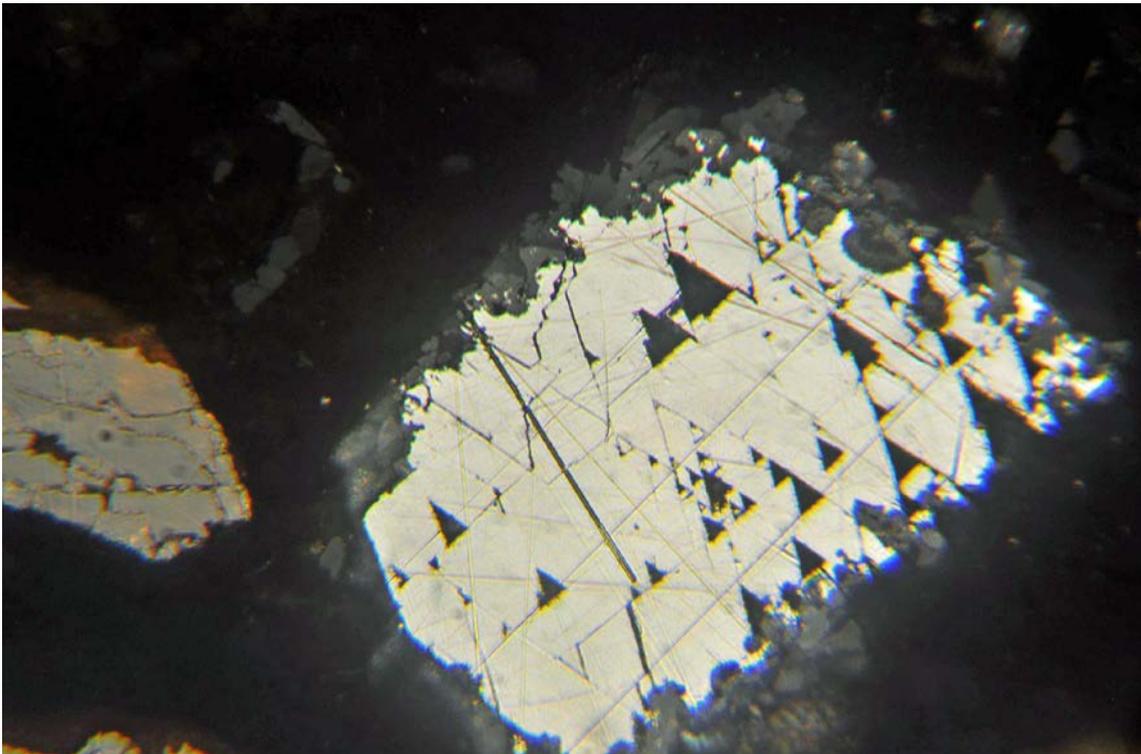


Abb.2-37: Galenit(weiß) mit typischen dreieckigen Spaltrissen (schwarz) mit randlicher Umwandlung in Cerussit (dunkelgrau). Links im Bild Sphaleritkorn; Probe 011007-2, nichtmagnet. Fraktion; Aufbereitungshalde Haufenreith, Bildgröße: 0.37 x 0.25 mm

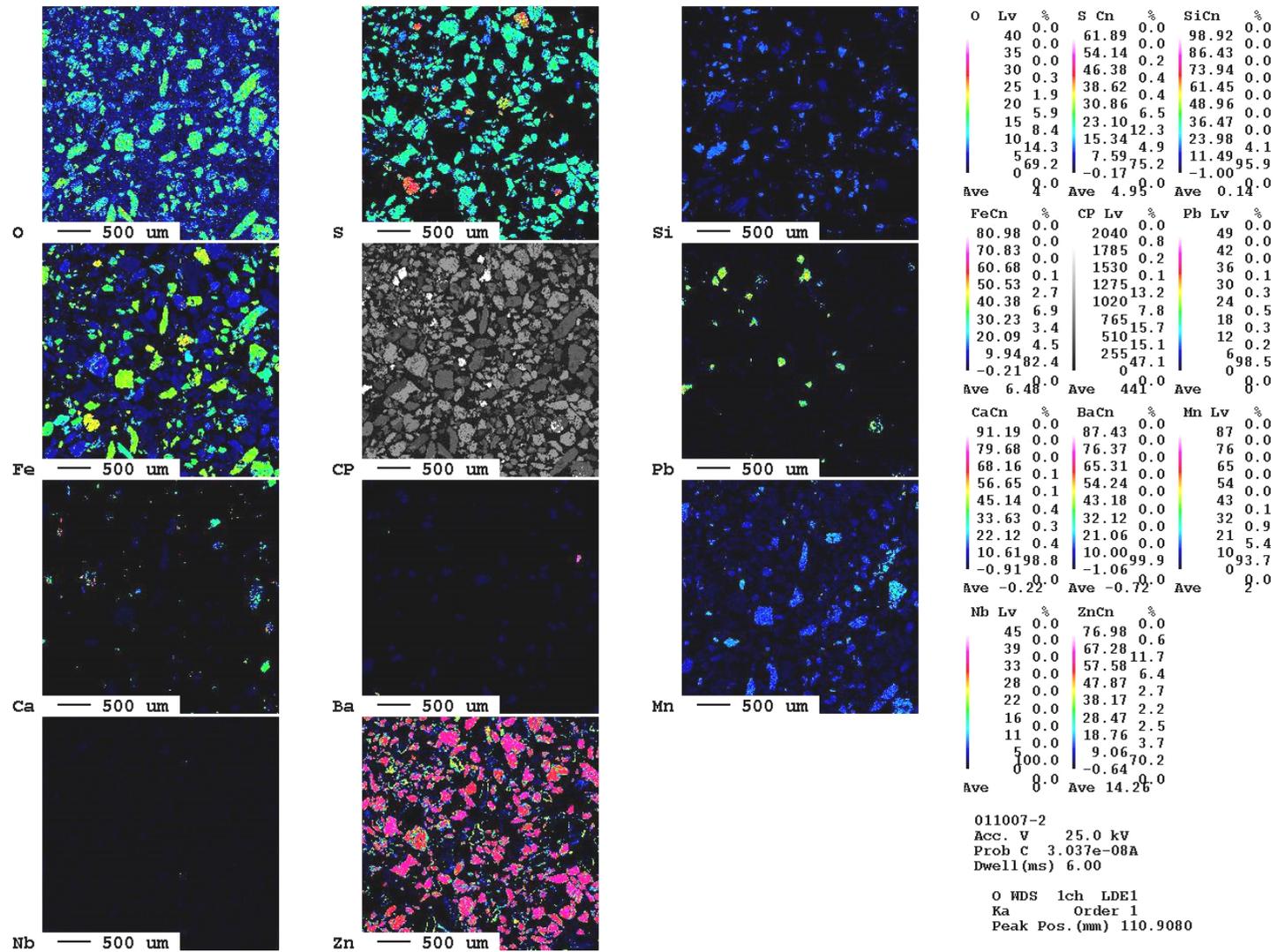


Abb.2-38: Elementverteilungsbilder von O, S, Si, Fe, Pb, Ca, Ba, Mn, Nb und Zn in Schwerminerkonzentrat. Zweite Reihe Bildmitte Abb. mittels BSE. Probe011007-2, nichtmagnetische Fraktion, Aufbereitungshalde Haufenreith

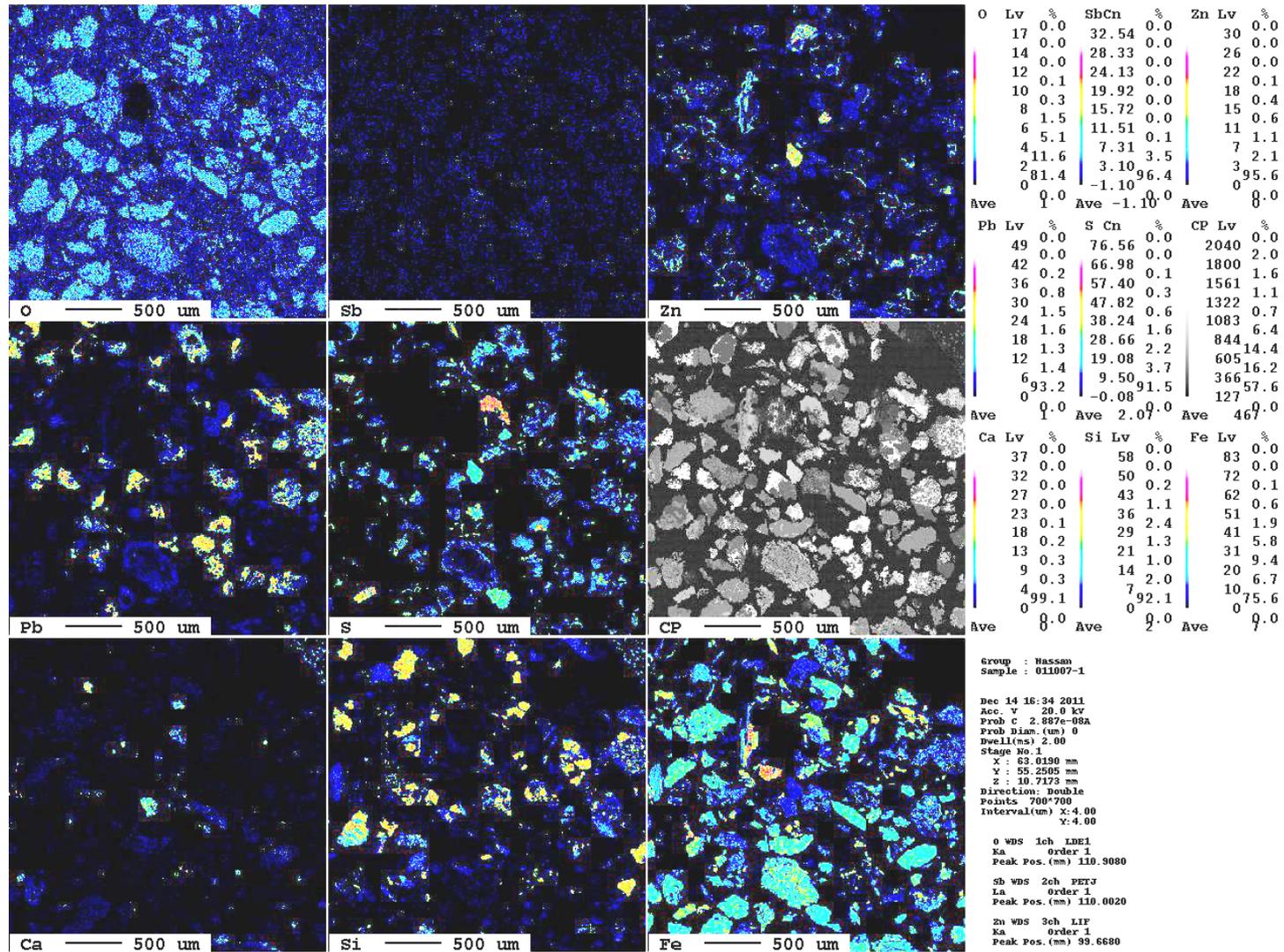


Abb.2-39: Elementverteilungsbilder von O, Sb, Zn, Pb, S, Ca, Si und Fe in Schwermineralkonzentrat. Rechts Mitte Abb. mittels BSE. Probe 011007-1, magnetische Fraktion, Aufbereitungshalde Haufenreith

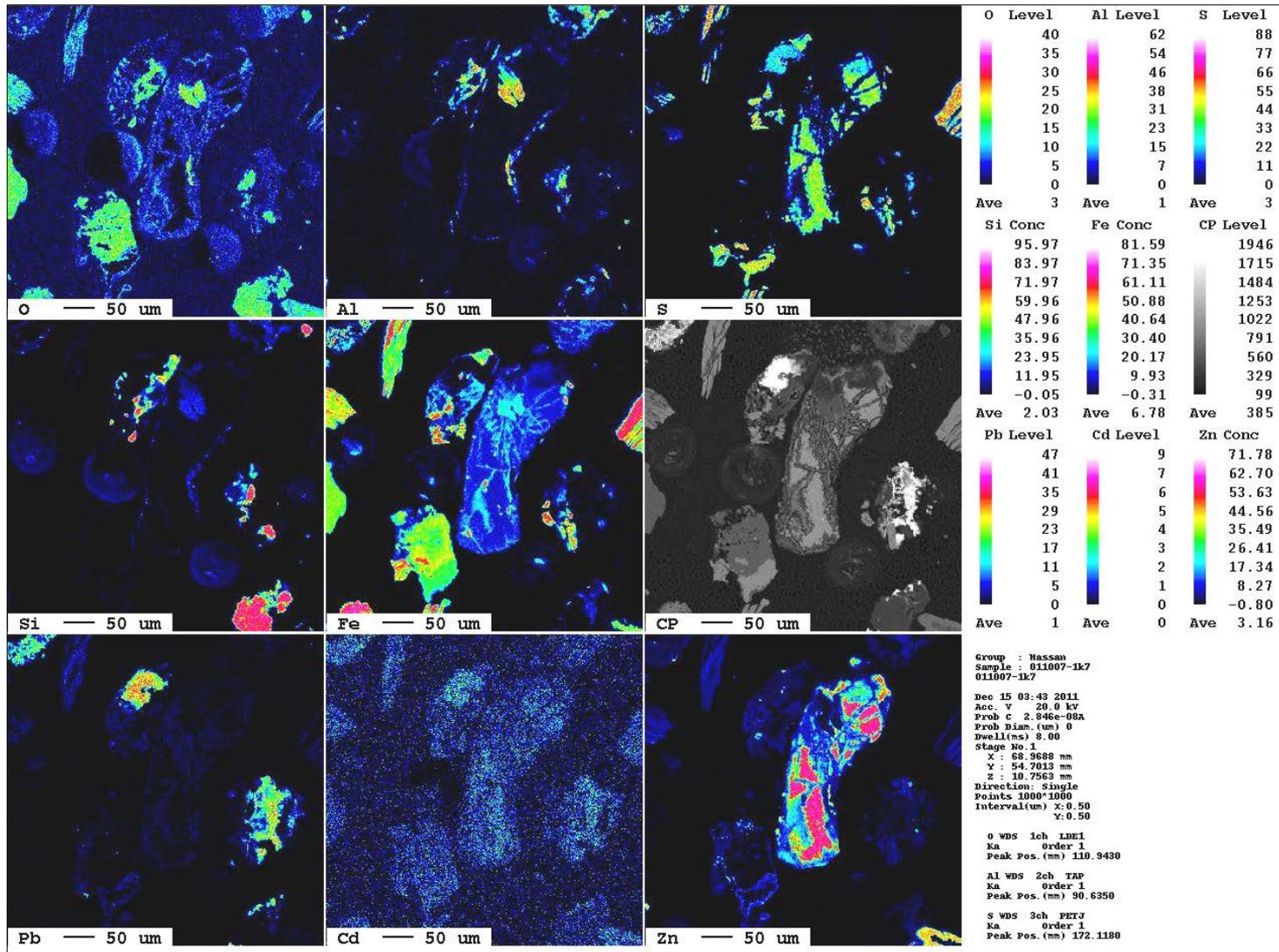


Abb.2-40: Elementverteilungsbilder von O, Al, S, Si, Fe, Pb, Cd und Zn in Sphalerit, Galenit, Pyrrhotin und sekundären Mineralen wie Cerussit und (Fe, Zn)- Hydroxide. Siehe BSE-Bild (rechts Mitte). Die Elementverteilungen der Blei- und Zinkminerale zeigen eine deutliche Cd-Führung (Siehe Analytik); Probe 011007-1, magnetische Fraktion, Aufbereitungshalde Haufenreith

