

# **DAS PGE-FÜHRENDE NI-CU-CO VORKOMMEN IM HAIDBACHGRABEN BEI MITTERSILL**

MASTERARBEIT



Vorgelegt von Sonja Schwabl, BSc

Angefertigt am Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre an der  
Montanuniversität Leoben

Betreuer: Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr. mont Frank Melcher

Zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur

eingereicht im

Juni 2016

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die aus fremden Veröffentlichungen wörtlich oder sinngemäß entnommenen Ausführungen wurden unter Angabe eines Literaturverzeichnisses kenntlich gemacht.

Leoben, 10.06.2016  
Ort, Datum

  
Unterschrift

## Zusammenfassung

Im Haidbachgraben südlich von Mittersill liegt ein kleiner Cu-Ni-Erzkörper in Chlorit-Epidot-Schiefern und Chlorit-Epidot-Albit-"Gneisen". Er kann der Habach Gruppe zugeordnet werden, die ein Teil des Subpenninischen Deckenstapels des Tauernfensters ist und einen Komplex metamorpher Prä-Permischer magmatischer und sedimentärer Gesteine umfasst. Zumindest seit dem 17. Jahrhundert, und zuletzt 1939, wurde das Vorkommen immer wieder untersucht. Die Reserven werden auf 10.000 t bis 15.000 t geschätzt, woraus je 150 t Ni und Cu gewonnen werden können. Erhöhte Konzentrationen von Platingruppen-Elementen (PGE) führten zu einer detaillierten mikroskopischen und geochemischen Untersuchung des Bergwerks.

Die Sulfidvererzung tritt sowohl bänder- bzw. linsenförmig etwa schieferungskonkordant als auch disseminiert auf. Die Haupterzminerale sind Pyrit, Pyrrhotin, Chalkopyrit und Pentlandit. Dabei liegen die Erzgehalte bei 0,3-2,0 Gew.% Ni, 0,2-5,4 Gew.% Cu und 200-3000 ppm Co.

Edelmetallkonzentrationen reichen bis zu 2,5 ppm Pd, 1 ppm Pt, 23 ppm Ag, 0,3 ppm Re und 0,4 ppm Au. Zusätzlich werden auch erhöhte Gehalte an As, Se und Te vermerkt. Erwähnenswert sind auch die erhöhten Cr-Werte, die an Chlorite und Relikte von Cr-Spinell gebunden sind.

Auflichtmikroskopie und Untersuchungen unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) zeigen das Auftreten zahlreicher Edelmetall-reicher Minerale, die meist in oder an den Korngrenzen von Sulfiden auftreten. Dabei handelt es sich um Ni-Fe-Co Sulfarsenide (Gersdorffit, Cobaltit, Arsenopyrit), Pd-Melonit  $(\text{Ni,Pd})(\text{Te,Bi})_2$  und Merenskyit  $\text{Pd}(\text{Te,Bi})_2$ , Sperryllit  $\text{PtAs}_2$ , Hexastibiopanickelit  $(\text{Pd,Ni})(\text{Sb,Te})$ , Sudburyit  $\text{Pd}(\text{Sb,Te})$ , Testibiopalladit  $\text{PdSb}(\text{Sb,Te})$ , Hessit  $\text{Ag}_2\text{Te}$ , Empressit  $\text{AgTe}$ , Kotulskit  $\text{PdTe}$ , Molybdänit, Sphalerit, Irarsit  $\text{IrAsS}$ , Rheniit  $\text{ReS}_2$ , ein unbekanntes Re-Pb-Sulfid, und Elektrum  $\text{AuAg}$ . Diese Minerale erreichen eine Korngröße von bis zu 80  $\mu\text{m}$  (Sulfarsenide) bzw. bis zu 30  $\mu\text{m}$  (Platingruppen Minerale in ihrer Längserstreckung). Das Auftreten von kleinen, idiomorphen Rheniiten in Fe-Cu Sulfiden ist ungewöhnlich. Diese Minerale sind auch nicht an das Auftreten von PGE-reichen Phasen gebunden.

Die Vererzung im Haidbachgraben wird als stratiforme Sulfidvererzung in basischen bis intermediären magmatischen Gesteinen, welche geochemisch Ähnlichkeiten mit MORB-Basalten aufweisen, angesehen. Das Nebengestein weist eine ähnliche chemische Zusammensetzung auf, wobei jedoch die  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  Gehalte deutlich höher sind.

Wird das Vorkommen mit Literaturdaten bekannter PGE-reicher Ni-Cu-Sulfid Lagerstätten verglichen, kann eine Ähnlichkeit des Mineralbestands etwa mit Noril'sk, Russland, oder dem Lausitzer Block, Deutschland, erkannt werden.

Die Gesamtheit der durchgeführten Untersuchungen führt zu der Theorie, dass es sich bei den Gesteinen um eine Abfolge einer magmatischen Fraktionierung handelt. Das Erz wurde durch spätere Alteration stark abgereichert an Alkalien. Eine Bildung in einem Ophiolithkomplex bzw. in einem Back-Arc Bereich erscheint wahrscheinlich. Die primären Texturen sind durch eine starke hydrothermale und metamorphe Überprägung sowie Deformation stark verändert.

Die Vererzung entstand aus einer basischen magmatischen Schmelze, die durch Schwefel-Sättigung und den Dichteunterschied von einer silikatischen Schmelze abgetrennt wurde. Belegt wird dies durch das Auftreten von Schmelztröpfchen, die sich über ein MSS/ISS-Zwischenstadium aus einer

Sulfidschmelze bilden. Aufgrund der hydrothermalen Alteration kam es zu Remobilisierung, wodurch auch einige der Einschlussminerale in Silikatzonen auftreten.

## Abstract

The Haidbach valley south of Mittersill is host of a small Cu-Ni orebody in chlorite-epidote schist and chlorite-epidote-albite gneiss. It is located in the Habach Group, which forms part of the Subpennine nappe system that is exposed in the Tauern Window. The group comprises a complex metamorphosed sequence of Pre-Permian magmatic and sedimentary rocks. Since the 17th century the deposit had been intermittently explored until 1939. The estimated reserves are 10.000 to 15.000 t including 150 t of each Ni and Cu. Anomalous concentrations of platinum-group elements (PGE) initiated a detailed microscopical and geochemical investigation of the underground mine.

Sulfide mineralization occurs as layers or lenses oriented parallel to the foliation and as disseminations. Major ore minerals comprise pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite and pentlandite. Massive ore carries between 0.3-2.0 wt.% Ni, 0.2-5.4 wt.% Cu and 200 – 3000 ppm Co. Precious metal concentrations reach up to 2.5 ppm Pd, 1 ppm Pt, 23 ppm Ag, 0.3 ppm Re and 0.4 ppm Au. In addition some of the minor metals reveal elevated concentrations, most notably As, Se and Te. Elevated concentrations of Cr are noteworthy, reflected by the chemistry of chlorite and the occasional presence of chromian spinel.

Reflected light and electron microscopy confirm the presence of a large number of rare-metal-bearing minerals that usually occur included in the major sulphides. They comprise Ni-Fe-Co sulfarsenides (gersdorffite, cobaltite, arsenopyrite), Pd-melonite (Ni,Pd)(Te,Bi)<sub>2</sub>, merenskyite Pd(Te,Bi)<sub>2</sub>, sperrylite PtAs<sub>2</sub>, hexastibiopanickelite (Pd,Ni)(Sb,Te), sudburyite Pd(Sb,Te), testibiopalladite PdSb(Sb,Te), hessite Ag<sub>2</sub>Te, empressite AgTe, kotulskite PdTe, molybdenite, sphalerite, irarsite IrAsS, rheniite ReS<sub>2</sub>, Re-Pb-sulfide, and electrum AuAg. These minerals reach up to 80 µm (Ni-Co-Fe sulfarsenides) or 30 µm (platinum-group minerals in their longest dimension) in grain size. The abundance of discrete euhedral small grains of Re sulfides included in Fe-Cu sulfides is highly unusual. These minerals are not associated with any of the PGE-bearing phases.

The Haidbach mineralization is interpreted as a stratiform sulphide accumulation in basic to intermediate magmatic rocks having geochemical affinities to MORB-type basalt. The host rock has a similar chemistry with an increased concentration of Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O.

Comparison with literature data shows that the mineralogy of the PGE-mineralization is quite similar to other well known Ni-Cu-sulphide deposits such as Noril'sk, Russia, or the Lusatian Block, Germany.

The analyses lead to the theory that the rocks in the project area represent a magmatic fractionation sequence. The ore is depleted in alkalis due to alteration processes. The genesis within an ophiolite complex or in a back-arc area is possible. Primary textures are masked by strong hydrothermal and metamorphic overprint, as well as polyphase deformation.

The mineralization has a magmatic origin in the sense that a sulfide melt was segregated from a silicate magma because of S-saturation and the density difference. This is proven by melt droplets, which form via a MSS/ISS intermediary state from a sulfide melt. Hydrothermal alteration leads to a wider distribution of minerals, which is why some occur within the silicate zones.

## **Danksagung**

Mein Dank gilt allen, die mich bei der Erstellung dieser Masterarbeit unterstützt haben. Allen voran bedanke ich mich bei meinem Betreuer Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.mont. Frank Melcher, es war ein lehrreicher Prozess für mich. Weiters danke ich allen am Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre, besonders Sabine Feuchter und Brigitte Mang, die mich in vielerlei Hinsicht unterstützt haben. Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Heinz Mali und Mag.rer.nat. Dr.rer.nat. Monika Feichter danke ich für die Hilfe beim Kartieren, das sonst um einiges länger gedauert hätte.

Auch der Schurfgemeinschaft Zinkwand, insbesondere Hans Grill, danke ich, für das interessante Thema sowie ebenfalls die Unterstützung beim Kartieren.

Auch bei Univ.-Prof. Ao.Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.mont. Thomas Meisel möchte ich mich für die Zeit und Erklärungen zur Geochemie bedanken.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium durch ihre finanzielle Unterstützung aber auch durch ihren Glauben an mich überhaupt ermöglicht haben, sowie meinem Bruder, der mir immer hilft, wenn ich etwas brauche.

## Inhalt

Eidesstattliche Erklärung .....	2
Zusammenfassung.....	3
Abstract .....	5
Danksagung .....	6
1. Geschichtlicher Hintergrund und Einleitung .....	10
1.1. Geschichtlicher Hintergrund .....	10
1.2. Geographische Lage .....	12
1.3 Einleitung.....	12
2. Geologischer Überblick .....	14
2.1 Das Tauernfenster .....	14
2.2 Habach Gruppe.....	15
2.2.1 Detailliertere Einteilung nach HÖCK (2000): .....	16
2.2.2 Mineralische Lagerstätten/Vorkommen .....	16
2.2.3 Geologische Karte der Geologischen Bundesanstalt.....	17
3. Methodik .....	19
3.1 Geologische Kartierung .....	19
3.2 Mikroskopie.....	19
3.2.1 Durchlichtmikroskopie .....	19
3.2.2 Auflichtmikroskopie.....	19
3.2.3 Rasterelektronenmikroskopie .....	19
3.3 Geochemie.....	19
3.3.1 RFA.....	20
3.3.2 ICP-MS .....	20
3.3.3 Weitere .....	20
3.4 Mikrosonde.....	20
4. Kartierung.....	22
4.1 "Hellgrüne" Lithologie .....	25
4.2 "Orange" Lithologie .....	25
4.3 "Violette" Lithologie .....	26
4.4 "Dunkelgrüne" Lithologie .....	27
4.5 Weitere Lithologien .....	27
5. Tektonik.....	28

5.1 Schieferung.....	28
5.2 Störungen .....	29
6. Mineralogie .....	30
6.1 Chlorit - Epidot - Schiefer (hellgrün).....	30
6.2 Chlorit - Epidot - Albitgneis (orange).....	32
6.3 Erzzonen (violett).....	34
6.3.1 Sulfide.....	37
6.3.2 Einschlüsse.....	39
6.3.3 Schmelztröpfchen.....	56
6.4 Amphibolschiefer .....	57
6.5 Nebengesteine außerhalb des Stollens .....	57
7. Geochemie .....	58
7.1 Korrelation.....	58
7.2 Auswertung .....	59
7.3 Geochemische Gesteinsklassifizierung.....	65
7.4 Geotektonisches Setting.....	67
8. Diskussion.....	71
8.1 Haidbachgraben .....	71
8.2 Vergleich mit nahegelegenen Lagerstätten .....	73
8.2.1 Vergleich mit der Cu-Lagerstätte "Hochfeld" .....	73
8.2.2 Vergleich mit der Cu-Lagerstätte "Brenntal" .....	73
8.3 Vergleich mit anderen PGE-Lagerstätten Österreichs.....	74
8.3.1 Kraubath und Hochgrössen .....	74
8.3.2 Wolfsbach, Niederösterreich.....	77
8.4 Ni-Cu-Sulfide Deposits.....	77
8.4.1 Noril'sk.....	77
8.4.2 Sudbury.....	78
8.4.3 Lausitzer Block.....	78
8.4.4 Ivrea-Verbano Komplex, Westalpen, Italien .....	79
8.4.5 South Raglan Trend .....	80
8.5 Mineralogie .....	80
8.6 Genese.....	81
Internetquellen.....	82
Literaturverzeichnis.....	83

Abbildungsverzeichnis.....	88
Tabellenverzeichnis.....	91
Anhang.....	92

# 1. Geschichtlicher Hintergrund und Einleitung

## 1.1. Geschichtlicher Hintergrund

Bergbau hat in Salzburg eine lange Tradition. Bereits nach der letzten Eiszeit wurden erste Abbaue betrieben, wobei diese nur der Herstellung von Gerätschaften dienten. In der späten Jungsteinzeit, etwa 3000 v. Chr., begann durch die Verwendung von Kupfer für Werkzeuge vermehrt die Suche nach und der Abbau von diesem Metall, anfangs in Form von Malachit.

Vor allem ab der Bronzezeit, 1800 - 1200 v. Chr., kam es zu einem Anstieg des Kupferbergbaus. Ab dieser Zeit wurde Kupfer aus Kupferkies gewonnen. Ein wichtiges Beispiel hierfür ist etwa der Bergbau Mitterberg bei Mühlbach am Hochkönig, welcher bereits 2000 - 800 v. Chr. abgebaut wurde. (Günther et al. 1993)

Durch die Entwicklung der Verhüttung von Eisen verlor Kupfer an Bedeutung und Eisenerzlagertstätten wurden vermehrt abgebaut ("Norisches Eisen").

Zu Zeiten der Besiedelung durch die Römer wurde ebenfalls Bergbau betrieben. Allerdings verlor dieser nach und nach an Bedeutung und wurde erst ab dem 13. Jh. wieder wichtiger. Hochzeit waren das 15. und 16. Jh., in welchen vor allem wieder Kupfer, sowie Silber und Gold abgebaut wurden. Aus dieser Zeit stammte der Kupferbergbau "Hochfeld" im Untersulzbachtal, sowie jener auf der Achselalm im Hollersbachtal und der im Brenntal bei Mühlbach im Pinzgau.

Ein aktuelles Beispiel des Bergbaues in Salzburg ist die Wolfram Bergbau und Hütten AG im Felbertal, welche Scheelit abbaut.

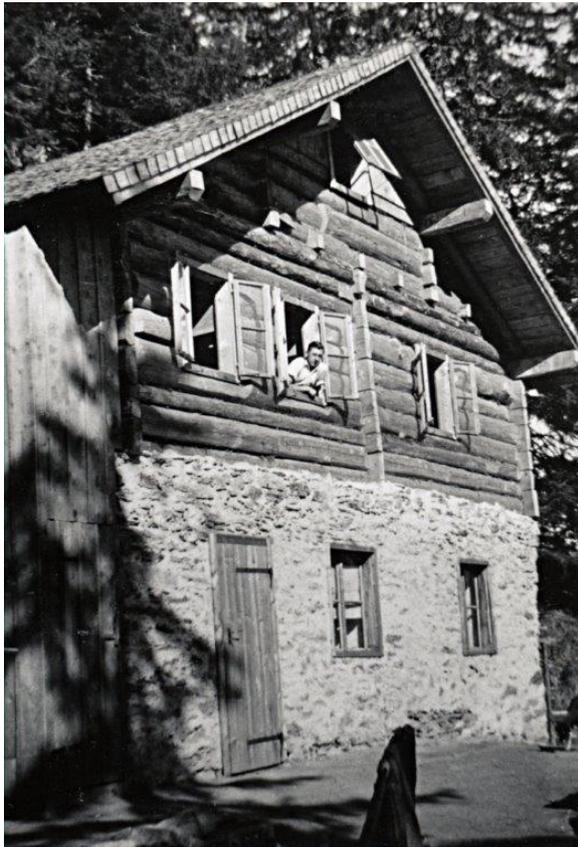
### Haidbachgraben

Der Stollen im Haidbachgraben wurde Unterlagen zufolge erstmals 1795 unter dem Namen "Schurfbau in der Harlacken" erwähnt. Dr. Josef Seifriedsberger (Seifriedsberger 2015) leitete allerdings anhand eines im Zuge der Kartierung vom 28.06.-30.06.2015 aufgefundenen handgeschlängelten Stollens im Bereich des Mundlochs eine ältere Bergbautätigkeit ab. Aufgrund der Form und der Herstellungstechnik schlussfolgerte er auf bereits im 17. Jahrhundert durchgeführte Arbeiten.

1911 wurden sowohl in den Humboldt-Werken in Köln Kalk als auch bei den Schlesischen Nickelwerken in Frankenstein/Schlesien Erzproben aus dem Haidbachgraben untersucht. In den Jahren 1914 und 1915 wurden von der Fa. Krupp - Grusonwerk Magdeburg weitere Aufbereitungsversuche durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigten bereits gute Gehalte, aufgrund der Wirtschaftslage und dem damaligen Stand der Technik dürfte ein Abbau jedoch nicht sinnvoll gewesen sein. Bis 1917 sollen bereits 300 m Stollen und Strecken aufgeföhren worden sein.

1938, also kurz vor dem Zweiten Weltkrieg, wurde intensiv auf Kupfer, Nickel und Kobalt prospektiert. In dieser Zeit wurden von der Fa. Krupp Unterkunftsgebäude errichtet. Von dem damaligen Knappenhaus (siehe Abbildung 1) sind heute nur noch die Grundmauern zu sehen. Es wurden weitere 245 m Stollen sowie 16.000 m Schürfgräben hergestellt. Trotz dem Auffinden einiger Erzlinsen wurde der Bergbau selbst in jener Zeit als "nicht wirtschaftlich" eingestuft.

Aus einem alten Bericht vom 1938 folgt, dass die Reserven damals auf 10.000 bis 15.000 t geschätzt wurden, woraus je 150 t Cu und Ni gewonnen werden könnten (Seifriedsberger 2015).



**Abbildung 1: Berghaus um 1930 (Günther 2007)**

Die 545 m Stollenlänge teilen sich auf drei Sohlen auf. Die oberste wird im Folgenden als Oberlauf, die mittlere als Mittellauf und die unterste als Unterlauf bezeichnet. Klarer wird diese Beschreibung mithilfe der Stollenkarte, welche auch zur Kartierung herangezogen wurde. Diese befindet sich als Anhang II am Ende der Arbeit.

Im Zuge der Recherchen zur Geschichte des Stollens tauchten neben Haidbachgraben auch Haibach oder Gaiswand als Bezeichnung in alten Berichten auf.

## 1.2. Geographische Lage

Der im Folgenden behandelte Stollen befindet sich südlich von Mittersill im Haidbachgraben, einem westlichen Seitengraben des Felbertals. Die genaue Lage ist der Abbildung 2 zu entnehmen. Die Koordinaten des Mundlochs betragen:

Projektion	Rechtswert	Hochwert
GK M31	-65643	235314
WGS84	12°27'56"	47°15'13"

Tabelle 1: Koordinaten des Mundlochs

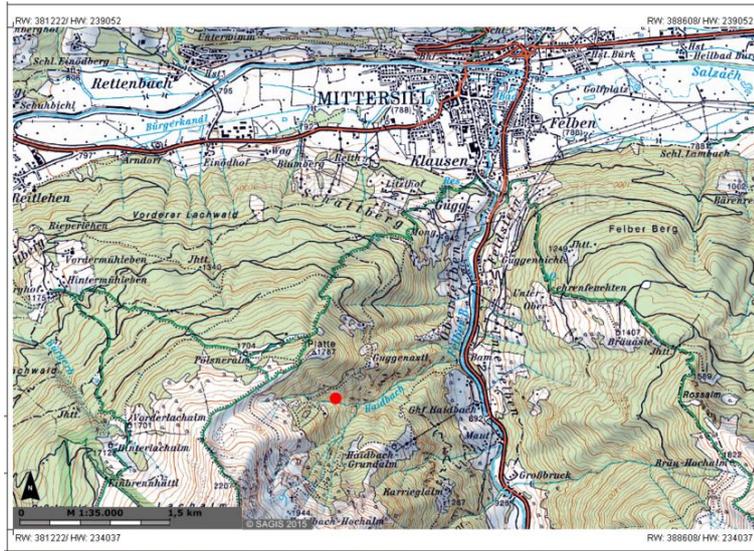


Abbildung 2: Lage des Stollens (Quelle: SAGIS, <http://www.salzburg.gv.at>, 01.02.2016, 16.00)

## 1.3 Einleitung

Spätestens seit dem Bericht des "Club of Rome" (Meadows et al. 1972) ist die Endlichkeit der Rohstoffe bekannt. Vor allem in Europa ist der Verbrauch bei weitem höher als die Gewinnung, wobei gleichzeitig speziell die Bedeutung sogenannter "Hightech-Metalle" immer mehr zunimmt.

Besonders Platingruppenelemente oder -metalle (PGEs oder PGMs), also Platin, Palladium, Iridium, Rhodium, Ruthenium und Osmium, werden für heutige Technik in verhältnismäßig großen Mengen benötigt.

	Weltproduktion (in kg)	davon in EU produziert (in kg)	davon in EU produziert (in %)
Pd	199 017	821	0,41
Pt	182 125	11 703	6,43
Rh	21 740	0	0

Tabelle 2: Vergleich der Weltproduktion zur Produktion in der EU für Pd, Pt und Rh (World-Mining-Data 2015)

Die Europäische Kommission hat PGEs gemeinsam mit etwa 30 anderen Rohstoffen als kritisch eingestuft. Diese Einschätzung beruht auf der geopolitischen Situation und makropolitischen Betrachtungen, bei welchen die tatsächliche physische Knappheit nur zu geringem Teil mit einfließt. Gemeint sind etwa die politische und auch ökonomische Stabilität des Landes, ein Mangel oder Engpass bei Ersatzstoffen, etc. (Kausch et al. 2014)

Im "Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs" (Weber 1997) sind bereits Platingehalte in den Gesteinen des Haidbachgrabens erwähnt (Werner PAAR, unpublizierte Daten).

Im Jahr 2013 hat die Schurfgemeinschaft Zinkwand die Schurfrechte für den Haidbachgraben erworben. Proben der vererzten Gesteine gingen an den Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre der Montanuniversität Leoben. Frank Melcher und Heinrich Mali haben in Schliffen helle Einschlüsse identifiziert, woraufhin Frank Melcher erste PGMs an der Mikrosonde analysierte. Das erste aufgefundene Mineral war ein Pd-Melonit ((Pd,Ni)Te<sub>2</sub>). Dies führte zur Vergabe einer Diplomarbeit zur Beantwortung der Frage nach der Konzentration an PGEs in dem Stollen.

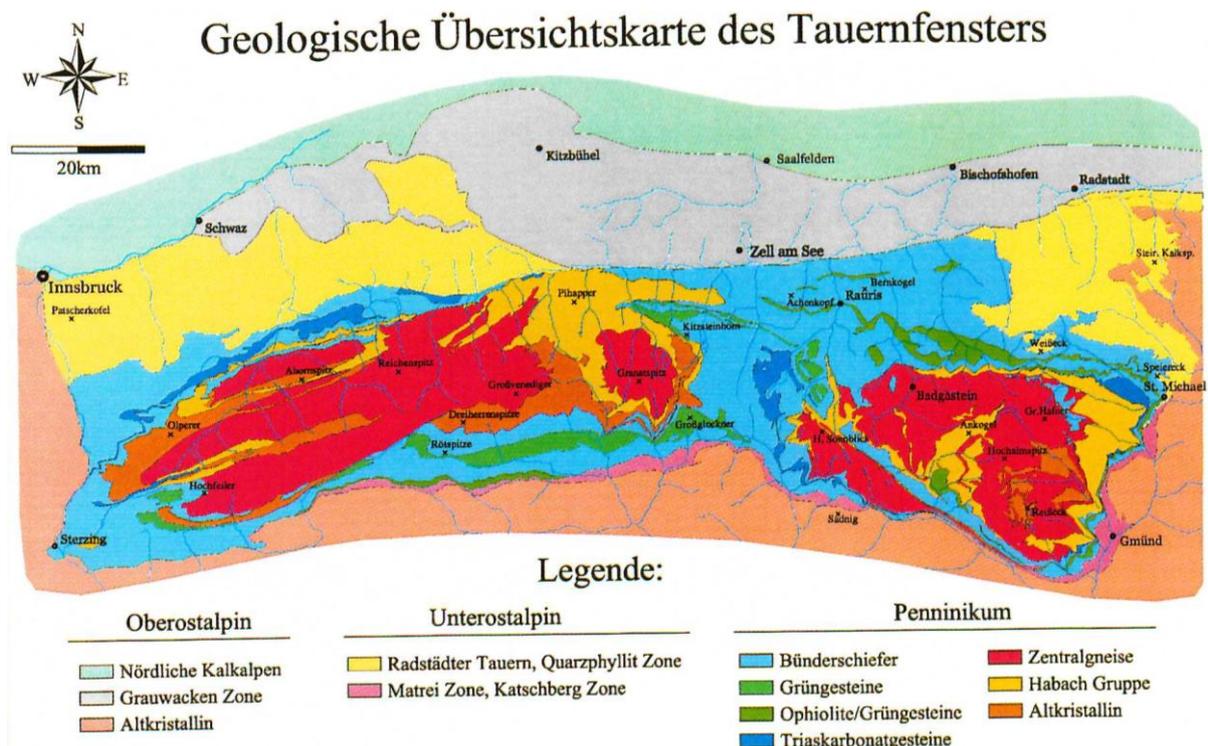
Aus rein wissenschaftlicher Sicht ist auch die Genese dieser Lagerstätte im Tauernfenster interessant. Daher ist auch diese - besonders die Frage, ob es sich um eine magmatische Bildung handelt - ein wesentlicher Punkt dieser Arbeit.

Nach einer ersten Probenahme im September 2014 wurde mit näheren Untersuchungen begonnen, welche mineralogische und geochemische Analysen sowie eine Kartierung im Juni 2015 umfassten. Die daraus erfolgenden Ergebnisse sind in dieser Arbeit zusammengefasst.

## 2. Geologischer Überblick

### 2.1 Das Tauernfenster

Das Tauernfenster ist ein etwa 160 km langes und 40 bis 50 km breites tektonisches Fenster. In diesem tauchen die während der alpidischen Gebirgsbildung versenkten Gesteine des Penninikums unter dem Ostalpinen Deckensystem auf. Abbildung 3 zeigt die verschiedenen Einheiten des Penninikums sowie deren Rahmen aus Unter- und Oberostalpin (Günther et al. 2000). Generell ist das Tauernfenster durch die regionale Duplex-Struktur des Venediger Decken Systems, welches sich im Miozän bildete, gekennzeichnet (Schmid et al. 2013).



**Abbildung 3: Geologische Übersichtskarte des Tauernfensters (Günther et al. 2000)**

Die Habach Gruppe, das Altkristallin und der Zentralgneis stammen aus dem Paläozoikum und bilden die ältesten Einheiten des Tauernfensters. Die permoskythische Wustkogel Formation sowie die mesozoischen Triaskarbonate und die Bündnerschiefer Gruppe bilden den jüngeren Teil.

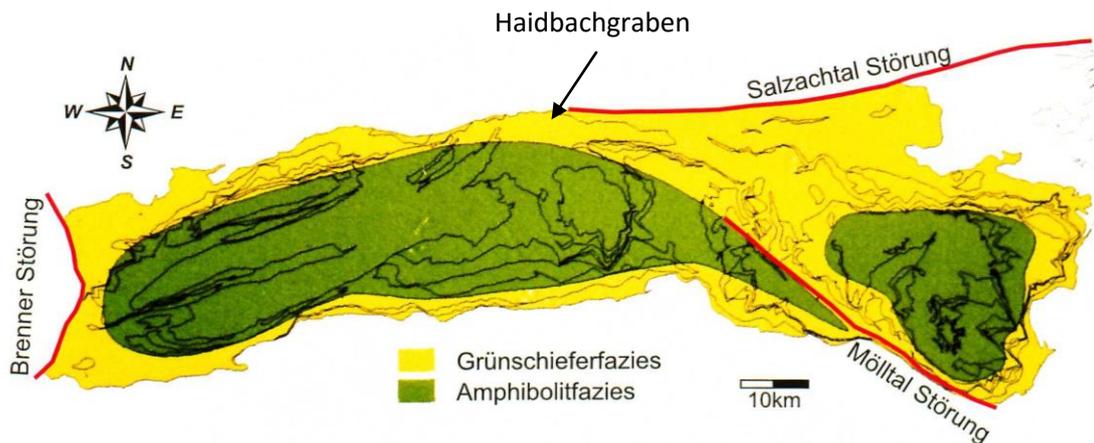
Von Oberhauser und Bauer (1980) wurde in folgende tektonische Einheiten gegliedert:

1. Zentralgneis und die Untere Schieferhülle: Voralpidisches Grundgebirge mit mesozoischer Bedeckung
2. die Obere Schieferhülle: paläozoische und mesozoische, nach Norden geschobene Serien
3. unterostalpinen Rahmen: Das Penninikum umgebende Gesteine

Schmid et al. (2013) überarbeiteten diese alten Einteilungen aufgrund zusammengetragener Literatur sowie Profilschnitten durch das Tauernfenster. Ihre Gliederung in Decken kann als die aktuellste angesehen werden. Dabei wird die Venediger Duplex-Struktur in die Ahorn und Göss Decke, die Tux-

Granatspitz und Hochalm Decke, die Zillertal-Riffel, Sonnblick-Romate und die Mureck-Storz Decke, sowie deren Post-Variszische Überlagerung eingeteilt.

Aufgrund der alpidischen Gebirgsbildung im Tertiär wurden die Gesteine des Tauernfensters grünschiefer- bzw. amphibolitfaziell metamorph überprägt. Eine Darstellung der Bereiche der beiden Fazies ist in Abbildung 4 zu sehen. (Günther et al. 2000)



**Abbildung 4: Grünschiefer- bzw. Amphibolitfaziell beeinflusster Bereich (Günther et al. 2000)**

Zusätzlich zu dieser alpidischen Metamorphose lässt sich auch eine frühere Beeinflussung nachweisen. Die variszische Gebirgsbildung vor etwa 300 bis 320 Millionen Jahren ist zum Beispiel noch in Form almandinreicher Granate und von Formrelikten von Andalusiten in Granatglimmerschiefern der Habachzunge zu erkennen (Günther et al. 2000). Auch präalpidische Eklogite, die Untersuchungen zufolge in einer Tiefe von rund 30 km (600°C und 12 kbar) entstanden sind, kommen im Tauernfenster vor (Zimmermann, R. & Franz, G. 1989).

## 2.2 Habach Gruppe

Die Habach Gruppe, welche in älteren Publikationen auch als "Habach-Serie" bezeichnet wird, zählt zu den ältesten Einheiten des Tauernfensters. Bei Schmid et al. (2013) wird die Habach Gruppe aufgrund unzureichender Altersdaten zu den Variszischen Einheiten gezählt, obwohl es auch Hinweise auf sowohl Vor-Variszische als auch Post-Variszische Alter für einige Formationen gibt. Sie wird in die Tux-Granatspitz Decke eingeordnet.

Da die bekannte Scheelitlagerstätte der Wolfram Bergbau und Hütten AG in diesen Gesteinen liegt, wurde insbesondere das Gebiet zwischen Felbertal und Hollersbachtal genauer untersucht. Obwohl einige Arbeiten dazu existieren, gibt es noch kein einheitliches Gliederungsmodell, das auch von allen Seiten akzeptiert wird. HÖCK verknüpft in "Schatzkammer Hohe Tauern" (Günther et al. 2000) die verschiedenen Theorien und Ergebnisse zu folgendem lithostratigraphischen Aufbau: die Ophiolithabfolge, die Inselbogenabfolge und die Eiserfolge. HÖLL (1975) teilte noch in Habachphyllitentwicklung, Eruptivgesteinsfolge und Basisschieferfolge ein.

### **2.2.1 Detailliertere Einteilung nach HÖCK (2000):**

Ophiolithabfolge:

Sowohl in den mittleren Tauern als auch im östlichen Tauernfenster werden ähnliche Lithologien angetroffen, die Ophiolithen zugeordnet werden können. Die Basis bilden dabei "meist isolierte Serpentinlinsen" und teilweise auch Hornblendite, welche aus Peridotiten und Klinopyroxeniten entstanden sind (Melcher et al. 2002). Den plutonischen Teil der Ophiolithe stellen metamorphe Gabbros in Form von Grobkornamphiboliten dar. Der vulkanische Anteil wird durch Prasinite und Amphibolite gebildet. Mancherorts sind auch noch "Sheeted Dyke-" und "Pillow" Strukturen erhalten (HÖCK, 1993).

Inselbogenabfolge:

Im Hangenden der Ophiolithe folgt die Inselbogenabfolge, bei welcher es sich um eine Abfolge metamorpher Vulkanite handelt. Diese Laven und Tuffe sind sowohl von basischer als auch intermediärer und saurer Zusammensetzung. Aufgrund der Metamorphose lassen sich die Gesteine nur teilweise durch reliktsch erhaltene Gefüge ihren Ausgangsgesteinen zuordnen. Heute finden sich vor allem Prasinite und Albitgneise, die beide auch Epidot-reich sein können. Die Abfolge deutet auf einen magmatischen Inselbogen hin. HÖCK (in Raumer und Neubauer 1993) zeigt mithilfe geochemischer Analysen, dass die Vulkanite wahrscheinlich im Zuge einer Subduktion auf kontinentaler Kruste abgelagert wurden. Dies entspricht etwa den kontinentalen Inselbogenvulkanen der Anden in Südamerika.

Über den Vulkaniten folgen die Habachphyllite in Form heller bis dunkler Phyllite bis Glimmerschiefer.

Eiserfolge:

Die darauf anschließende Eiserfolge wurde von PESTAL (1983) als Biotit-Porphroblastenschiefer und davor von HÖLL (1975) als Basisschieferfolge bezeichnet. Dabei handelt es sich um graphitführende Sandsteine sowie ehemalige Grauwacken mit basischen, intermediären und sauren Vulkaniten. Dies umfasst auch die Hornblende-Garbenschiefer und Hornblende-Garbengneise.

Des Weiteren werden noch Altkristalline Gesteine zur Habach-Gruppe gezählt.

### **2.2.2 Mineralische Lagerstätten/Vorkommen**

In der Habach-Gruppe existieren einige weitere mineralische Lagerstätten bzw. Vorkommen, deren Art der Anreicherungen von Weber (1997) übernommen wurde und deren Lage in Abbildung 5 dargestellt ist:

1. Scheelit-Lagerstätte Felbertal - W
2. Hochfeld (Untersulzbachtal) - Cu, Pyrit
3. Knappenwand (Untersulzbachtal) - W
4. Peitingalm (Gamskogel) - Pyrit Cu, Fahlerz, Au
5. Achselalm - Pb/Zn, Fluorit
6. Brenntal (Mühlbach i. Pinzgau) - Cu

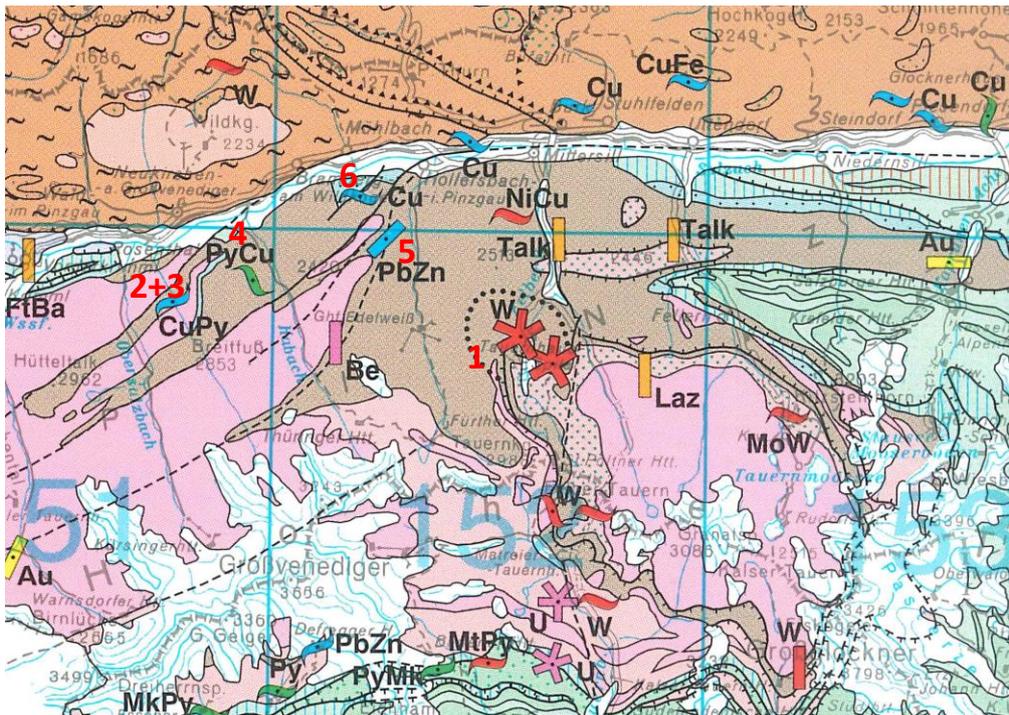


Abbildung 5: Karte der mineralischen Lagerstätten im Raum Mittersill, braun: Habach-Gruppe, Nummerierung entspricht o.a. Vorkommen (Weber 1997)

### 2.2.3 Geologische Karte der Geologischen Bundesanstalt

Das Projektgebiet liegt am Südrand des Kartenblatts 122 "Kitzbühel" der geologischen Bundesanstalt.

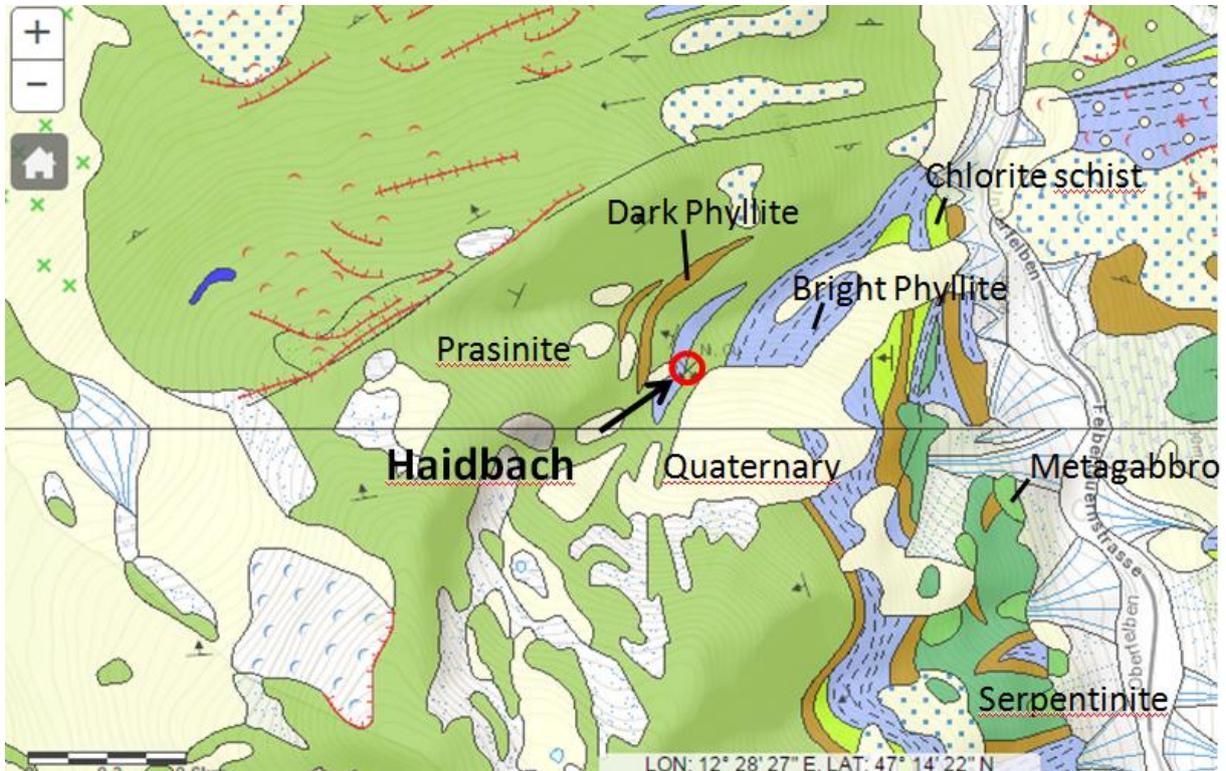


Abbildung 6: Ausschnitt der geologischen Karte Blatt 122 "Kitzbühel" und Blatt 152 "Matrei in Osttirol" (gisgba.geologie.ac.at, 25.08.2015, 09.30)

Der Stollen befindet sich laut dieser Karte in generell nach NW einfallendem Prasinit bzw. auch feinkörnigem Amphibolit, welcher stellenweise von hellem und dunklem Phyllit überlagert wird.

Das Liegende bilden weitere helle Phyllite sowie nach W einfallender Chloritschiefer, Metagabbros und Serpentine.

Als jüngste Schichtglieder treten quartärer Hangschutt, Moränen und Schwemmfächer auf.

Pestal und Braunstingl (2009) trennen die Habach Gruppe weiter in "Habach Gruppe", "Ultrabazit" und "Metabazit-Komplex" auf. Dabei fallen die Amphibolite und Prasinite in den neuen Metabazit-Komplex.

## **3. Methodik**

Um die Gesteine bestmöglich zu analysieren, wurden die nachfolgenden Methoden angewandt. Eine Liste aller Proben mit den jeweiligen Analysemethoden befindet sich im Anhang I.

### **3.1 Geologische Kartierung**

Im Zeitraum von 28.06.-30.06.2015 wurde eine geologische Kartierung des Stollens im Maßstab 1:100 durchgeführt, bei der auch Strukturdaten aufgenommen wurden. Als Grundlage wurde ein Stollenplan von 1938 der Fried. Krupp AG, Abt. Schlesische Nickelwerke, verwendet. Die Beschreibung der daraus erstellten Karte sowie der aufgefundenen Lithologien erfolgt in Kapitel 4, die gesamte erstellte geologische Karte befindet sich im Anhang II.

### **3.2 Mikroskopie**

Aus den im September 2014 und Juni 2015 genommenen Proben wurden polierte Dünnschliffe und Anschliffe hergestellt. Diese wurden mit unterschiedlichen Methoden der Mikroskopie untersucht.

#### ***3.2.1 Durchlichtmikroskopie***

Mit Hilfe der Durchlichtmikroskopie wurden vor allem die nicht vererzten Zonen, also die Nebengesteine, aber auch die Minerale, welche die Sulfide umgeben, untersucht. Dies erfolgte über ein Olympus BX40 Mikroskop mit angeschlossener Canon 450D Kamera. Dabei standen ein 2,5x, ein 5x, ein 10x, ein 20x, ein 50x und ein 100x Objektiv zur Verfügung. Welche Proben genau mit dieser Methode untersucht wurden, ist in der Probenliste in Anhang I ersichtlich.

#### ***3.2.2 Auflichtmikroskopie***

Der Schwerpunkt bei dieser Methode lag bei der Untersuchung der Proben aus den vererzten Zonen. Da auch die Nebengesteine meist zumindest Pyrit-imprägniert sind, wurden auch diese mit oben beschriebenem Mikroskop betrachtet. Auch die Anwendung dieser Methode ist in der Probenliste im Anhang vermerkt.

#### ***3.2.3 Rasterelektronenmikroskopie***

Proben, welche einen hohen Sulfid-Gehalt aufweisen, wurden unter dem REM betrachtet, um Einschlüsse von Platingruppenelementen u.ä. zu finden und mithilfe des EDX-Detektors zu analysieren. Dabei wurden die Anschliffe, die bereits im Mikroskop untersucht wurden, mit Kohlenstoff bedampft und dann mit dem Gerät am Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre der Montanuniversität Leoben untersucht. Es wurde ein Zeiss EVO MA 10 mit einem Bruker Nano XFlash Detector 430-M und Esprit Standalone Software verwendet. Während der Untersuchungen wurde ein Arbeitsabstand von etwa 10 mm und eine Spannung von bis zu 15 kV für Silikate und 20 kV für Sulfide eingehalten.

### **3.3 Geochemie**

Zur Durchführung geochemischer Untersuchungen wurden analysenfeine Pulver hergestellt. Die Gesteine wurden in einer Achat-Scheibenschwingmühle aufgemahlen, um eine Kontamination durch das Material der Mühle - etwa durch Kobalt, das in Wolframcarbidsmühlen enthalten ist - zu verhindern. Neben Analysen auf dem Lehrstuhl für Allgemeine und Analytische Chemie der Montanuniversität Leoben, wurden einige Proben auch zur Überprüfung zu Actlabs nach Kanada geschickt.

### **3.3.1 RFA**

Für die RFA wurden aus den Pulvern überwiegend Presslinge hergestellt, für vier Proben wurden aber auch Schmelzperlen (HAID-1 bis HAID-4) erzeugt. Für die Proben HAID-1 bis HAID-4 wurden die Analysen der Presslinge und der Schmelzperlen am Lehrstuhl für Allgemeine und Analytische Chemie durchgeführt. Dabei wurde das RFA-Spektrometer Axios der Firma PANalytical mit wellenlängendispersiven Verfahren mit dem Messprogramm "UniQuant" verwendet.

Bei der Herstellung der Schmelzperlen wurde zuerst der Glühverlust gemessen. Darauf wurde 1,0000 ( $\pm 0,0005$ ) g Probe mit 8,0000 ( $\pm 0,0005$ ) g Lithiumtetraborat vermischt. Diese Mischung wurde in einem Platintiegel zum Schmelzen gebracht und in Perlenform gegossen. Nachteil dieser Methode ist, dass leicht flüchtige Bestandteile, wie S, As und Hg, nicht mehr gemessen werden können bzw. wesentlich geringere Gehalte aufweisen als tatsächlich enthalten.

Die Mehrheit der Pulverpresslinge wurde allerdings am Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre mit dem mobilen RFA-Gerät Spectroscout der Firma Spectro mit energiedispersivem Verfahren gemessen. Dabei wurden Doppelmessungen durchgeführt und der Mittelwert gebildet.

Für die Pulverpresslinge wurden 4,000 ( $\pm 0,001$ ) g der Probe mit 1,000 ( $\pm 0,001$ ) g Wachs vermischt und mit einer hydraulischen Laborpresse zu scheibenförmigen Präparaten gepresst.

### **3.3.2 ICP-MS**

Für die ICP-MS wurden mit 0,1 g gegläuhter Probe  $\text{Na}_2\text{O}_2$ -Aufschlüsse am Lehrstuhl für Allgemeine und Analytische Chemie hergestellt. Dabei wurden für sechs Nebengesteins- und fünf Erzproben die REE-Konzentrationen und andere Spurenelemente mit dem Agilent 7500cx ICP-MS gemessen.

Für dieselben fünf Erzproben wurden eine spezielle Analyse auf PGEs mittels Agilent 8800 ICP-QQQ/MS durchgeführt.

Eine Tabelle mit den bei den Analysen genutzten Standards ist im digitalen Anhang enthalten.

### **3.3.3 Weitere**

Für die Proben, die zu Actlabs ([www.actlabs.com](http://www.actlabs.com)) geschickt wurden, wurden zwei Servicepakete angeordnet:

1. Zur Untersuchung der PGE-Gehalte wurde das Paket 1C-EXP 2 und
2. für die Gesamtgesteinschemie wurde Ultratrace 6 genutzt.

Dabei wurden die PGE-Analysen mittels Fire Assay + Mass Spectrometry durchgeführt.

Die Gesamtchemie wurde über Thermal Desorption + Mass Spectrometry ermittelt. Nur für die Analyse von Ti, S und P wurde Thermal Desorption mit ICP verwendet.

Eine Tabelle mit den bei den Analysen genutzten Standards ist im digitalen Anhang angefügt.

## **3.4 Mikrosonde**

Die beiden Anschliffe P9 und P25 wurden mit der Elektronenstrahlmikrosonde JEOL JXA 8200 am Institut für Rohstoffmineralogie der Montanuniversität Leoben untersucht. Dabei wurden Re- und Mo-Phasen untersucht. Da es bei EDX-Analysen zu Überlappung der Linien von Re ( $L\alpha$  8.651) und Zn

( $K\alpha$  8.630) bzw. S ( $K\alpha$  2.307) und Mo ( $L\alpha$  2.293) kommen kann, wurde das tatsächliche Auftreten von Re und Mo überprüft.

Die Analysen wurden mit 20 kV Beschleunigungsspannung und 10 nA Strahlstrom durchgeführt. Dabei wurde für S und Cu die  $K\alpha$ -Linie und für Re und Mo die  $L\alpha$ -Linie verwendet. In Tabelle 3 sind die genutzten Analysatorkristalle sowie die Standards aufgelistet.

Element	Analysatorkristall	Standard
Cu	LIFH	Chalkopyrit
Re	LIFH	Re 100 %
S	PETJ	Pyrit
Mo	PETH	Molybdänit

**Tabelle 3: Analysatorkristalle und Standards**

## 4. Kartierung

Die geologische Kartierung wurde von 28.06.-30.06.2015 von der Autorin gemeinsam mit den Mitgliedern der Schurfgemeinschaft Zinkwand sowie Frank Melcher, Heinrich Mali und Monika Feichter durchgeführt. Dabei wurden überwiegend drei Lithologien gefunden, welche im Folgenden unter dem Namen der in der Karte verwendeten Farben kurz beschrieben werden. Zusätzlich wurden die genommenen Proben und die Strukturdaten in der Karte eingezeichnet sowie in Listen zusammengefasst. Die komplette Karte und die Tabellen befinden sich im Anhang II. Eine genauere Beschreibung der Mineralogie, Gesteinschemie, etc. folgt in den nachstehenden Kapiteln.

Der Stollen kann über das höher gelegene Mundloch, welches in den Oberlauf führt, betreten werden. Dieser, in der Karte als Peterstollen bezeichnete, Gang beginnt mit einer vererzten Zone auf der rechten Ulme. Bis zum ersten Wegkreuz sowie westlich davon treten immer wieder Erzbänder bzw. -linsen auf. Wenige Meter in den Stollen hinein ist rechts der handgeschlängelte Stollen erkennbar, welcher leicht nach unten geneigt in Richtung Nordost verläuft. Er wurde mit stark vererztem Material aufgefüllt. Dies geschah wahrscheinlich im Zuge der Bergbautätigkeit Anfang des 20. Jahrhunderts, als auf die Errichtung einer Seilbahn bzw. Transportanlage gewartet wurde (Seifriedsberger 2015).

Generell ist der Oberlauf relativ eben ausgebildet. Die Gänge sind in allen drei Ebenen immer etwa 1,5 m bis 2 m breit und 1,8 m hoch. Sowohl Breite als auch Höhe können variieren. Es gibt vereinzelt Stellen, wie den Abgang vom Mittellauf in den Unterlauf, an denen die Höhe fast 3 m beträgt.

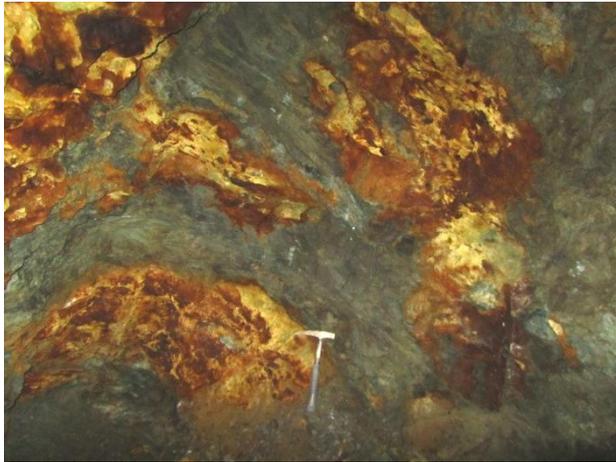
Westlich des ersten Wegkreuzes im Oberlauf wird ein "Erzlager" angetroffen. Dabei handelt es sich um eine etwa 4 m bis 5 m lange und breite Kammer, welche mit teils stark vererztem Material gefüllt wurde. Im W endet diese Sohle bereits nach wenigen Metern, da kein Erz mehr angetroffen wurde. Nach Osten und nach Norden wurde der Stollen noch weiter vorgetrieben, aber da auch dort kein Erz mehr angetroffen wurde, enden auch diese nach etwa 40 m.

Östlich des ersten Wegkreuzes verläuft etwa nach 5 m ein Rollloch, welches in den Unterlauf reicht. Darüber können jedoch nur die beiden unteren Mundlöcher erreicht werden, da der Zugang zur untersten Sohle verbrochen ist. Etwa 10 m weiter nach Osten, gegenüber eines kurzen nach Norden führenden Gangs, besteht ein Aufbruch, der einige Meter nach oben führt. Da er unzugänglich ist, konnte nicht überprüft werden, ob er weiter als die ersichtlichen Meter verläuft.

Nördlich des ersten Wegkreuzes im Oberlauf befindet sich auf der linken Seite ein Abgang in den Mittellauf. Zu Beginn ist eine hohe Stufe. Nach etwa 10 m wird ein Rollloch angetroffen, das in die unterste Sohle führt. Zwischen diesem und dem nächsten Wegkreuz wird wieder eine Erzzone verzeichnet, die hauptsächlich in der Firste und im oberen Teil der Ulmen zu erkennen ist. Auch in einem kurzen Gang nach Norden, der sich dann nach Nordwesten dreht, verläuft ein Erzband in der Firste. In dem nach Süden bzw. Südwesten verlaufenden Gang wird kaum Erz angetroffen. Die Nebengesteine weisen aber Oxidationspuren (braune Flecken) auf. Nach einer Trockenmauer an der rechten Ulme verläuft der Stollen etwas höher (bis zu 3 m) steil nach Südwesten in den Unterlauf.

Im Unterlauf wurden keine Erzzone mehr angetroffen. Beim ersten Wegkreuz, das in dieser Sohle erreicht wird, kann ein Wasserzutritt verzeichnet werden. Weiter nach Osten, wo das Rollloch aus dem Mittellauf herunter reicht, ist durch hinunter geschüttetes Material der Gang schwer passierbar,

da dieser Schutthaufen überquert werden muss. Östlich davon ist die Verbindung zu den beiden Mundlöchern dieser Sohle - wie bereits oben erwähnt - eingestürzt. Dies ist der einzige Bereich des Stollens, der bis zu 30 cm unter Wasser steht. Ein weiterer Gang, in welchem kein Erz angetroffen wird, verläuft etwa 21 m nach Norden bzw. leicht nach Nordwesten. In diesem wurde nach etwa 9 m auf der linken Ulme ein feiner Turmalingang aufgefunden. An der nördlichen Ortsbrust wird der Stollen von Amphibolit aufgebaut, der durch einen Quarzgang deutlich von der vorhergehenden Lithologie abgetrennt ist.



Pyritvererzung des Nebengesteins, Mittellauf



Quarz-Gang neben Pyritvererzung, Oberlauf



Sekundärmineralisation in Grubenwässern, Oberlauf



Erythrinausblühung, Unterlauf



Turmalingang, Unterlauf



Rollloch Oberlauf zu Unterlauf

Abbildung 7: Untertage-Impressionen

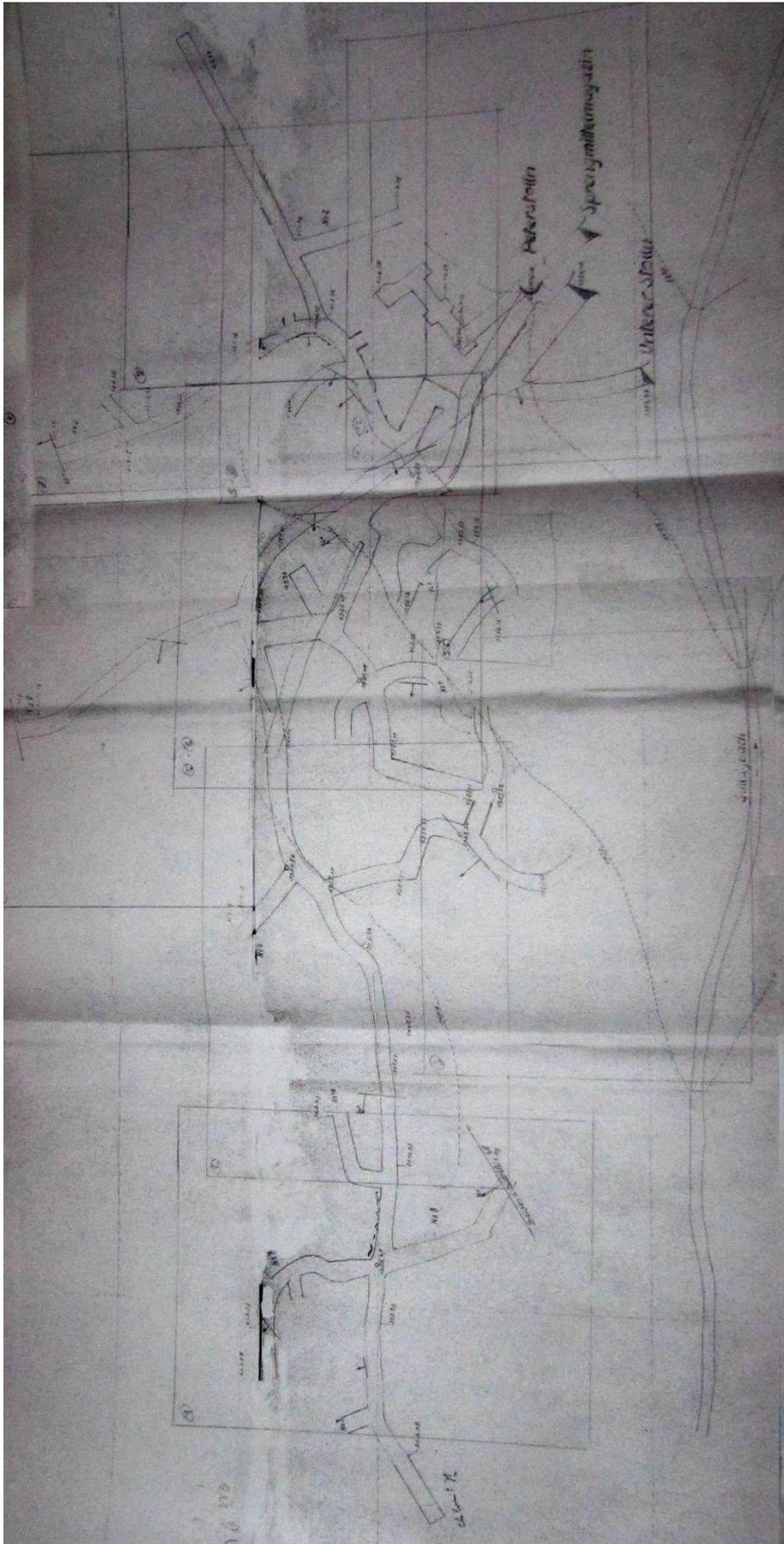


Abbildung 8: Grubenplan von 1938 der Fried. Krupp AG, Abt. Schlesische Nickelwerke

#### 4.1 "Hellgrüne" Lithologie

Diese Lithologie tritt am häufigsten auf allen drei Sohlen auf. Es handelt sich um ein teils feinschiefriges, grünes Gestein. Vor allem entlang der Schieferflächen bricht es sehr leicht. Entlang dieser Flächen tritt im gesamten Stollenbereich auch immer wieder Quarz auf. Über den ganzen Stollenbereich sind verschieden große - sowohl mm, als auch cm bis m - Falten zu erkennen.



Abbildung 9: Grünschiefer, teilweise (stark) Pyrit-imprägniert; links: Probe P7, rechts: Probe P1

Wie in Abbildung 9 ersichtlich, ist das Gestein meist feinkörnig und weist durch den feinblättrigen Chlorit einen seidenartigen Glanz auf. Weiße bis gräuliche Minerale lassen sich aufgrund ihrer Feinkörnigkeit makroskopisch nicht genau bestimmen und können nur als Quarz/Feldspat angesprochen werden.

Stellenweise treten Sulfidanreicherungen auf, bei denen es sich größtenteils um Pyrit handelt (rechts in Abbildung 9). Diese Anreicherungen sind teils ungleichförmige "Cluster", teils disseminiert.

Beide Proben der Abbildung stammen aus der tiefsten Sohle, eine aus dem westlichen (P1) und eine aus dem östlichen Teil (P7).

Das Gestein wurde im Gelände vorläufig als Grünschiefer bezeichnet.

#### 4.2 "Orange" Lithologie

Das Gestein, welches unter dieser Farbe zusammengefasst wurde, tritt in allen drei Sohlen auf und scheint sich Untertage deutlich von den Grünschiefern abzuheben. Es ist teils wesentlich heller und wirkt gneisiger (Abbildung 10 rechts). Außerdem erscheint es nicht (so deutlich) geschiefert und generell massiger als der Grünschiefer. Des Weiteren sind stellenweise kleine (einige mm bis wenige cm) Falten zu erkennen.



**Abbildung 10: "grüne" und "weiße" Zonen (links, HB-4), eher "gneisiges" Gefüge (rechts, P23)**

Die Farbgebung des Gesteins ist unterschiedlich: teils (rein) weiß und teilweise grünlich (Abbildung 10). Es wirkt gebändert. Makroskopisch sind dunkelgrüner, feinblättriger Chlorit und heller grüner Epidot sowie Quarz zu erkennen. Auch in diesem Gestein treten feinkörnige weiße bis gräuliche Minerale auf, die makroskopisch nicht näher bestimmt werden können und als Quarz/Feldspat angesprochen werden. Die Klufflächen weisen einen rötlich-braunen Verwitterungsbelag auf.

Sowohl in den weißlichen als auch in den grünen Zonen treten bis mm-große Pyrite auf.

Die Probe HB-4 stammt vom nordöstlichen Teil der höchsten Sohle, Probe P23 von der Firste beim zentralen Wegkreuz im Mittellauf (siehe Karte im Anhang II).

Aufgrund der ebenfalls grünen Farbe, wurde es als "massiger Grünschiefer" aufgenommen. Der Unterschied zwischen der "hellgrünen" und der "orangenen" Lithologie, welcher Untertage sehr deutlich erschien, ist in den Handstücken Obertage weniger deutlich zu erkennen.

#### **4.3 "Violette" Lithologie**

Mit dieser Farbe wurden die vererzten Bereiche eingezeichnet. Diese treten nur in der obersten und der mittleren Sohle unabhängig von der Art der beiden zuvor genannten Nebengesteine auf. Das Gestein weist einen deutlich sichtbaren Sulfidanteil auf. Dabei handelt es sich vor allem um Pyrit, Chalkopyrit, Pyrrhotin und Pentlandit. Es ist ein massiges, feinkörniges, grünes Gestein, das sich makroskopisch nicht näher bestimmen lässt.

Stellenweise treten Quarzgänge und Karbonatadern auf, die sowohl kleinräumig (mm bis cm) vorkommen als auch große Bereiche (bis zu einige m) betreffen können.

Makroskopisch scheinen die Sulfide meist ungleichförmige "Cluster" zu bilden. Am häufigsten kommt Pyrit vor, in unterschiedlichen Mengen kann sehr oft auch Chalkopyrit und Pyrrhotin/Pentlandit erkannt werden. Diese Verteilung ist auch in Abbildung 11 gut zu erkennen. Die Probe HB-3 stammt aus dem Oberlauf, die Probe P12 von der stark vererzten Zone beim zentralen Wegkreuz in der mittleren Sohle.



Abbildung 11: Probe HB-3 (links) und Probe P12

Das Gestein wurde als Erz bezeichnet.

#### 4.4 "Dunkelgrüne" Lithologie

Diese Lithologie tritt nur in der untersten Sohle im nördlichen Teil auf. Aus diesem Abschnitt stammt auch die Probe P8, welche in Abbildung 12 gezeigt ist. Das Gestein ist dunkler als der Grünschiefer und ebenfalls sehr feinkörnig. Es ist von vielen weißen Äderchen durchzogen, bei welchen es sich wahrscheinlich um Quarz handelt. Teilweise sind diese aber auch hellgrün. In diesem Fall könnte es sich um Epidot handeln.

Generell ist das Gestein eher massig bis sehr schwach geschiefert.



Abbildung 12: Probe P8

Aufgrund der dunkleren grünen Minerale und einschlägiger Literatur über das Projektgebiet (geologische Karte der GBA 1:50 000 Blatt 122 Kitzbühel Lithologie Nr. 131 "Prasinit, feinkörniger Amphibolit", Wien 2003) wurde dieses Gestein als Amphibolit bezeichnet.

#### 4.5 Weitere Lithologien

Des Weiteren können noch Karbonatadern (blau), Quarzgänge (gelb) und Störungen bzw. Störflächen (rot) verzeichnet werden. Außerdem wurde etwa mittig im Unterlauf nahe einer größeren Störung ein Quell- bzw. Wasseraustritt festgestellt.

Im Unterlauf wurde in dem nach Norden führenden Gang auch eine feine Turmalinader angetroffen.

## 5. Tektonik

Aufgrund der Lage im Tauernfenster hat die gesamte Umgebung des Projektgebiets auch eine mehrphasige tektonische Überprägung durchlaufen (Gebirgsbildung, Deckenüberschiebung etc.). Dadurch sind im Stollen einige Strukturen erkennbar, welche vermerkt und in der Karte eingezeichnet wurden. Die geologische Karte sowie die Strukturdaten sind im Anhang IV enthalten. Um die Strukturdaten graphisch darzustellen wurde das frei verfügbare Programm "Stereonet" von Richard W. Allmendinger, Version 9.3.0, und tectonicsfp verwendet.

Bei der Kartierung wurden Clar-Werte - vor allem an Schieferungsflächen im Grünschiefer - aufgenommen. In stärker geschieferten Bereichen der massigen Lithologie wurden ebenfalls einige Werte aufgenommen. Des Weiteren konnten ein paar Störungen bzw. Scherflächen eingemessen werden. Alle Daten sind in Tabellen zusammengefasst im Anhang ersichtlich.

### 5.1 Schieferung

Wie oben erwähnt wurden die meisten dieser Werte im Grünschiefer gemessen. In Abbildung 13 sind die Messwerte der Nebengesteine dargestellt. Im gesamten Stollen fallen die Schieferungsflächen durch die tektonische Beanspruchung immer wieder in eine andere Richtung ein. Generell ist aber zu erkennen, dass es sich um eine große Faltenstruktur handelt, mit zwei deutlichen Faltenschenkeln. Diese hat einen Öffnungswinkel von etwa  $50^\circ$  und die Faltenachse verläuft flach etwa nach Westen (260/20). Außerdem ist zu sehen, dass zwischen der "orangenen" und der "hellgrünen" Lithologie auch im Sinne der Schieferung keine deutlichen Unterschiede zu erkennen sind.

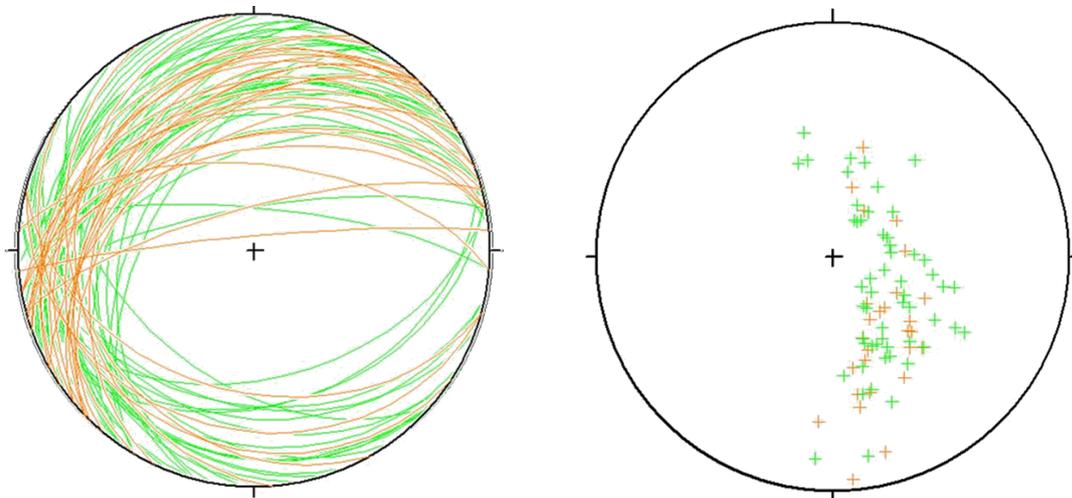


Abbildung 13: Großkreise und Polpunkte der Schieferung

Abbildung 14 zeigt, dass auch kein deutlicher Unterschied der Schieferung zwischen den unterschiedlichen Sohlen besteht.

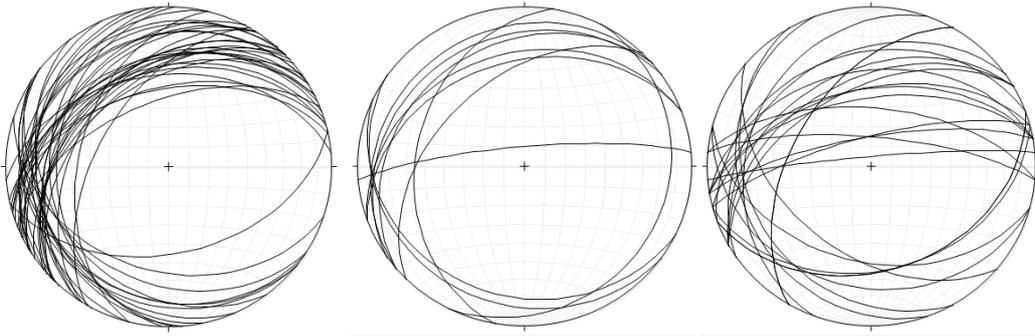


Abbildung 14: Schieferung; Links: Ober-, Mitte: Mittel- und rechts: Unterlauf

## 5.2 Störungen

Es konnten zwar ein paar Störungen bzw. Scherflächen gemessen werden, die meisten waren jedoch nicht einmessbar. Abbildung 15 zeigt, dass die vier gemessenen Störungen alle mit unterschiedlicher Neigung etwa nach Nordwesten zeigen. Da allerdings nur diese vier Messwerte vorhanden sind, ist dies nicht sehr aussagekräftig.

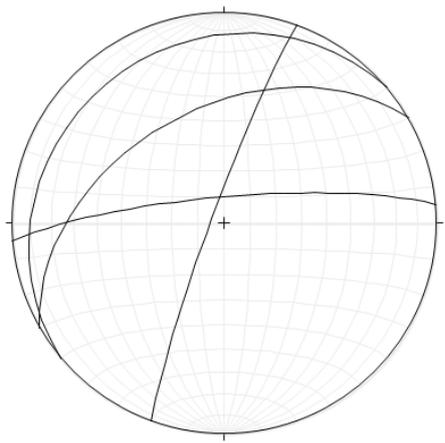


Abbildung 15: Störungen

Insgesamt ergibt sich das Bild eines großräumigen Faltenbaus mit einer Faltenachse von etwa  $B=260/20$ . Das gesamte Gebiet ist stark tektonisch beansprucht und im Bereich des Stollens kommen einige (kleinere) Störungen vor.

## 6. Mineralogie

### 6.1 Chlorit - Epidot - Schiefer (hellgrün)

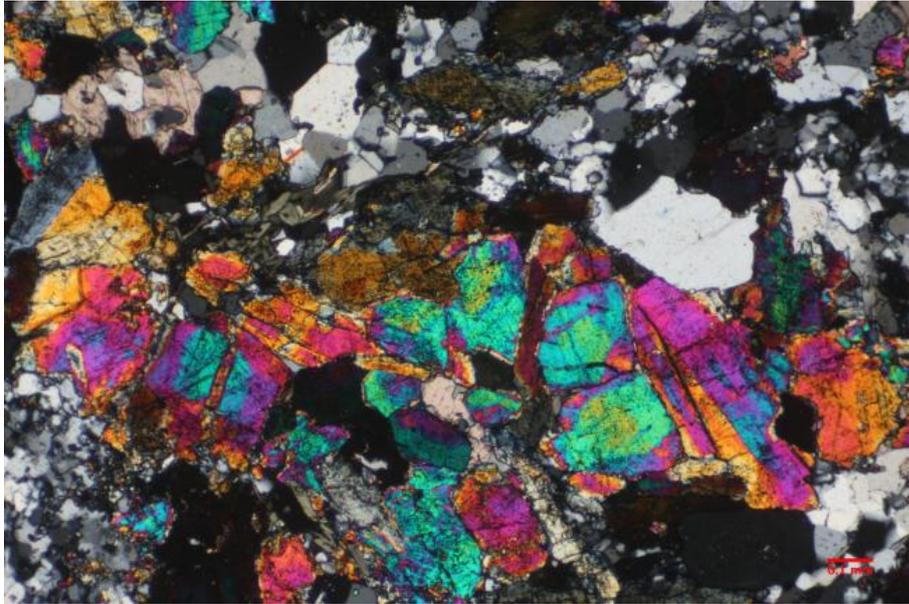
Hauptbestandteile dieses Gesteins sind Chlorit, Epidot und Quarz sowie Albit.

Chlorit trägt durch seinen grünen bis braunen Pleochroismus stark zur Farbe des Gesteins bei. Er erscheint feinblättrig bis stängeligenadelig und hat niedrige, dunkelgrüne bis bräunliche Interferenzfarben. Teilweise sind die Minerale eingeregelt, doch häufig scheinen die Körner unstrukturiert angeordnet zu sein. Diese Einregelung der Minerale kann sowohl kleinräumig - wie in Abbildung 16 - als auch als Bänderung mit Quarz/Albit-Zonen erkannt werden.



Abbildung 16: Einregelung der Chlorite (Durchlicht, //N), Bildbreite 4 mm, Probe P28

Epidot ist teils sehr feinkörnig ausgebildet und zeigt einen "zitronengelben" bis grünen Pleochroismus sowie hohe Interferenzfarben bei gekreuztem Polarisator. Epidote treten sowohl als größere Mineralkörner wie in Abbildung 17 auf, als auch stängeligenadelig wie Chlorit. In den meisten Proben ist der Chloritanteil etwas höher als der an Epidot.



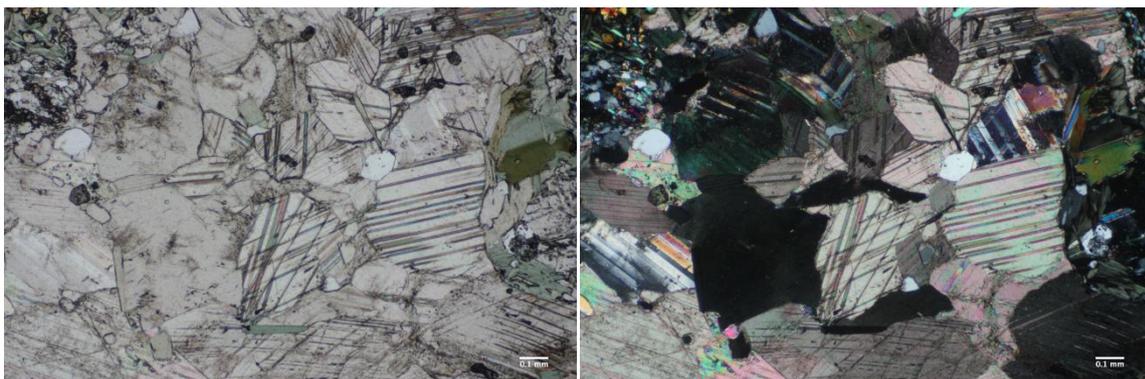
**Abbildung 17: Epidot (Durchlicht, #N), Bildbreite 2 mm, Probe HB-5**

Quarz ist teilweise sehr feinkörnig, wodurch er oft nicht von feinkörnigem, unverzwilligtem Albit unterschieden werden kann. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass es sich bei einem Teil der mit gekreuzten Polarisatoren weiß bis grau erscheinenden Minerale um Albit handelt. Größer ausgebildete Quarzkörner sind xenomorph und zeigen keine undulöse Auslöschung.

Seltener auftretende Minerale sind Zoisit, Karbonate und Pyrit.

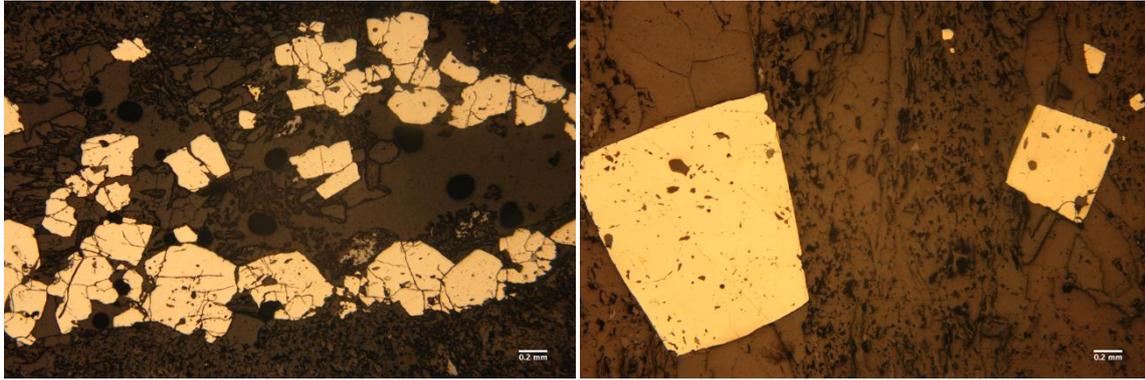
Zoisit tritt in der selben Form, aber wesentlich seltener, wie Epidot auf. Er hat hellere, gelbliche bis bläuliche Interferenzfarben.

Bei den Karbonaten handelt es sich hauptsächlich um Kalzit. Sie sind sekundär und treten meist grobkörnig in Gängen auf (Abbildung 18).



**Abbildung 18: Karbonatgang (Durchlicht, links //N, rechts #N), Bildbreite 2 mm, Probe HB-5**

Das am häufigsten in diesem Gestein auftretende Sulfid ist Pyrit. Dieser ist ebenfalls sekundär und kommt oft als "Sulfidband" (Abbildung 19, links) vor. Selten ist er auch xenomorph und mit Chalkopyrit verwachsen. Meist sind die Pyrite in dieser Lithologie aber grobkörnig (bis >2 mm) und idiomorph gewachsen (Abbildung 19, rechts).



**Abbildung 19: Pyritband (links, Probe HB-6), idiomorphe Pyrite (rechts, Probe P22), Bildbreite 4 mm, Auflicht**

Akzessorisch treten Glimmerminerale, wie Muskovit, verzwilligte größere Plagioklase, Chalkopyrit und Pyrrhotin auf. Außerdem kommen Sphalerit, Titanit und Rutil vor.

Die Schieferung des Gesteins ist makroskopisch deutlicher zu erkennen, als mikroskopisch. Einzig die Bänderung, wie in Abbildung 16 gezeigt, tritt hin und wieder auf. Im Dünnschliff wirkt das Gestein viel weniger texturiert.

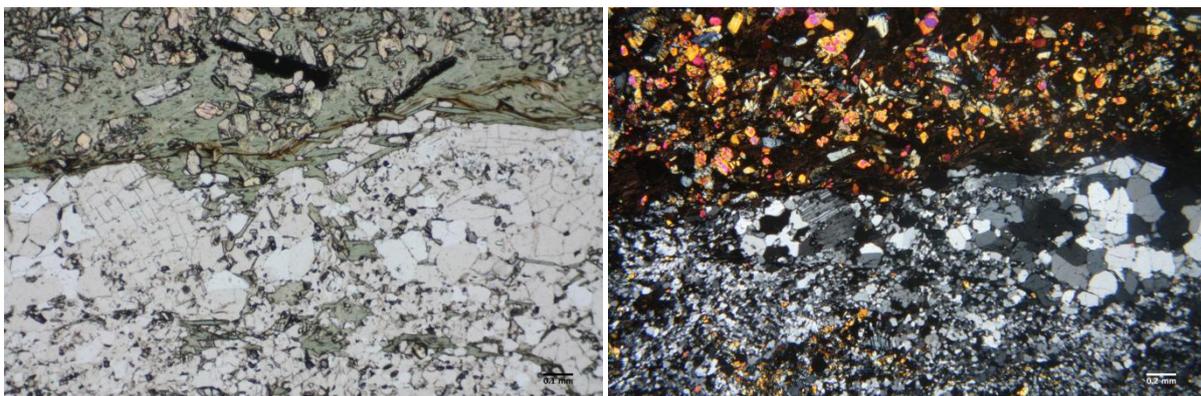
Vereinzelt können Zonen mit großen, teils verzwilligten Feldspäten erkannt werden.

### **6.2 Chlorit - Epidot - Albitgneis (orange)**

Mineralogisch unterscheidet sich dieses Gestein nur gering von den Chlorit-Epidot-Schiefern. Es ist häufig etwas heller. Der Anteil an Plagioklas ist höher und der an Chlorit und Epidot geringer.

Das am häufigsten auftretende Mineral ist Quarz bzw. Albit. Auch in diesem Gestein ist die Unterscheidung der beiden Minerale aufgrund der Feinkörnigkeit oft nicht möglich.

Chlorit und Epidot treten seltener auf als in den Chlorit-Epidot-Schiefern, sind aber nach Quarz/Albit die häufigsten Minerale. Wie bereits zuvor gibt es auch in diesem Gestein unterschiedliche Zonen. Einerseits kommen alle vier bisher genannten Minerale gemeinsam vor, andererseits gibt es auch deutliche Grenzen zwischen Chlorit/Epidot- und Quarz/Albit-Zonen (Abbildung 20).



**Abbildung 20: Zonengrenze, Durchlicht, links: Bildbreite 2 mm (//N); rechts: Bildbreite 4 mm (#N), Probe HB-7**

Des Weiteren kommen einzelne größere Plagiokläse als seltenerer Bestandteil vor. Dabei ist vielfach Saussuritisierung zu beobachten: Die ursprüngliche Kornform ist noch zu erkennen, wobei Ca-Feldspat (Anorthit) in feinkörnigen Albit und Epidot sowie teilweise auch Karbonate und Glimmer umgewandelt wurde. Dies ist in Abbildung 21 und Abbildung 22 zu erkennen.

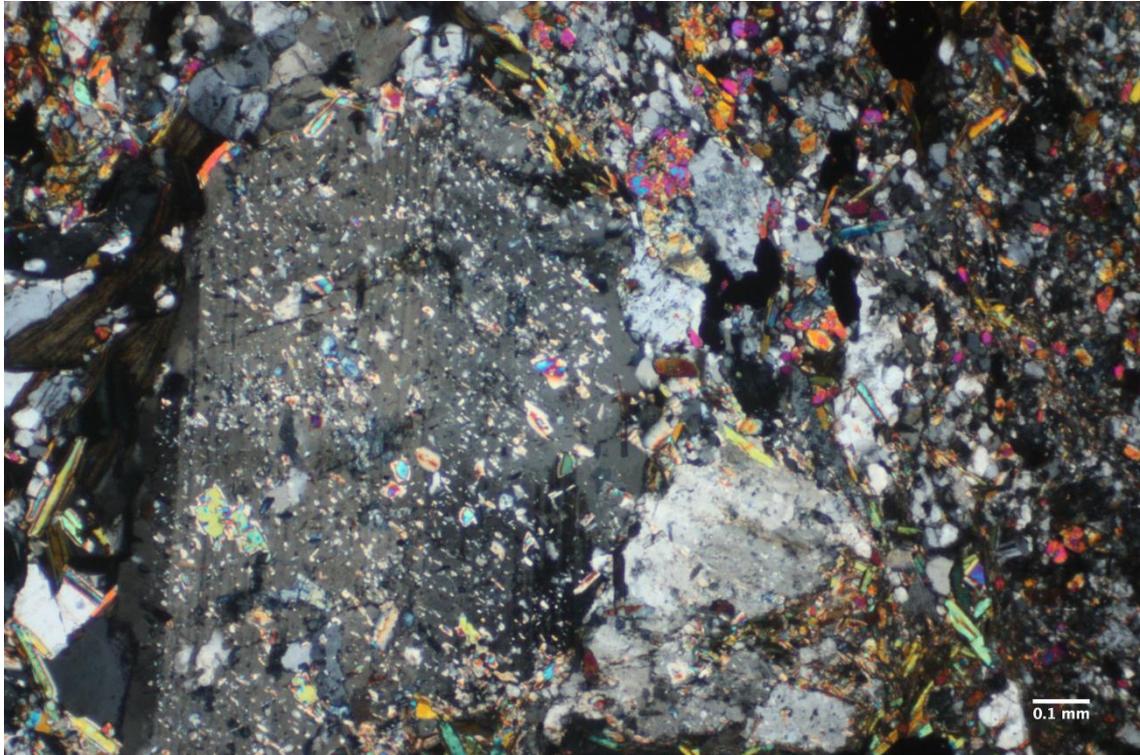


Abbildung 21: Saussuritisierung (#N): ursprüngliches Mineral noch gut zu erkennen, Bildbreite 2 mm, Probe HB-4

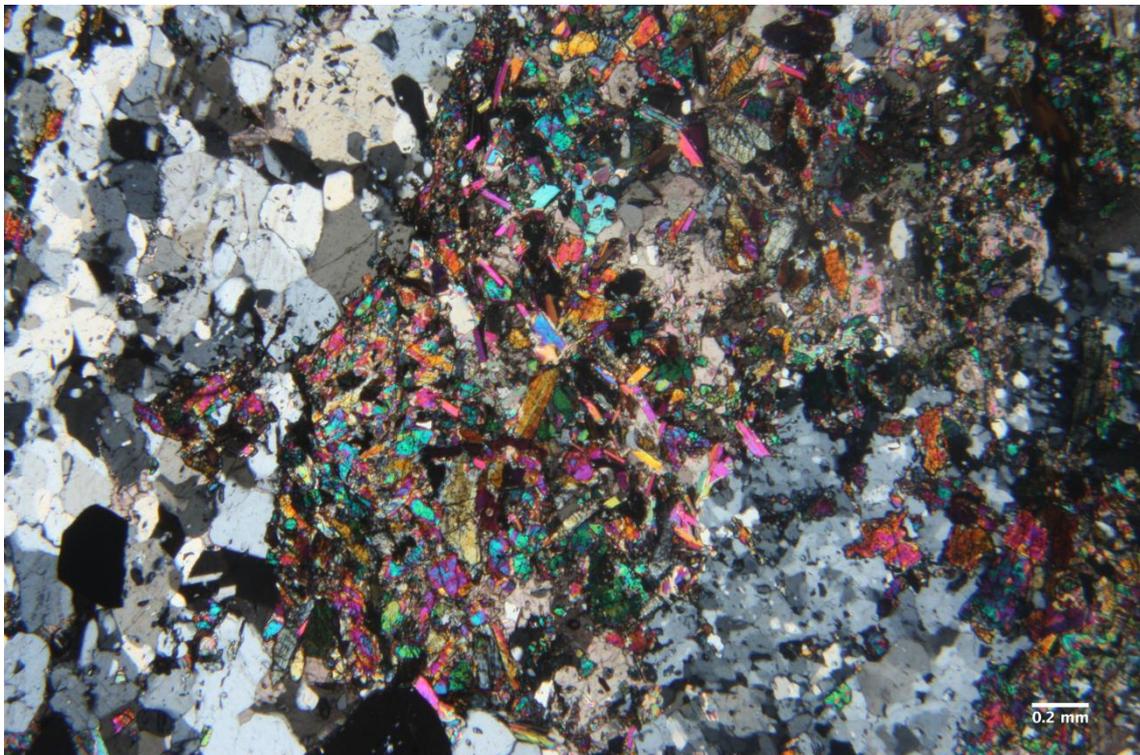


Abbildung 22: Saussuritisierung (#N): Nur noch ursprüngliche Form erkennbar, Bildbreite: 4 mm, Probe P6

Ebenso wie in den Chlorit-Epidot-Schiefern treten auch Sulfide, am häufigsten Pyrit, auf. Akzessorisch kommen auch Chalkopyrit und Pyrrhotin vor, die oft feine Bänder bilden, in welchen die Minerale sowohl verwachsen als auch idiomorph sein können.

Wie die bereits genannten Minerale treten auch Karbonate in der gleichen Form wie zuvor auf. Auch hier kommt Kalzit am häufigsten, teils grobkörnig und meist gangförmig, vor.

Weitere Akzessorien sind Glimmerminerale, wie Phengit und Muskovit, sowie Apatit, Sphalerit, Titanit und Rutil.

### 6.3 Erzzonen (violett)

Die vererzten Zonen haben einen sehr hohen Sulfidanteil. Silikate treten untergeordnet vor allem in Form von Amphibolen (Tremolit und Hornblende, untergeordnet Edinit, Paragasit und Aktinolith) (Abbildung 23) sowie Chlorit (meist Chamosit) auf.

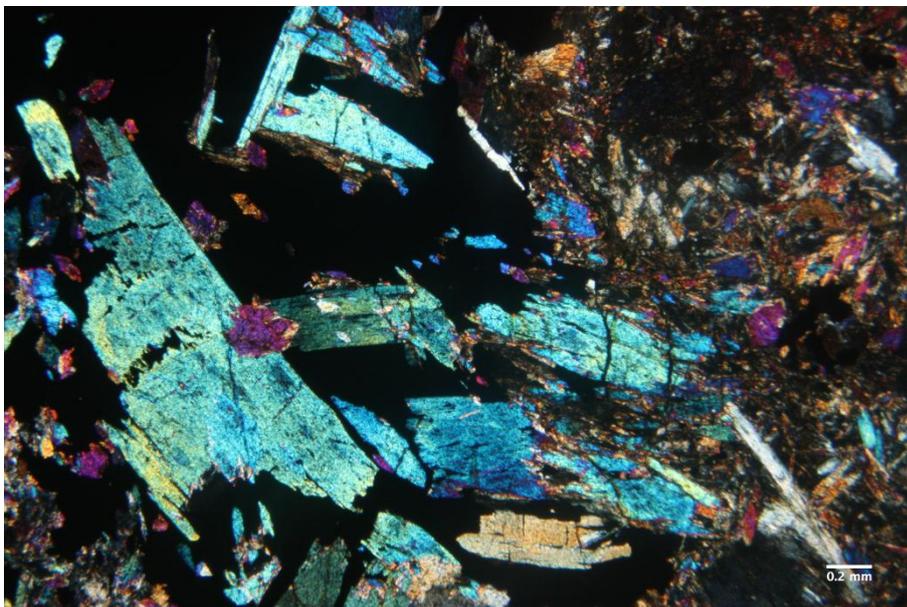


Abbildung 23: Amphibole (#N), Bildbreite 4 mm, Durchlicht, Probe HB-9

Weitere Silikate sind Titanit, Albit und Quarz, seltener auch Biotit und Epidot. Selten treten auch Chromite bzw. Cr-Spinelle, welche nur unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) erkannt werden, und auch Kalzite und Apatite auf. Akzessorisch wurden auch Zirkon, Ilmenit, Monazit und Scheelit aufgefunden.

Die Probe P9, welche aus dem Bereich des unteren, östlichen Mundlochs stammt, weist zudem Verwitterungsminerale, wie Baryt, Siderit und Limonit v.a. in oder nahe Hohlräumen auf.

Die Minerale sind meist uneingeregelt. Von der Probe HB-9 wurde auch ein Dünnschliff angefertigt, der ein im Wesentlichen ungerichtetes Gefüge zeigt. Hauptsächlich handelt es sich dabei um grobkörnige Hornblende und wenig Albit. Die Bezeichnung für dieses Gestein wäre neben "Erz" also am ehesten "Hornblendit".

In Tabelle 4 und Tabelle 5 sind die Mineralauswertung der REM-Daten ersichtlich. Dabei wurde auf eine bestimmte Anzahl von O-Atomen - z.B. 23 O für Amphibol - normiert, welche unter der Summe

der Oxid-Daten angeführt ist. Die Amphibolklassifizierung wurde nach Atomen Si und (Na+K) pro Formeleinheit durchgeführt (Abbildung 24). Die Berechnung für alle gemessenen Minerale befindet sich im digitalen Anhang.

Probe	HB-9	P27	P25	P9	P9	P13
Mineral	Tremolit	Hornblende	Paragasit	Edenit	Chamosit	Titanit
Na <sub>2</sub> O		0,51	2,25	2,21		
MgO	17,74	23,14	12,29	12,44	20	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,03	1,54	13,85	8,9	23,74	0,85
SiO <sub>2</sub>	55,83	53,45	41,44	43,71	26,23	28,7
K <sub>2</sub> O			0,19	0,27		
CaO	12,39	14,37	11,33	11,78		28,67
TiO <sub>2</sub>		0,07	1,67			41,77
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,09		0,53	0,75	
FeO	12,02	6,82	16,97	20,17	29,27	
Summe	100,01	99,99	99,99	100,01	99,99	99,99
Anz. O	23	23	23	23	14	5
Na		0,14	0,64	0,64		
Mg	3,69	4,78	2,69	2,77	2,79	
Al	0,33	0,25	2,39	1,57	2,62	0,03
Si	7,78	7,41	6,08	6,52	2,45	0,94
K	0,00		0,04	0,05		
Ca	1,85	2,13	1,78	1,88		1,01
Ti		0,01	0,18			1,03
Cr		0,01		0,06	0,06	
Fe	1,40	0,79	2,08	2,52	2,29	
a.p.f.u.	15,05	15,52	15,88	16,01	10,21	3,01

Tabelle 4: Auswertung der REM-Daten für die Hauptminerale, normiert auf 100 Gew.%, wasserfrei

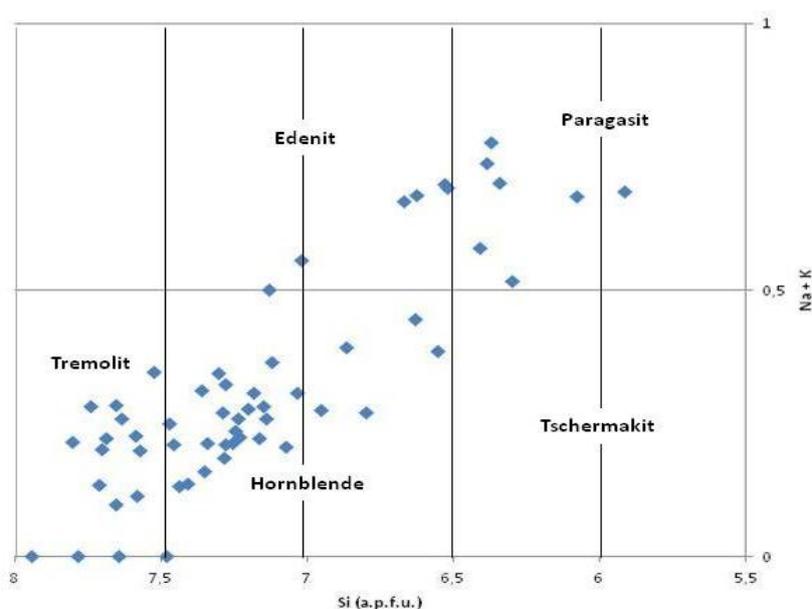


Abbildung 24: Amphibolklassifizierung nach (Na + K)- und Si-Atomen (Deer et al. 2009)

Probe	P27	P9	P27	P27	P25	P3
Mineral	Apatit	Biotit	Zirkon	Cr-Spinell	Epidot	Ilmenit
F	3,07					
MgO		11,41		6,14	1,3	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		16,38		3,23	25,05	
SiO <sub>2</sub>		33,3	29,17		34,86	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40,52					
K <sub>2</sub> O		7,23				
CaO	56,41				19,19	
TiO <sub>2</sub>		2,93				47,37
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,6		30,66		
ZnO				2,09		
FeO		25,92		38,96	13,25	42,42
ZrO <sub>2</sub>			65,97			
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					2,15	
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					4,2	
UO <sub>2</sub>			1,34			
NiO		1,62				
Summe	96,93	99,39	96,48	81,08	100	89,79
Anz. O	24	11	4	4	25	3
F	1,49					
Mg		1,30		0,43	0,32	
Al		1,48		0,18	4,89	
Si		2,54	0,95		5,77	
P	5,28					
K		0,70				
Ca	9,30				3,40	
Ti		0,17				1,00
Cr		0,04		1,14		
Zn				0,07		
Fe		1,66		1,53	1,83	1,00
Zr			1,04			
La					0,13	
Ce					0,25	
U			0,01			
Ni		0,10				
a.p.f.u.	16,08	7,98	2,00	3,34	16,60	2,00

Tabelle 5: Auswertung der REM-Daten für die Nebengemengteile bzw. Accessorien

In unterschiedlicher Menge werden in Sulfiden und selten in Silikaten Einschlussminerale unter dem REM erkannt. Als häufigste sind Minerale der Cobaltit-Reihe, sowie (Pd-)Melonit, Hessit, Rheniit und Sperryolith zu nennen.

Die Proben P3 und HAID-4 wurden in Bereichen genommen, in welchen an den Ulmen pinkfarbene Erythrin-Ausblühungen ( $\text{Co}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) beobachtet wurden.

### 6.3.1 Sulfide

Die Sulfide sind miteinander verwachsen und - außer Pyrit - nur selten idiomorph oder hypidiomorph ausgebildet. Im Durchlicht betrachtet erscheinen sie als opake Phasen, unter Auflicht können sie in verschiedenen Gelbtönen erkannt werden. Je nach Probe kommen sie in unterschiedlicher Menge vor. So gibt es Proben, in denen deutlich mehr Pyrrhotin vorhanden ist, aber auch Proben mit mehr Chalkopyrit. Es konnte aber keine eindeutige Unterteilung in unterschiedliche Erztypen vorgenommen werden. Unter dem REM wurden über EDX auch einige Sulfide gemessen. Eine Tabelle mit allen Daten befindet sich im digitalen Anhang, eine Zusammenfassung mit Name und Anzahl im Anhang V.

Das am häufigsten auftretende Sulfid ist Pyrit. Dieser weist teilweise eine idiomorphe, meistens jedoch eine xenomorphe Ausbildung auf. Unter dem Mikroskop erscheint er in hellem Gelb, fast schon Weiß. Pyrit ist sekundär im Gestein gebildet und scheint vor allem Pyrrhotin zu ersetzen. Auch Chalkopyrit (dunkleres Gelb) wird von Pyrit ersetzt, wie in Abbildung 25 ersichtlich.

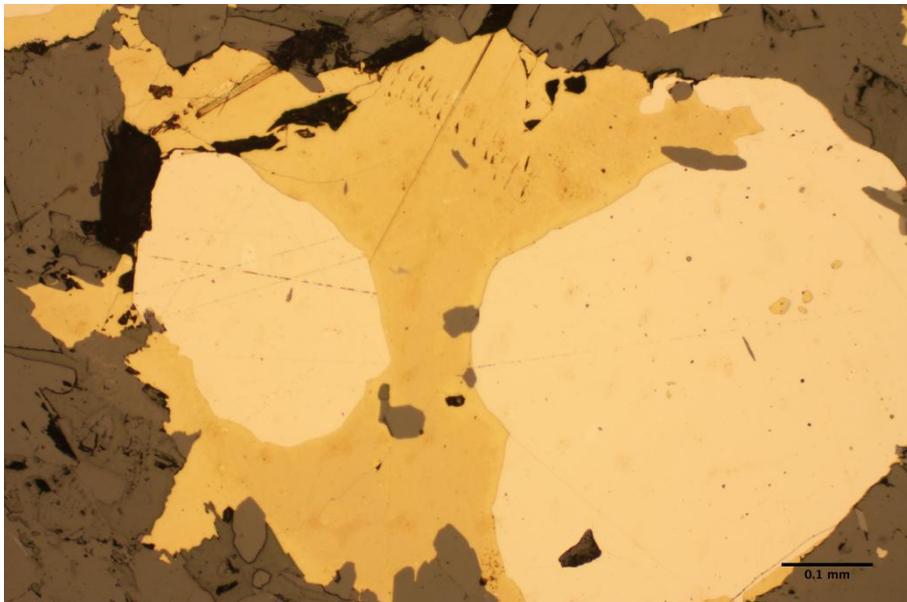


Abbildung 25: Pyrit in Chalkopyrit, Bildbreite 1 mm, Auflicht, Probe HB-9

Pyrit, dessen ideale Zusammensetzung  $\text{FeS}_2$ , also etwa 66 At% S und 33 At% Fe, beträgt, zeigt bei EDX-Messungen mit dem REM Einbau von einigen weiteren Metallen und Halbmetallen (Tabelle 6). Am häufigsten werden Co, Ni und As mit eingebaut. Insgesamt wurden 52 Pyrite analysiert.

	At.% Co	At.% Ni	At.% As
max	1,680	0,400	0,773
MW	0,393	0,024	0,069

Tabelle 6: Maximum und Mittelwert der eingebauten Elemente in Pyrit

Pyrrhotin ist leicht cremefarben bis bräunlich unter Auflicht. Er kommt in manchen Proben genauso häufig oder häufiger als Pyrit vor. Auch hierin werden Co (Py>Po), Ni (Py<Po), Cu und As (Py>Po) eingebaut (Tabelle 7). Insgesamt wurden 40 Pyrrhotine analysiert.

	At.% Co	At.% Ni	At.% Cu	At.% As	At.% Pd
Max	0,400	0,931	0,757	0,232	0,049
MW	0,099	0,564	0,109	<d.l.	<d.l.

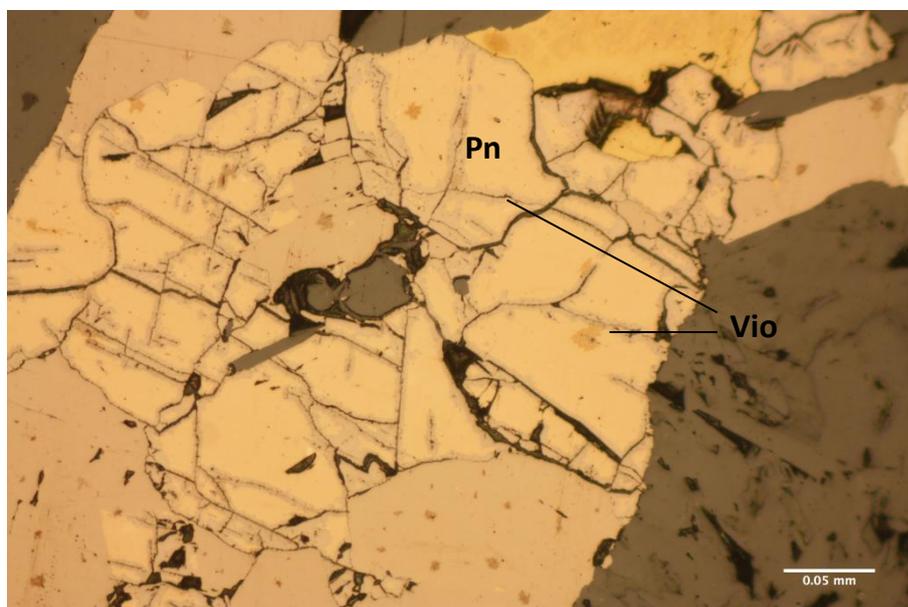
Tabelle 7: Maximum und Mittelwert der eingebauten Elemente in Pyrrhotin

Auch Chalkopyrit tritt häufig auf. Er zeigt gegenüber Pyrit und Pyrrhotin ein viel dunkleres Gelb und beinhaltet oft Co (Py>Cpy) und auch As (Py>Cpy) (Tabelle 8). Insgesamt wurden 32 Chalkopyrite analysiert.

	At.% Co	At.% As	At.% Pd	At.% Ag
max	0,390	0,203	0,035	0,052
MW	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.

**Tabelle 8: Maximum und Mittelwert der eingebauten Elemente in Chalkopyrit**

Als Letztes der Hauptsulfide in den Gesteinen ist Pentlandit zu nennen. Er ist cremefarben bis bräunlich, nur etwas heller als Pyrrhotin. Oftmalig tritt er gemeinsam mit Violarit auf. Diese hydrothermale Verwitterungsform des Pentlandit bildet Lamellen, die das ursprüngliche Mineral durchziehen. Da dies in den vorliegenden Erzen häufig ist, ist es hier ein charakteristisches Erkennungsmerkmal für Pentlandit. Eine solche Verwitterung ist auch in Abbildung 26 zu erkennen.



**Abbildung 26: Pentlandit (Pn) mit Violarit-Lamellen (Vio), Bildbreite 0,5 mm, Auflicht, Probe P9**

Zusätzlich zu Co (Py>Pn) werden in Pentlandit auch - relativ zu den vorhergehenden Sulfiden - oft Ag und Pd eingebaut (Tabelle 9). In Violarit konnte als häufigstes weiteres Metall vor allem Co (Py>Vio) gemessen werden (Tabelle 10). Insgesamt wurden 35 Pentlandite und 12 Violarite analysiert.

	At.% Co	At.% Cu	At.% Pd	At.% Ag
max	0,702	0,274	0,066	4,161
MW	0,223	<d.l.	<d.l.	0,119

**Tabelle 9: Maximum und Mittelwert der eingebauten Elemente in Pentlandit**

	At.% Co	At.% Ni	At.% Cu
Max	0,466	24,448	0,341
MW	0,109	19,944	0,043

**Tabelle 10: Maximum und Mittelwert der eingebauten Elemente in Violarit**

Eine typische Verwachsung der bisher beschriebenen Sulfide ist in Abbildung 27 zu sehen.

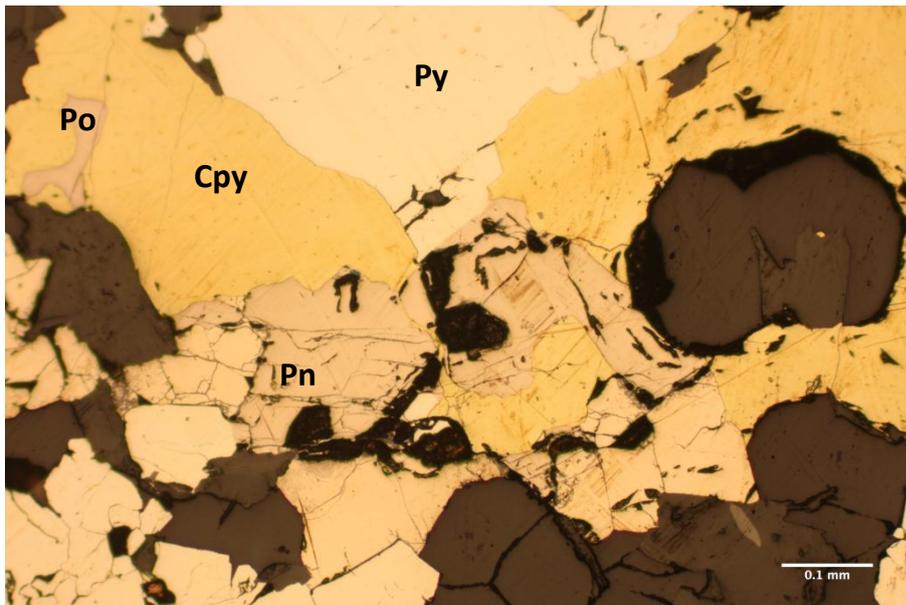


Abbildung 27: Sulfidverwachsung, Po Pyrrhotin, Cpy Chalcopyrit, Py Pyrit, Pn Pentlandit, Bildbreite 1 mm, Auflicht, Probe P25

### 6.3.2 Einschlüsse

Einschlussminerale kommen vor allem in Sulfiden und auch an Korngrenzen zu Silikaten, seltener in Silikatzonen, vor.

Am häufigsten treten Minerale der Mischkristallreihe zwischen Gersdorffit (NiAsS) und Cobaltit (CoAsS) auf. Diese stellen auch die größten Einschlüsse mit bis zu 80 x 71 µm (NiAsS in P27) dar. Auch wenn einzelne der anderen Einschlüsse etwas größer sind, haben die meisten eine Größe von unter 10 µm.

Bei diesen anderen Einschlussmineralen handelt es sich um (Pd-)Melonit, Hessit, Sperrylith, Rhenit, Merenskyit, Hexatestibiopannickelit, Testibiopalladit, Elektrum, Irarsit, Molybdänit, Galenit und Sphalerit sowie einige Phasen, die aufgrund ihrer geringen Größe und des daraus folgenden Einflusses der Umgebung auf die Messergebnisse nicht genauer identifiziert werden konnten. Letzteres gilt oft auch für die anderen Einschlüsse: Bei kleinen Mineralen wird von dem Elektronenstrahl des REMs auch die Umgebung angeregt, was dazu führt, dass keine reinen Analysen erreicht werden. Alle Einschlüsse werden im Folgenden näher beschrieben. Genauere Informationen bezüglich ihrer textuellen Position bzw. chemischen Zusammensetzung sind den Tabellen zu den jeweiligen Mineralen im digitalen Anhang zu entnehmen. Eine Tabelle mit einer Zusammenfassung der Art, der textuellen Position, der maximalen Größe in den vorliegenden Gesteinen und der Anzahl der gemessenen Minerale befindet sich im Anhang V.

#### Sulfarsenide:

Die Minerale Cobaltit (CoAsS) und Gersdorffit (NiAsS) gehören zur Gruppe der Sulfarsenide. Auch Arsenopyrit (FeAsS) zählt zu dieser, kommt aber in den vorliegenden Gesteinen selten vor. Die bereits genannte Zusammensetzung

33 % Metall + 33 % Arsen + 33 % Schwefel

ist die Idealzusammensetzung, gilt aber auch für Mischkristalle. Dabei wird mit "Metall" nicht ein einzelnes Element bezeichnet, sondern dieser Anteil setzt sich zum Beispiel aus 16,5 % Ni und 16,5 % Co zusammen. Diese Form tritt auch am häufigsten in den Erzen des Haidbachgrabens auf. Tabelle 11 zeigt einige der aufgefundenen Minerale. Dabei ist zu erkennen, dass die Minerale eigentlich nie in ihrer reinsten Form auftreten, sondern immer eine Mischkristallreihe zwischen Ni und Co, aber auch Fe, bilden. Namensgebend ist in diesem Fall das Metall, welches den höchsten Anteil bildet. Insgesamt wurden 68 Sulfarsenide gemessen. Pt wird sehr häufig (31 mal) in geringen Mengen (bis zu 0,8 At%) in diese Minerale eingebaut. Chemisch ist der Einbau von Pt möglich, um es zu verifizieren, müssten die Einschlüsse auch mit WDS überprüft werden.

Schliff	At.% S	At.% Fe	At.% Co	At.% Ni	At.% As	At.% Pt	Empirische Formel
P27	33,351	7,184	14,351	12,002	32,699	0,414	$(\text{Co}_{0,43}\text{Ni}_{0,36}\text{Fe}_{0,22}\text{Pt}_{0,01})_{1,02}\text{As}_{0,98}\text{S}$
P27	33,250	6,812	24,403	3,583	31,952	0,000	$(\text{Co}_{0,73}\text{Ni}_{0,11}\text{Fe}_{0,2})_{1,04}\text{As}_{0,96}\text{S}$
P27	34,620	9,375	13,321	11,208	31,477	0,000	$(\text{Co}_{0,4}\text{Ni}_{0,34}\text{Fe}_{0,28})_{1,02}\text{As}_{0,94}\text{S}_{1,04}$
P25	35,813	5,138	0,810	28,158	29,807	0,194	$(\text{Co}_{0,02}\text{Ni}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{Pt}_{0,01})_{1,03}\text{As}_{0,89}\text{S}_{1,08}$
P3	33,289	8,940	9,500	15,269	32,583	0,419	$(\text{Co}_{0,28}\text{Ni}_{0,46}\text{Fe}_{0,27}\text{Pt}_{0,01})_{1,02}\text{As}_{0,98}\text{S}$
P9	36,750	13,187	8,855	12,204	29,004	0,000	$(\text{Co}_{0,27}\text{Ni}_{0,36}\text{Fe}_{0,4})_{1,03}\text{As}_{0,87}\text{S}_{1,1}$

Tabelle 11: Zusammensetzung verschiedener Cobaltite und Gersdorffite

Die Größe dieser Einschlüsse variiert sehr stark von wenigen  $\mu\text{m}$  bis zu  $70 \mu\text{m}$ . Sie treten meistens subhedral bis anhedral, seltener auch euhedral, auf. Hauptsächlich kommen sie in Pyrit vor, aber auch zwischen Chalkopyrit und Pyrit, in Chalkopyrit, zwischen Violarit und Pyrit, in Sphalerit oder in Amphibol- bzw. Silikatzonen. Abbildung 28 zeigt einen Cobaltit zwischen Silikaten, neben einem großen Pyrit, in welchem ebenfalls Cobaltit eingeschlossen ist (links oben). Hierbei besteht der Cobaltit aus etwa 14 % Co, 11 % Ni und 8 % Fe.

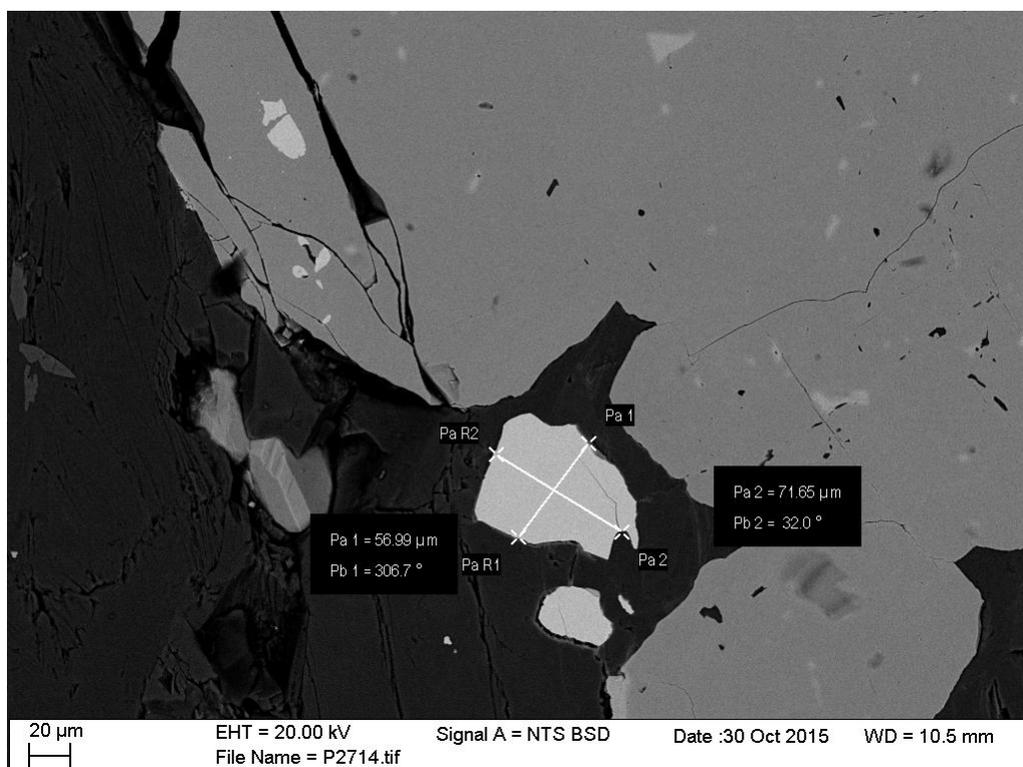


Abbildung 28: Cobaltit

Klemm (1965) entwickelte aus dem Auftreten von verschiedenen Sulfarseniden bzw. deren Zusammensetzung ein Diagramm, durch welches auf die Bildungstemperatur geschlossen werden kann (Abbildung 29). Im Fall der Sulfarsenide des Haidbachgrabens zeigt sich ein deutlicher Trend von etwa 600°C in Richtung Gersdorffit-Zusammensetzung. Dies sind höhere Temperaturen als für die alpidische Metamorphose im Projektgebiet bekannt sind (bis 500°C). Daraus folgt, dass es sich bei den Sulfarseniden entweder um primär magmatische Relikte handelt oder dass das Diagramm für die Sulfarsenide des Haidbachgrabens nicht anwendbar ist.

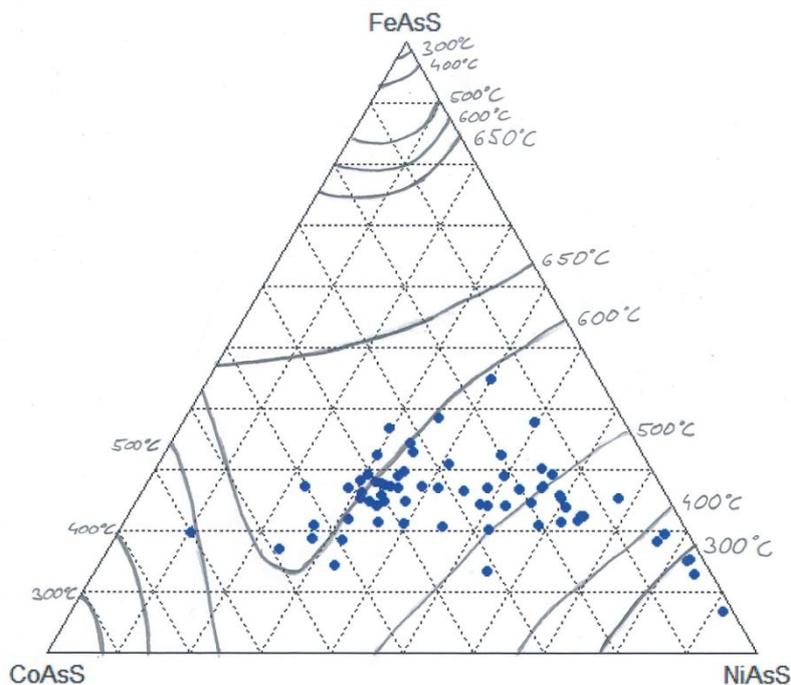


Abbildung 29: Temperaturabschätzung aus der Sulfarsenid-Zusammensetzung (Klemm 1965)

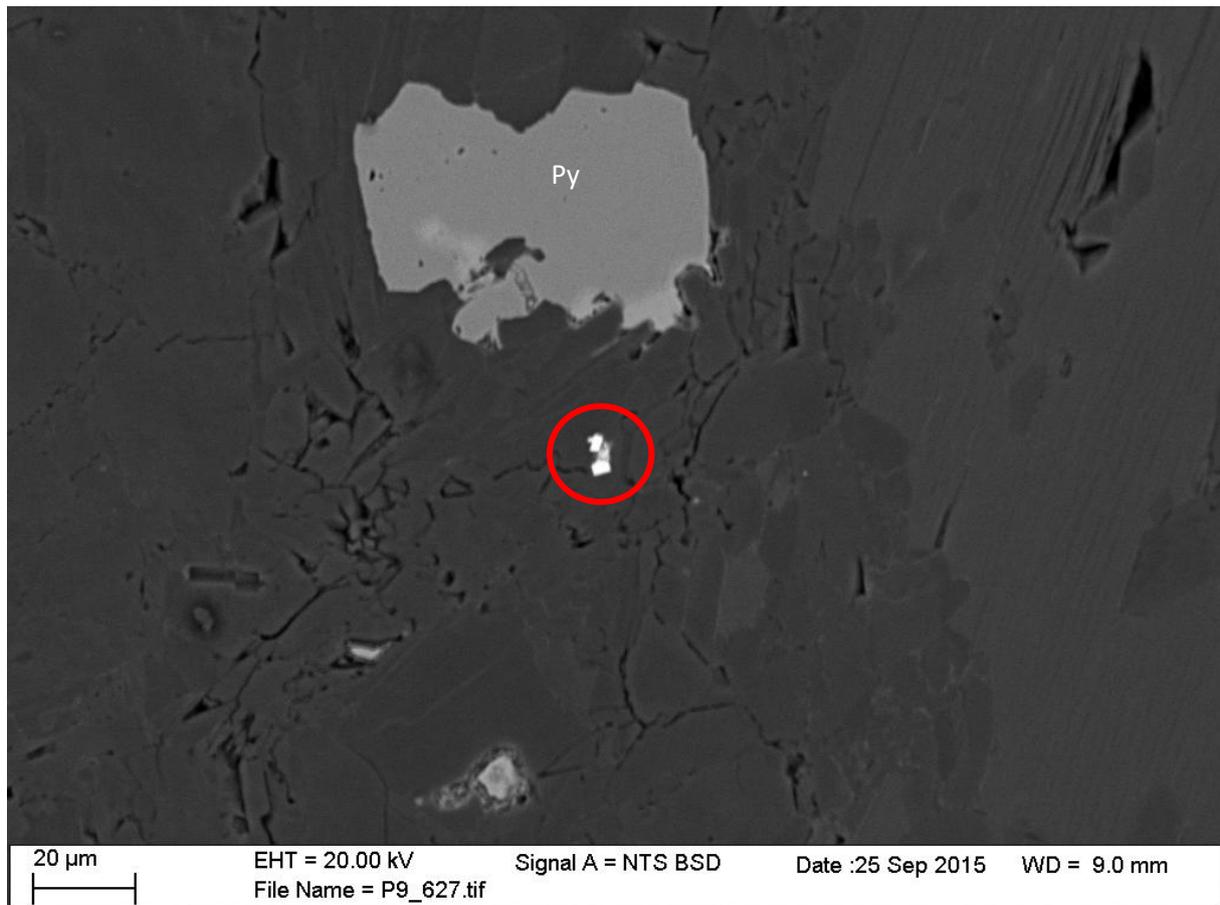
#### Irsarit:

Irsarit ( $\text{IrAsS}$  oder  $(\text{Ir,Ru,Rh,Pt})\text{AsS}$ ) zählt auch zu den Sulfarseniden. Er ist meist euhedral und kleiner als 5  $\mu\text{m}$ . Aufgrund der geringen Größe der Minerale kann ein Einfluss der Umgebung auf die Analyseergebnisse verzeichnet werden. Zusätzlich zu den in der Formel angeführten Elementen können auch Co, Ni und Os eingebaut werden. (Tabelle 12) Auch Cabri (2002) beschreibt einen Einbau von Co, Ni, Cu, Os und Sb zusätzlich zu den in der Formel enthaltenen Elementen. Insgesamt wurden fünf Irsite analysiert.

Schliff	At.% S	At.% Co	At.% Ni	At.% As	At.% Rh	At.% Os	At.% Ir	At.% Pt	Empirische Formel
P9	28,211	5,243	1,654	38,076	1,255	1,058	21,410	3,095	$(\text{Ir}_{0,64}\text{Os}_{0,03}\text{Pt}_{0,09}\text{Co}_{0,16}\text{Ni}_{0,05})_{0,97}\text{As}_{1,14}\text{S}_{0,85}$
P9	29,028	3,828	1,504	38,136	1,563	0,000	22,003	3,937	$(\text{Ir}_{0,66}\text{Pt}_{0,12}\text{Co}_{0,12}\text{Ni}_{0,05})_{0,95}\text{As}_{1,14}\text{S}_{0,87}$
P9	28,042	5,959	2,690	38,250	1,934	0,000	19,307	3,818	$(\text{Ir}_{0,58}\text{Pt}_{0,11}\text{Co}_{0,18}\text{Ni}_{0,08})_{0,95}\text{As}_{1,15}\text{S}_{0,84}$
P13	38,446	0,000	0,000	39,354	0,000	0,000	22,200	0,000	$\text{Ir}_{0,67}\text{As}_{1,18}\text{S}_{1,15}$
P13	34,974	8,480	0,000	37,957	3,394	0,000	15,195	0,000	$(\text{Ir}_{0,46}\text{Co}_{0,25})_{0,71}\text{As}_{1,14}\text{S}_{1,05}$

Tabelle 12: Zusammensetzung aller gemessenen Irsite

Dieses Einschlussmineral wurde nur in zwei Proben gefunden, wobei es sich in Probe 9 in Amphibol (Abbildung 30) und in P13 in Pyrit befand.



**Abbildung 30: Irsarit**

(Pd-)Melonit und Merenskyit:

Melonit ist ein Nickeltellurid ( $\text{NiTe}_2$ ), welches eine Mischreihe mit Merenskyit ( $\text{PdTe}_2$ ) bildet. Ist Pd vorhanden, heißt das Mineral Pd-Melonit, übersteigt der Pd-Anteil nur knapp den Ni-Anteil wird das Mineral Merenskyit genannt. In den vorliegenden Gesteinen kommen diese Einschlüsse recht häufig vor. Sie können als das wichtigste Pd-Mineral des Haidbachgrabens angeführt werden.

Die meisten dieser Minerale sind unter  $10\ \mu\text{m}$  groß, häufig unter  $5\ \mu\text{m}$ . Bei diesen kleinen Einschlüssen ist der Einfluss der Umgebung auf die Messung sehr hoch, weshalb die Ergebnisse dementsprechend korrigiert werden mussten. Ergebnisse solcher Analysen sind in Tabelle 13 ersichtlich. Insgesamt wurden 67 (Pd-) Melonite analysiert. Zusätzlich kann etwas Fe, Cu und Ni sowie Bi (43 mal), Pt (11 mal), Sb (9 mal) und Ag (3 mal) vorkommen. Cabri (2002) beschreibt in seiner Zusammenfassung der Platingruppen-Mineralie für das Endglied Merenskyit einen zusätzlichen Einbau von Pt und Bi sowie etwas Fe, Cu, Sb, S und Se.

Schliff	At.% Fe	At.% Ni	At.% Cu	At.% Pd	At.% Te	At.% Bi	Empirische Formel
P9	2,693	22,246	3,346	8,401	59,528	3,787	$(\text{Fe}_{0,08}\text{Ni}_{0,67}\text{Cu}_{0,1}\text{Pd}_{0,25})_{1,1}(\text{Te}_{1,79}\text{Bi}_{0,11})_{1,9}$
HB-9	0,000	23,448	0,000	10,189	61,546	4,817	$(\text{Ni}_{0,7}\text{Pd}_{0,31})_{1,01}(\text{Te}_{1,85}\text{Bi}_{0,14})_{1,99}$
HB-9	0,000	19,598	0,000	13,896	62,458	4,047	$(\text{Ni}_{0,59}\text{Pd}_{0,42})_{1,01}(\text{Te}_{1,87}\text{Bi}_{0,12})_{1,99}$
P9	4,658	24,865	0,000	6,131	60,796	3,550	$(\text{Fe}_{0,14}\text{Ni}_{0,75}\text{Pd}_{0,18})_{1,07}(\text{Te}_{1,82}\text{Bi}_{0,11})_{1,93}$
P25	0,000	19,514	0,000	13,478	63,393	3,616	$(\text{Ni}_{0,59}\text{Pd}_{0,4})_{0,99}(\text{Te}_{1,9}\text{Bi}_{0,11})_{1,01}$
P25	0,000	19,514	0,000	13,478	63,393	3,61	$(\text{Fe}_{0,05}\text{Ni}_{0,46}\text{Pd}_{0,49})_1(\text{Te}_{1,91}\text{Bi}_{0,09})_2$
P9	1,678	15,317	0,000	16,312	63,616	3,07	$(\text{Fe}_{0,08}\text{Ni}_{0,67}\text{Cu}_{0,1}\text{Pd}_{0,25})_{1,1}(\text{Te}_{1,79}\text{Bi}_{0,11})_{1,9}$

Tabelle 13: Zusammensetzung verschiedener (Pd-)Melonite

(Pd-)Melonite kommen vor allem in Pyrit sowie in Chalkopyrit vor. Des Weiteren treten sie zwischen den Korngrenzen sowohl von Sulfiden, als auch seltener von Silikaten, in Gersdorffit/Cobaltit und sehr selten in Pentlandit auf. Abbildung 31 zeigt einen Pd-Melonit zwischen Pyrit und Pyrrhotin, neben Chalkopyrit und Silikat.

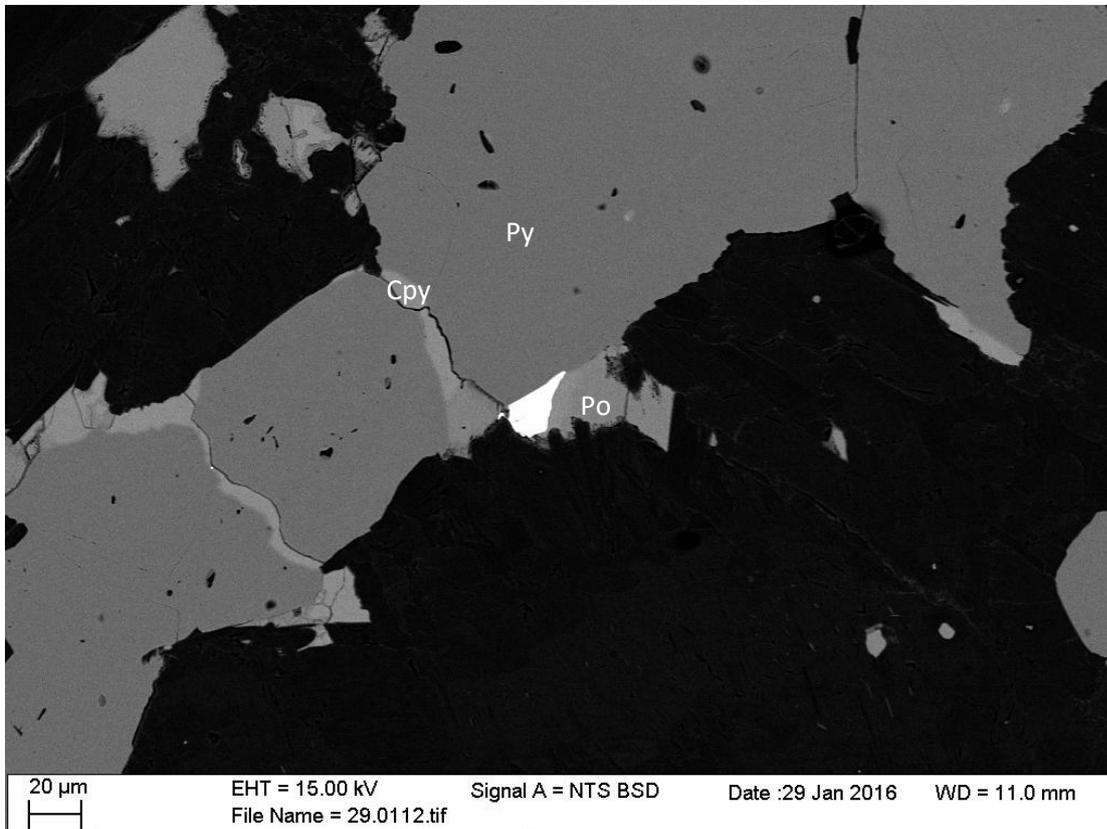


Abbildung 31: Pd-Melonit

Abbildung 32 zeigt die Verteilung der Pd- und Ni-Gehalte in den (Pd-)Meloniten an. Es ist zu erkennen, dass sich nur wenige Minerale einem Endglied der Mischreihe zuordnen lassen. Die meisten sind Mischkristalle mit etwas mehr Ni als Pd.

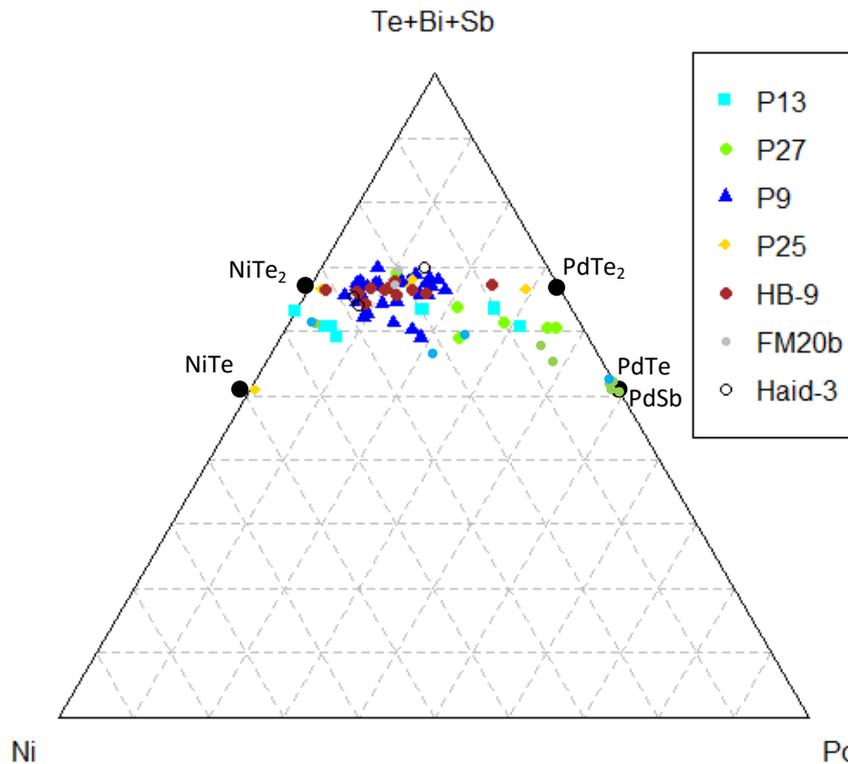


Abbildung 32: Darstellung der Ni- und Pd-Verteilung der (Pd-)Melonite, Kotulskite, Haxatestibiopanickelite und Sudburyite

#### Kotulskit:

Ein weiteres Pd-Tellurid ist Kotulskit ( $\text{Pd}(\text{Te},\text{Bi})$ ). Dieses Mineral wurde nur zwei Mal zwischen Sulfiden aufgefunden. Die beiden Minerale sind auch in Abbildung 32 eingetragen.

#### Sperrylith:

Sperrylith ist ein Platinarsenid ( $\text{PtAs}_2$ ), welches in den vorliegenden Gesteinen sowohl anhedral, als auch euhedral sowie subhedral auftritt.

Auch diese Minerale sind meist unter  $10\ \mu\text{m}$  groß, weswegen die Messdaten aufgrund des hohen Umgebungseinflusses korrigiert werden mussten. Insgesamt wurden 17 Sperrylithe analysiert. Zusätzlich kann etwas Ni (6 mal), Pd (6 mal) und Sb (7 mal) eingebaut werden (Tabelle 14). Selten treten Te (1 mal) und auch Spuren von Co (1 mal) auf. Cabri (2002) beschreibt in seiner Zusammenfassung der Platingruppen-Minerale einen zusätzlichen Einbau von Rh, Ru, Ir, Fe, Ni, Co, Cu, Sb und S.

Schliff	At.% Fe	At.% Ni	At.% As	At.% Pd	At.% Sb	At.% Pt	Empirische Formel
Haid-3	2,955	0,000	65,115	0,000	1,522	30,408	$(\text{Pt}_{0,91}\text{Fe}_{0,09})_1(\text{As}_{1,95}\text{Sb}_{0,05})_2$
Haid-3	2,726	0,000	68,018	0,141	0,000	29,115	$(\text{Pt}_{0,87}\text{Fe}_{0,08})_{0,95}\text{As}_{2,04}$
HB-9	1,473	0,000	67,790	0,000	0,000	30,736	$(\text{Pt}_{0,92}\text{Fe}_{0,05})_{0,97}\text{As}_{2,03}$
P9	4,228	0,000	65,051	0,200	0,175	30,346	$(\text{Pt}_{0,90}\text{Pd}_{0,01}\text{Fe}_{0,13})_{1,04}(\text{As}_{1,95}\text{Sb}_{0,01})_{1,96}$
P9	6,520	0,000	63,918	0,000	0,633	28,929	$(\text{Pt}_{0,87}\text{Fe}_{0,19})_{1,06}(\text{As}_{1,92}\text{Sb}_{0,02})_{1,94}$
P9	5,145	1,325	64,143	0,000	0,373	29,015	$(\text{Pt}_{0,87}\text{Fe}_{0,15}\text{Ni}_{0,04})_{1,06}(\text{As}_{1,93}\text{Sb}_{0,01})_{1,94}$
P25	4,875	2,021	65,026	0,000	0,000	28,077	$(\text{Pt}_{0,84}\text{Fe}_{0,15}\text{Ni}_{0,06})_{1,05}\text{As}_{1,95}$

Tabelle 14: Zusammensetzung verschiedener Sperrylithe

Sperrylith tritt am häufigsten in Pyrit auf, ist aber auch in Pyrrhotin, innerhalb von Amphibol- bzw. Silikatzonen oder an Korngrenzen etwa zwischen Sulfiden und Silikaten vorhanden. Abbildung 33 zeigt einen anhedralen Sperrylith in einem Pyrit, inmitten einer Sulfidzone.

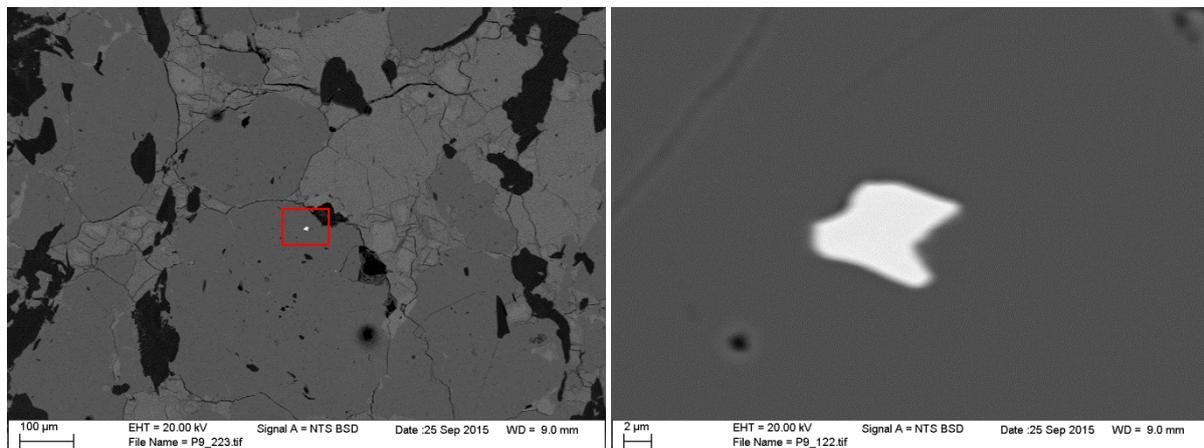


Abbildung 33: Sperrylith, rechts stark vergrößert

### Hexatestibiopanickelit und Sudburyit

Hexatestibiopanickelit (Pd,Ni)(Te,Sb) und Sudburyit (Pd,Ni)Sb sind zwei weitere Pd-Mineraler, welche im Haidbachgraben in zwei Proben identifiziert wurden. Aufgrund der chemischen Ähnlichkeit wurden sie hier zusammengefasst. Sie treten meist subhedral oder auch anhedral auf. Die meisten dieser Einschlüsse sind unter 5 µm groß, es wurde aber auch ein Mineral mit einer Länge von etwa 25 µm und Breite von etwa 5 µm (Sudburyit) aufgefunden. Aufgrund der meist geringen Größe beeinflusst auch hier die Umgebung (Fe, S und Cu) einige der Analysen. Abgesehen von den in der Formel beinhalteten Elementen wurde nur Bi bzw. in Sudburyit auch Te mit eingebaut (Tabelle 15). Insgesamt wurden fünf Hexatestibiopanickelite und vier Sudburyite analysiert. Sudburyit hat die Idealformel PdSb und kann nach Cabri (2002) auch Ni, Bi, As und Te einbauen. Hexatestibiopanickelit ist von der International Mineralogical Association (IMA) nicht anerkannt. In China wurde das Mineral 1974 erstmals beschrieben, wobei anhand von Mikrosondenanalysen eine Zusammensetzung von  $(\text{Ni}_{0,69}\text{Pd}_{0,31})(\text{Te}_{0,5}\text{Sb}_{0,49}\text{Bi}_{0,01})$  festgestellt wurde (Yu et al. 1974). Die Minerale sind auch in Abbildung 32 eingetragen.

Schliff	At.% Ni	At.% Pd	At.% Sb	At.% Te	At.% Bi	Empirische Formel
P27	5,870	38,892	27,076	28,162	0,000	$(\text{Ni}_{0,12}\text{Pd}_{0,78})_{0,9}(\text{Te}_{0,56}\text{Sb}_{0,54})_{1,1}$
P13	35,295	4,126	13,801	45,202	1,576	$(\text{Ni}_{0,71}\text{Pd}_{0,08})_{0,79}(\text{Te}_{0,9}\text{Sb}_{0,28}\text{Bi}_{0,03})_{1,21}$
P13	21,708	21,915	17,174	38,445	0,758	$(\text{Ni}_{0,43}\text{Pd}_{0,44})_{0,87}(\text{Te}_{0,77}\text{Sb}_{0,34}\text{Bi}_{0,02})_{1,13}$
P27	5,546	36,134	0,000	51,257	7,062	$(\text{Ni}_{0,11}\text{Pd}_{0,72})_{0,83}(\text{Te}_{1,03}\text{Bi}_{0,14})_{1,17}$
P13	15,993	24,711	24,213	34,445	0,638	$(\text{Ni}_{0,32}\text{Pd}_{0,50})_{0,82}(\text{Te}_{0,69}\text{Sb}_{0,48}\text{Bi}_{0,01})_{1,18}$
P27	0,000	48,336	45,035	6,629	0,000	$\text{Pd}_{0,97}(\text{Sb}_{0,9}\text{Te}_{0,13})_{1,03}$
P27	0,000	49,793	45,659	4,548	0,000	$\text{Pd}(\text{Sb}_{0,91}\text{Te}_{0,09})_1$
P27	0,000	49,525	46,090	0,000	4,385	$\text{Pd}_{0,99}(\text{Sb}_{0,92}\text{Bi}_{0,09})_{1,01}$
P13	0,000	46,499	34,604	15,750	3,147	$\text{Pd}_{0,93}(\text{Sb}_{0,69}\text{Te}_{0,32}\text{Bi}_{0,06})_{1,07}$

Tabelle 15: Zusammensetzung verschiedener Hexatestibiopanickelite (in Schwarz) und Sudburyite (in Grün)

Alle aufgefundenen Hexatestibiopanickelite und Sudburyite befanden sich entweder in Pyrit oder Chalkopyrit bzw. an Korngrenzen zwischen diesen Mineralen. Abbildung 34 zeigt das größte dieser Minerale zwischen Pyrit (links) und Chalkopyrit (rechts).

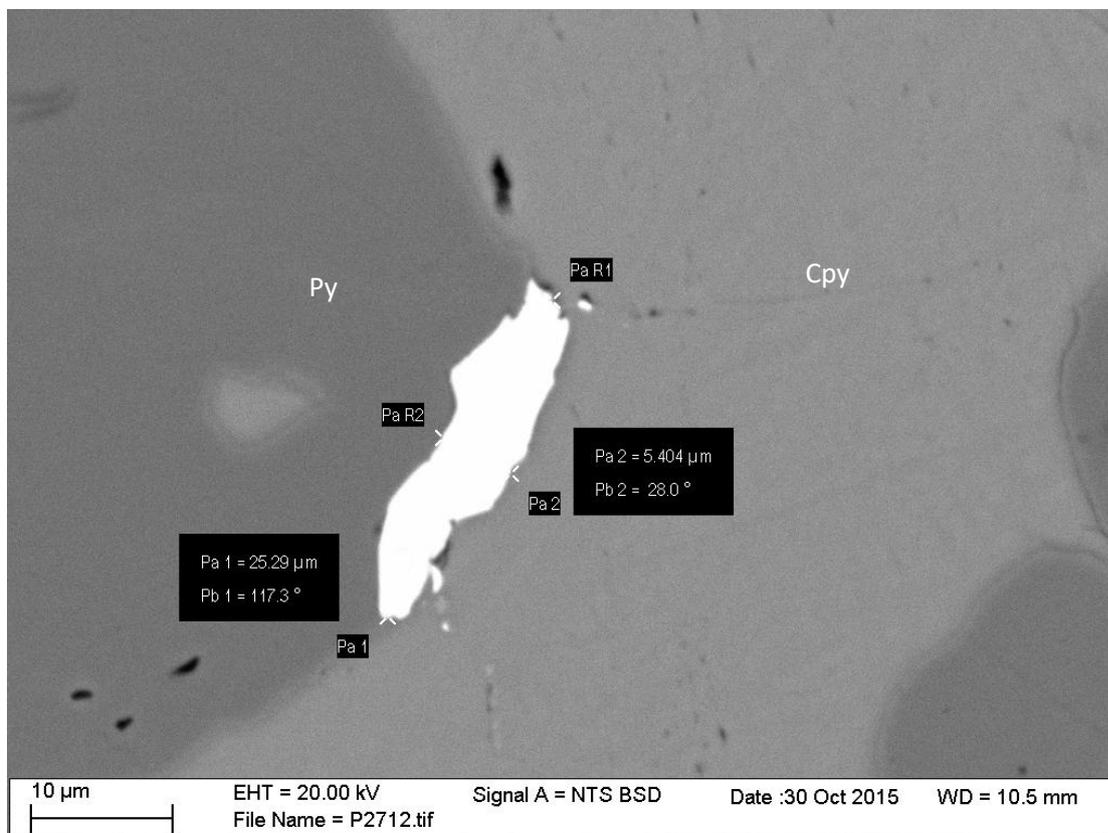


Abbildung 34: Sudburyit

### Testibiopalladit

Eine weitere auftretende Pd-Phase ist der Testibiopalladit ( $\text{PdTe}(\text{Sb}, \text{Bi})$ ), der sowohl subhedral als auch anhedral vorkommt. Die Korngröße liegt bei allen gefundenen Einschlüssen unter  $10 \mu\text{m}$ . Wie zuvor mussten auch diese Analysen korrigiert werden. Insgesamt wurden acht Testibiopalladite analysiert. Zusätzlich kann etwas Ni (2 mal) und Pt (1 mal) eingebaut werden. (Tabelle 16) Cabri (2002) beschreibt für Testibiopalladit einen zusätzlichen Einbau von Pt, Ni, Bi und Ag.

Schliff	At.% Ni	At.% Pd	At.% Sb	At.% Te	At.% Pt	At.% Bi	Empirische Formel
Haid-3	5,792	31,976	15,218	42,608	0,000	4,406	$(\text{Pd}_{0,96}\text{Ni}_{0,17})_{1,13}\text{Te}(\text{Sb}_{0,46}\text{Te}_{0,28}\text{Bi}_{0,13})_{0,96}$
HB-9	0,000	32,864	17,939	32,633	0,000	16,564	$\text{Pd}_{0,99}\text{Te}_{0,98}(\text{Sb}_{0,53}\text{Bi}_{0,50})_{1,03}$
HB-9	0,000	32,301	30,483	32,191	0,000	5,025	$\text{Pd}_{0,97}(\text{Te}_{0,97}\text{Bi}_{0,03})_1(\text{Sb}_{0,91}\text{Bi}_{0,12})_{1,03}$
P27	0,000	37,072	20,262	30,561	3,913	8,192	$(\text{Pd}_{1,11}\text{Pt}_{0,12})_{1,23}\text{Te}_{0,92}(\text{Sb}_{0,61}\text{Bi}_{0,24})_{0,85}$
P13	0,000	36,653	23,072	40,275	0,000	0,000	$\text{Pd}_{1,1}\text{Te}(\text{Sb}_{0,69}\text{Te}_{0,21})_{0,9}$

Tabelle 16: Zusammensetzung verschiedener Testibiopalladite

Testibiopalladite treten in Pyrit, Chalkopyrit und Pentlandit sowie zwischen Sulfiden (Abbildung 35) auf.

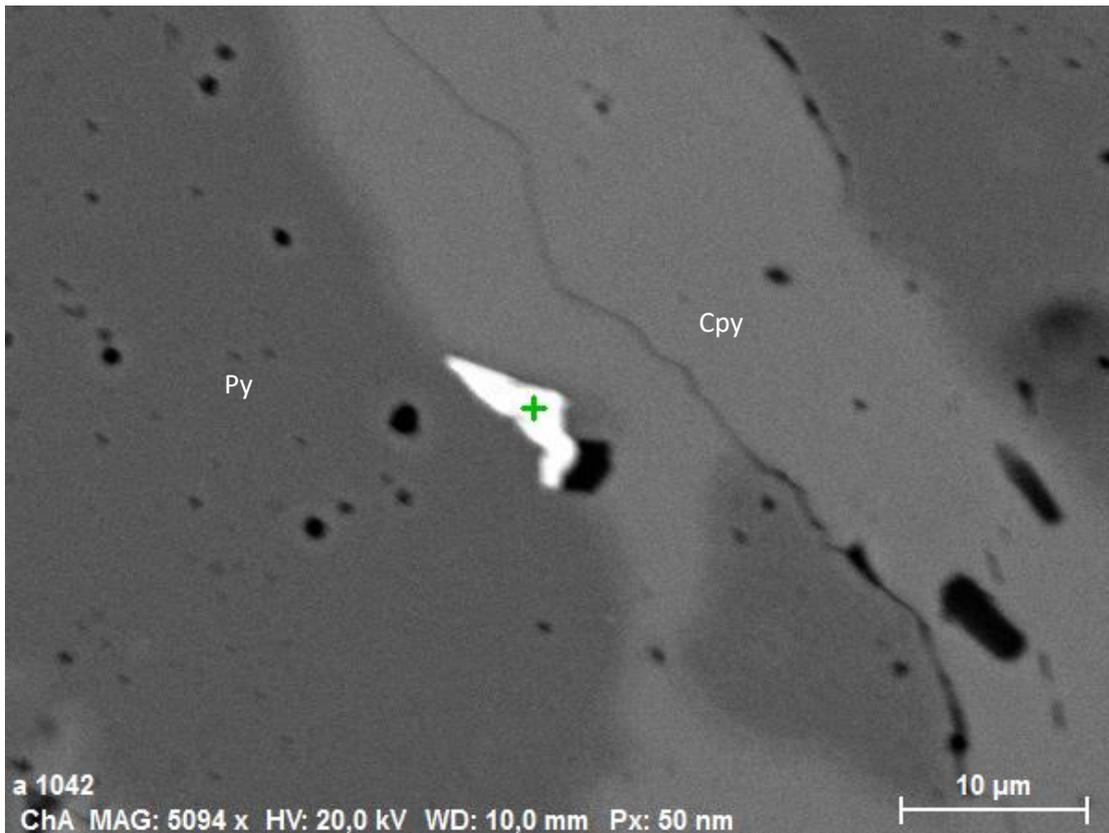


Abbildung 35: Testibiopalladit

Weiters können sie mit anderen Einschlüssen verwachsen sein, wie etwa mit Sperrylith. Um die Phasen zu unterscheiden, wurde ein Mapping mit dem EDX des REM durchgeführt. Diese Untersuchung ist in Abbildung 36 dargestellt.

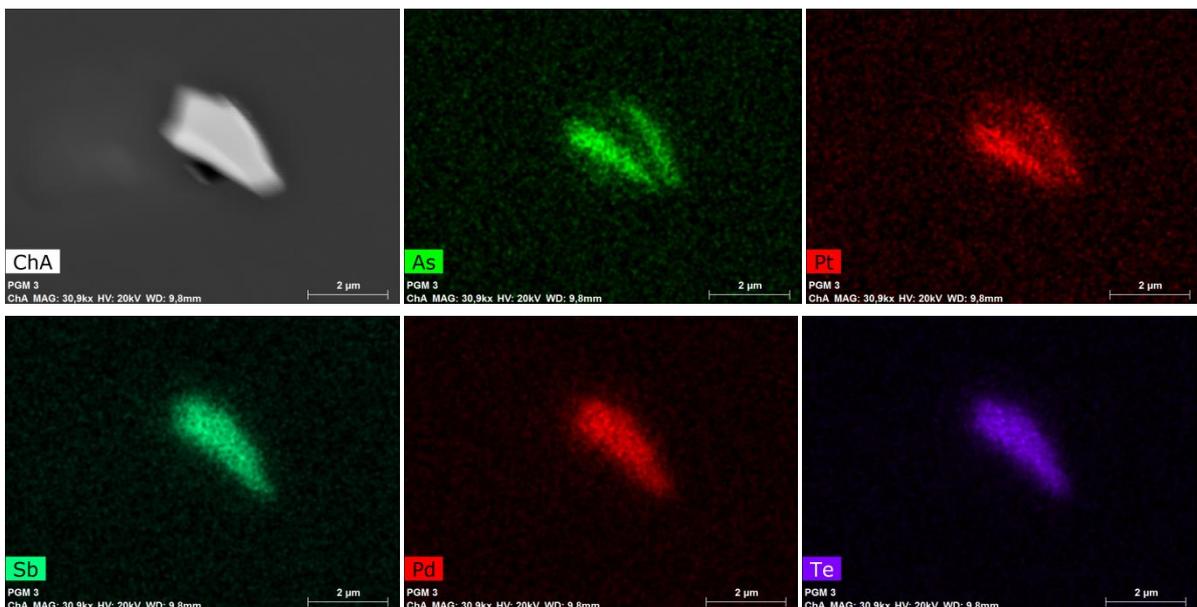


Abbildung 36: Mapping einer Sperrylith (außen)/Testibiopalladit (innen) - Verwachsung

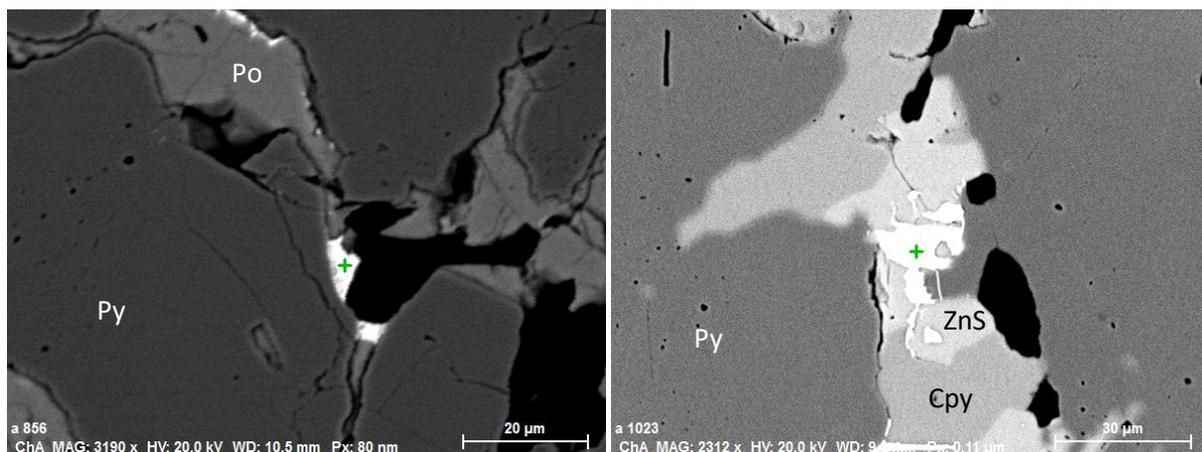
Hessit:

Hessit ist ein Silbertellurid ( $\text{Ag}_2\text{Te}$ ), welches relativ häufig in den vorliegenden Erzproben auftritt. Meist ist seine Form subhedral, die Größe variiert zwischen 1  $\mu\text{m}$  bis 20  $\mu\text{m}$ , wobei der Hauptanteil unter 5  $\mu\text{m}$  liegt. Wie bei den vorhergehenden Einschlüssen musste auch hier der Einfluss der Umgebung (Fe, S, Cu, Zn, Ni und As) aus den Messdaten rechnerisch entfernt werden. Insgesamt wurden 30 Hessite analysiert. Zusätzlich kann Co (3 mal), Cu (3 mal), Pd (3 mal), Pt (3 mal), Sb (3 mal) und Bi (4 mal) eingebaut werden. (Tabelle 17)

Schliff	At.% Pd	At.% Ag	At.% Sb	At.% Te	Empirische Formel
Haid-3	0,000	64,442	0,000	35,558	$\text{Ag}_{1,93}\text{Te}_{1,07}$
HB-9	0,000	66,828	0,000	33,172	$\text{Ag}_2\text{Te}$
P9	0,000	67,092	0,000	32,908	$\text{Ag}_{2,01}\text{Te}_{0,99}$
P25	0,000	67,097	0,000	32,903	$\text{Ag}_{2,01}\text{Te}_{0,99}$
P25	0,000	67,502	0,000	32,498	$\text{Ag}_{2,03}\text{Te}_{0,97}$

**Tabelle 17: Zusammensetzung verschiedener Hessite**

Hessit kommt in allen "Haupt"-Sulfiden sowie zwischen den Sulfidkörnern vor. Außerdem tritt er auch in Gersdorffit/Cobaltit oder verwachsen mit z.B. Merenskyit auf. In Abbildung 37 ist Hessit zwischen verschiedenen Sulfiden zu erkennen.



**Abbildung 37: Hessit**

Empressit:

Ein weiteres Ag-Tellurid, das in zwei Proben des Haidbachgrabens aufgefunden wurde, ist Empressit ( $\text{AgTe}$ ). Teilweise wird Pd eingebaut (Tabelle 18).

Schliff	At.% Pd	At.% Ag	At.% Te	Empirische Formel
HB-9	0,000	55,136	44,864	$\text{Ag}_{1,1}\text{Te}_{0,9}$
P25	12,986	37,234	49,780	$(\text{Pd}_{0,26}\text{Ag}_{0,75})_{1,01}\text{Te}_{0,99}$
HB-9	0,000	56,704	43,296	$\text{Ag}_{1,13}\text{Te}_{0,87}$

**Tabelle 18: Zusammensetzung verschiedener Empressite**

Elektrum:

Ein weiteres, eher seltener auftretendes, Ag-hältiges Mineral ist Elektrum (AuAg). Aufgrund der geringen Korngröße beeinflusst die Umgebung (Fe, S und Cu) die Messungen. Insgesamt wurden 3 Elektrum-Mineralen gemessen. Weitere Elemente werden nicht eingebaut. Bei Elektrum handelt es sich um eine natürliche Gold/Silber-Legierung, deren Idealformel 50 % Au und 50 % Ag enthält. Generell sollten aber zumindest 20 % Ag beinhalten sein. Wie Tabelle 19 zeigt ist es immer etwa 1/3 Ag und 2/3 Au.

Schliff	At.% Ag	At.% Au
P27	34,675	65,325
P27	29,189	70,811
P13	42,509	57,491

Tabelle 19: Zusammensetzung verschiedener Elektrum-Mineralen

Elektrum wurde in den vorliegenden Erzen nur in zwei Proben des Oberlaufs zwischen Pyriten bzw. in Chalkopyrit neben Pyrrhotin und Pyrit (Abbildung 38) aufgefunden.

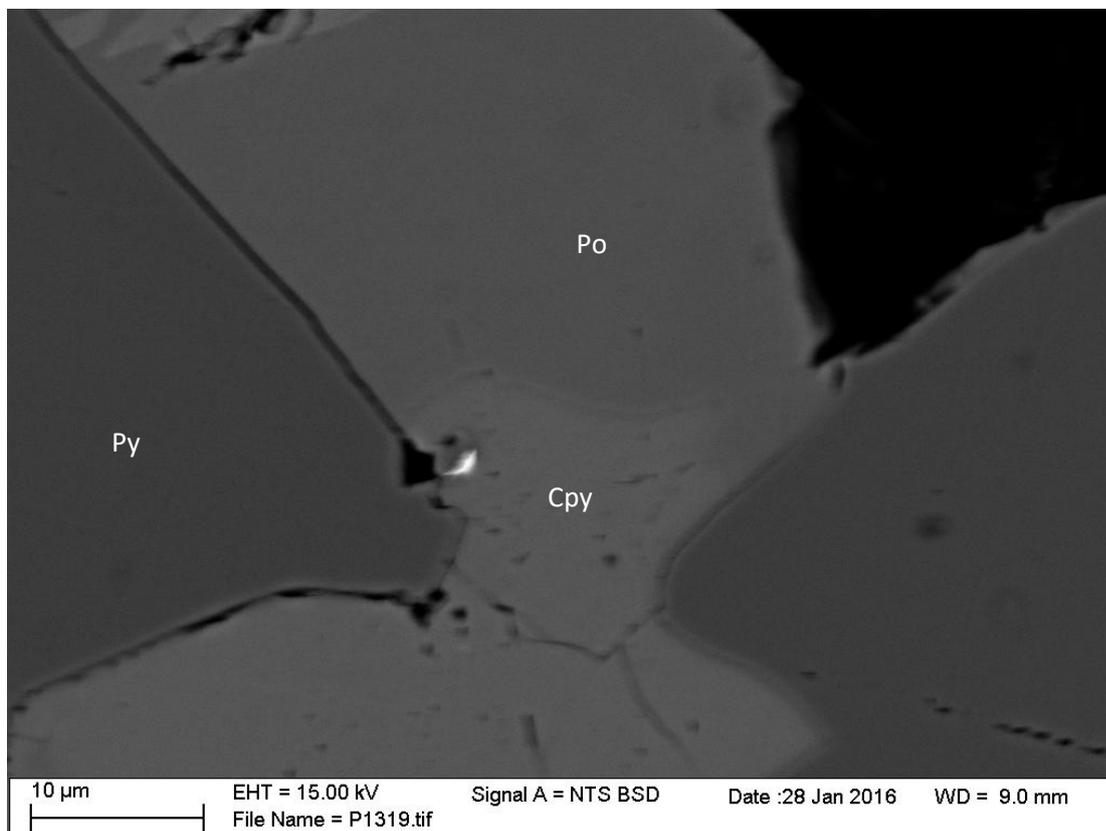


Abbildung 38: Elektrum in Chalkopyrit

Molybdänit:

Ein weiteres Einschlussmineral ist Molybdänit ( $\text{MoS}_2$ ), welcher sowohl anhedral als auch subhedral und euhedral auftritt. Die Größe variiert, wobei es sich meist um längliche Minerale mit geringer Breite handelt, etwa ein  $20,5 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$  langes Korn. Bei diesen Einschlüssen kann ebenfalls eine Beeinflussung der Messwerte durch die Umgebung (Fe, Cu und Teil von S) verzeichnet werden. Molybdänit scheint sonst nur etwas Fe einzubauen (Tabelle 20). Da Molybdän und Schwefel im EDX

sehr nahe beisammen liegen, wurden einige Molybdänite auch mit der Mikrosonde mit WDX gemessen, wobei das tatsächliche Auftreten von Mo bestätigt wurde. Diese Daten sind in Tabelle 21 ersichtlich.

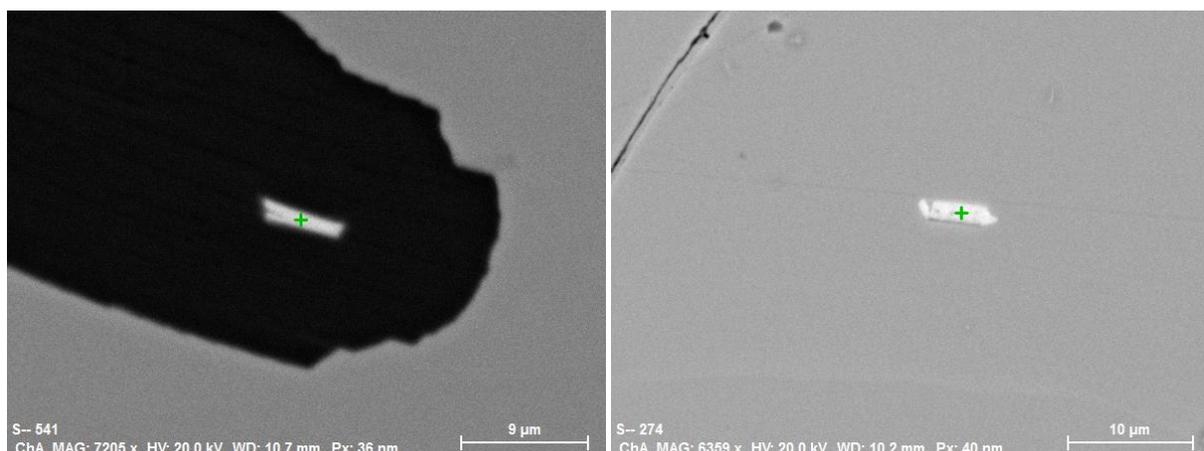
Schliff	At.% S	At.% Mo	
P25	66,982	33,018	MoS <sub>2</sub>
P25	66,061	33,939	MoS <sub>2</sub>
P27	67,358	32,642	MoS <sub>2</sub>
P13	68,949	31,051	MoS <sub>2</sub>

**Tabelle 20: Zusammensetzung verschiedener Molybdänite**

At.% S	At.% Mo
66,7609	33,2391
66,8456	33,1544
66,8136	33,1864

**Tabelle 21: Mikrosonden-Daten für Molybdänite in P25**

Molybdänit tritt in Sulfiden, vor allem in Pyrit (Abbildung 39 rechts) und Chalkopyrit, aber auch in Silikaten (Abbildung 39 links) bzw. zwischen Silikaten und Sulfiden auf.



**Abbildung 39: Molybdänit in Chlorit (links) und in Pyrit (rechts)**

### Rheniit:

Bei einem relativ häufig aufgefundenen Re-hältigen Einschlussmineral handelt es sich um Rheniit (ReS<sub>2</sub>). "Rhenium ist eines der seltensten Elemente in der Erdkruste (Clarke-Wert nach Vinogradov (1962) = 0.7 mg/t)" (Lavrov und Kuleshevich 2010). Rheniit wurde erstmals von Znamensky et al. (2005) beschrieben als er an den Fumarolen des Kudriavy-Vulkans (Russland) entdeckt wurde, und ist eines der wenigen bisher bekannten Re-Mineralen. CuReS<sub>2</sub> mit etwa 36-51% Re wurde in Kasachstan in Chalkosin-Erz gefunden, ReS<sub>2</sub> in Sublimaten des Usu Vulkans in Japan. Seither wurde er vor allem in Cu-Mo-Porphry Systemen aufgefunden (Lavrov und Kuleshevich 2010).

In den Gesteinen des Haidbachgrabens sind die Minerale so klein (meist unter 3 µm), dass sogar Analysen mit der Mikrosonde nicht verlässlich durchgeführt werden konnten. Allerdings wurde der erste Verdacht, dass es sich bei dem gemessenen Re (L $\alpha$ ) an dem EDX des REM um eine Linienüberlagerung mit Zn (K $\alpha$ ) handelt, durch WDX-Analysen an der Mikrosonde ausgeschlossen.

Das Mineral hat zusätzlich zu Re und S auch Cu eingebaut. Insgesamt wurden 27 Rheniite analysiert. Dabei wurden Ni (5 mal), Os (2 mal) und Spuren von Co (1 mal) gemessen. (Tabelle 22) Die gesamte Auswertung der Daten der Mikrosonde sind dem digitalen Anhang zu entnehmen, ein Teil der Tabelle 23.

Schliff	At.% S	At.% Ni	At.% Cu	At.% Re	At.% Os	Empirische Formel
P9	65,203	0,000	7,768	25,806	1,223	$(\text{Re}_{0,77}\text{Cu}_{0,23}\text{Os}_{0,04})_{1,04}\text{S}_{1,96}$
P9	62,326	2,214	2,045	28,624	0,000	$(\text{Re}_{0,86}\text{Cu}_{0,06}\text{Ni}_{0,07})_{0,99}(\text{S}_{1,87}\text{As}_{0,14})_{2,01}$
P13	66,528	0,000	8,264	25,208	0,000	$(\text{Re}_{0,76}\text{Cu}_{0,25})\text{S}_2$
P13	68,586	0,000	7,765	23,649	0,000	$(\text{Re}_{0,71}\text{Cu}_{0,23})_{0,94}\text{S}_{2,06}$
P25	63,565	0,000	8,577	27,858	0,000	$(\text{Re}_{0,84}\text{Cu}_{0,25})_{1,09}\text{S}_{1,91}$
P27	69,096	0,000	7,164	23,740	0,000	$(\text{Re}_{0,72}\text{Cu}_{0,21})\text{S}_{2,07}$

Tabelle 22: EDX-Daten verschiedener Rheniite

At.% S	At.% Re	At.% Cu
63,1344	21,626	15,2395
63,8459	20,5606	15,5934
63,2075	20,9175	15,875

Tabelle 23: Mikrosonden-Daten einiger Rheniite

Meist tritt Rheniit euhedral in Pyrit (Abbildung 40) oder auch in Amphibol auf.

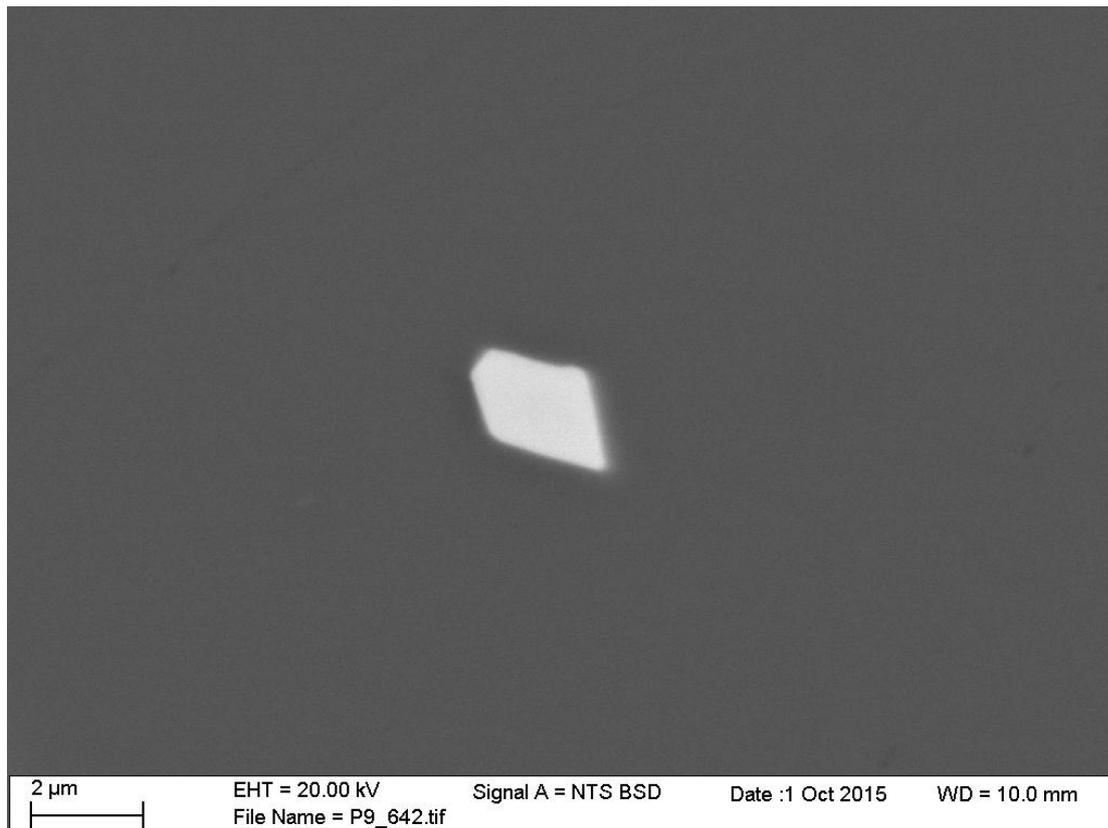


Abbildung 40: Rheniit in Pyrit

### Rhenium-Blei-Phase:

Zusätzlich zu Rhenit wurde in Probe P25 noch eine weitere Re-Phase gefunden. Diese hat etwa die Zusammensetzung  $\text{RePbS}_2$ . Auch diese Minerale sind so klein, dass sie bei EDX-Messungen weder am REM noch an der Mikrosonde klare Analysen bringen. Es kann nur bestätigt werden, dass wirklich Re und Pb enthalten sind (Abbildung 41).

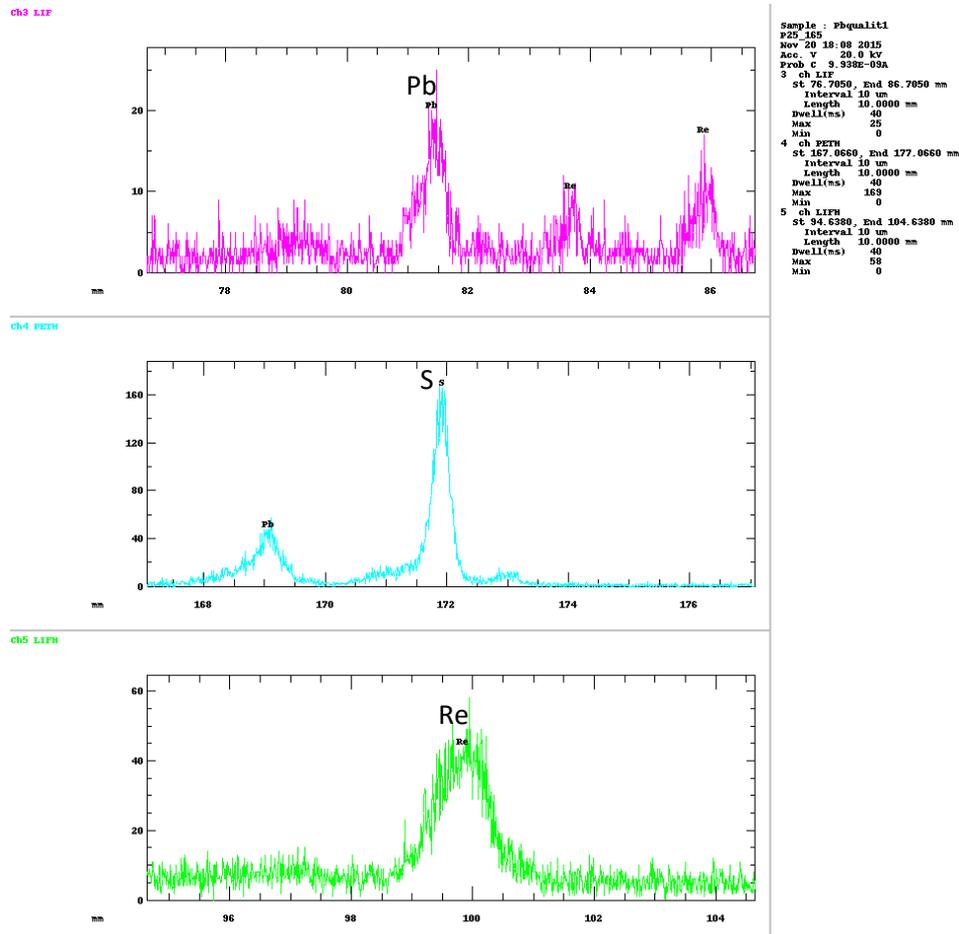


Abbildung 41: Messung an der Mikrosonde

Wie zuvor ist auch eine Beeinflussung durch die Umgebung gegeben (Fe, Ni und Cu). Zusätzlich kann noch etwa Fe, Sb, Zn und Hg eingebaut werden. (Tabelle 24)

At.% S	At.% Zn	At.% Sb	At.% Re	At.% Pb	Formel
69,224	0,864	1,311	14,546	14,054	$(\text{Pb}_{0,95}\text{Re}_{0,99}\text{Zn}_{0,06})\text{S}_2$
52,939	0,000	0,000	21,191	25,870	$(\text{Pb}_{1,1}\text{Re}_{0,9})\text{S}_2$
57,710	0,000	0,000	17,622	24,668	$(\text{Pb}_{1,17}\text{Re}_{0,83})\text{S}_2$
60,751	0,000	1,063	16,447	21,739	$(\text{Pb}_{1,14}\text{Re}_{0,86})(\text{S}_{1,97}\text{Sb}_{0,03})$

Tabelle 24: EDX-Daten verschiedener  $\text{RePbS}_2$ -Phase

Dieser Einschluss tritt hauptsächlich anhedral in Chalkopyrit und in Pyrit, sowie zwischen diesen beiden Sulfiden, und in Pentlandit auf. Abbildung 42 zeigt eine solche Phase in und am Rand von Chalkopyrit, neben diversen Silikaten (Titanit, Tremolit und Chlorit).

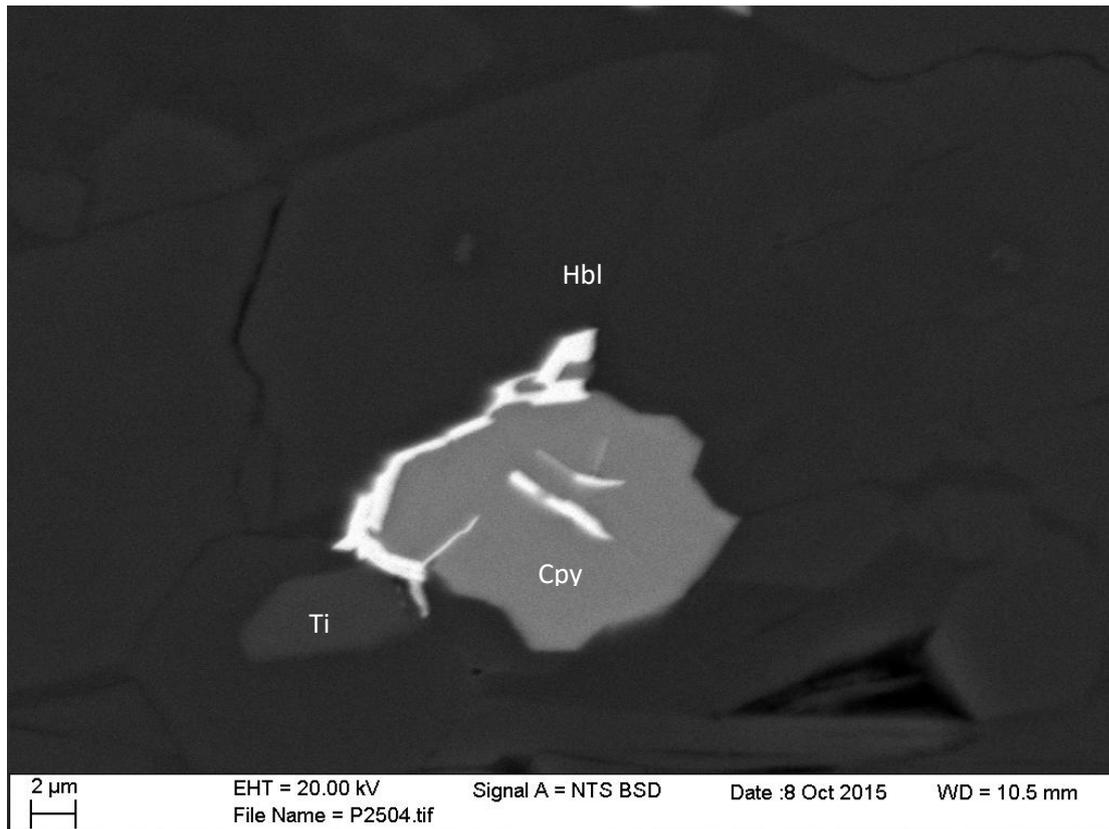


Abbildung 42:  $\text{RePbS}_2$ -Phase in Cpy zwischen Titanit (Ti) und Hornblende (Hbl)

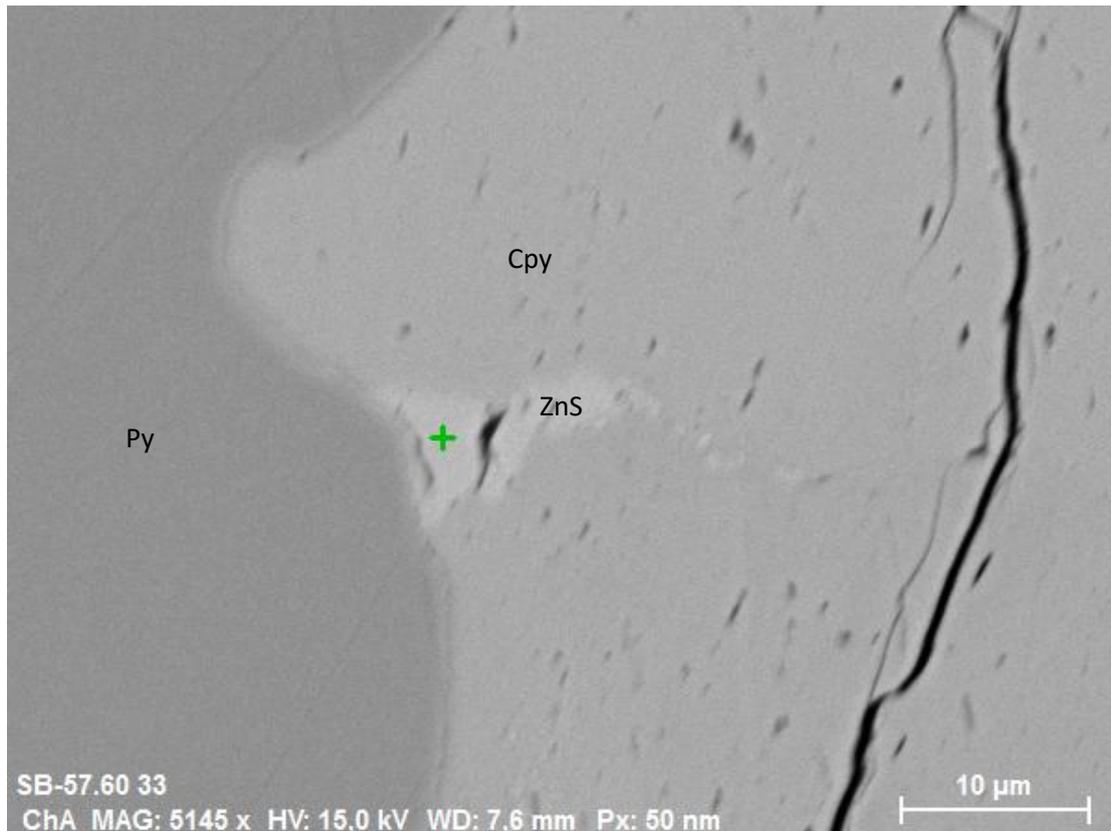
#### Sphalerit:

Immer wieder treten auch Sphalerite ( $\text{ZnS}$ ) auf. Diese sind meist anhedral oder subhedral. Ihre Größe beträgt gewöhnlich zwischen  $10\ \mu\text{m}$  und  $20\ \mu\text{m}$ . Insgesamt wurden 12 Sphalerite analysiert.  $\text{ZnS}$  baut häufig bis zu 7 At% Fe sowie einige andere Elemente - vor allem Cd, aber auch Cu und Bi mit ein (Tabelle 25). In dem Werk "An introduction to The Rock Forming Minerals" von Deer et al. (2009) sind diese Elemente - außer Pt - als möglicher Einbau in Sphalerit erwähnt.

Schliff	At.% S	At.% Fe	At.% Cu	At.% Zn	At.% Cd	At.% Bi	Empirische Formel
FM20b	46,707	6,966	0,653	44,495	0,294	0,801	$(\text{Zn}_{0,89}\text{Fe}_{0,14}\text{Cu}_{0,01}\text{Cd}_{0,01})_{1,05}(\text{S}_{0,93}\text{Bi}_{0,2})_{0,95}$
HB-9	47,659	6,467	0,683	44,582	0,610	0,000	$(\text{Zn}_{0,89}\text{Fe}_{0,13}\text{Cu}_{0,01}\text{Cd}_{0,01})_{1,04}\text{S}_{0,96}$
P3	49,029	5,453	0,000	44,412	1,106	0,000	$(\text{Zn}_{0,89}\text{Fe}_{0,13}\text{Cd}_{0,02})_{1,04}\text{S}_{0,98}$
P27	49,786	6,326	0,000	43,520	0,368	0,000	$(\text{Zn}_{0,87}\text{Fe}_{0,13}\text{Cd}_{0,01})_{1,01}\text{S}_{0,99}$
P13	49,314	6,001	0,000	43,904	0,781	0,000	$(\text{Zn}_{0,88}\text{Fe}_{0,11}\text{Cd}_{0,02})_{1,01}\text{S}_{0,99}$

Tabelle 25: Zusammensetzung verschiedener Sphalerite

Sphalerit tritt immer verwachsen mit bzw. zwischen anderen Sulfiden auf. Abbildung 43 zeigt einen mit Chalkopyrit verwachsenen Sphalerit neben Pyrit.



**Abbildung 43: Sphalerit verwachsen mit Chalkopyrit**

Galenit:

Es wurden auch einige Galenite (PbS) in den Erzproben gefunden. Diese treten sowohl anhedral, als auch subhedral und euhedral auf. Die Größe variiert zwischen 1 µm und 10 µm, bleibt aber meist unter 5 µm. Insgesamt wurden neun Pb-Phasen analysiert. Aufgrund der Feinkörnigkeit beeinflusst die Umgebung (Fe, Ni und Teil von S) die Messergebnisse.

Galenit tritt meist in Pyrit (Abbildung 44) oder Amphibol auf, kommt aber auch zwischen Sulfiden oder verwachsen mit Chalkopyrit vor.

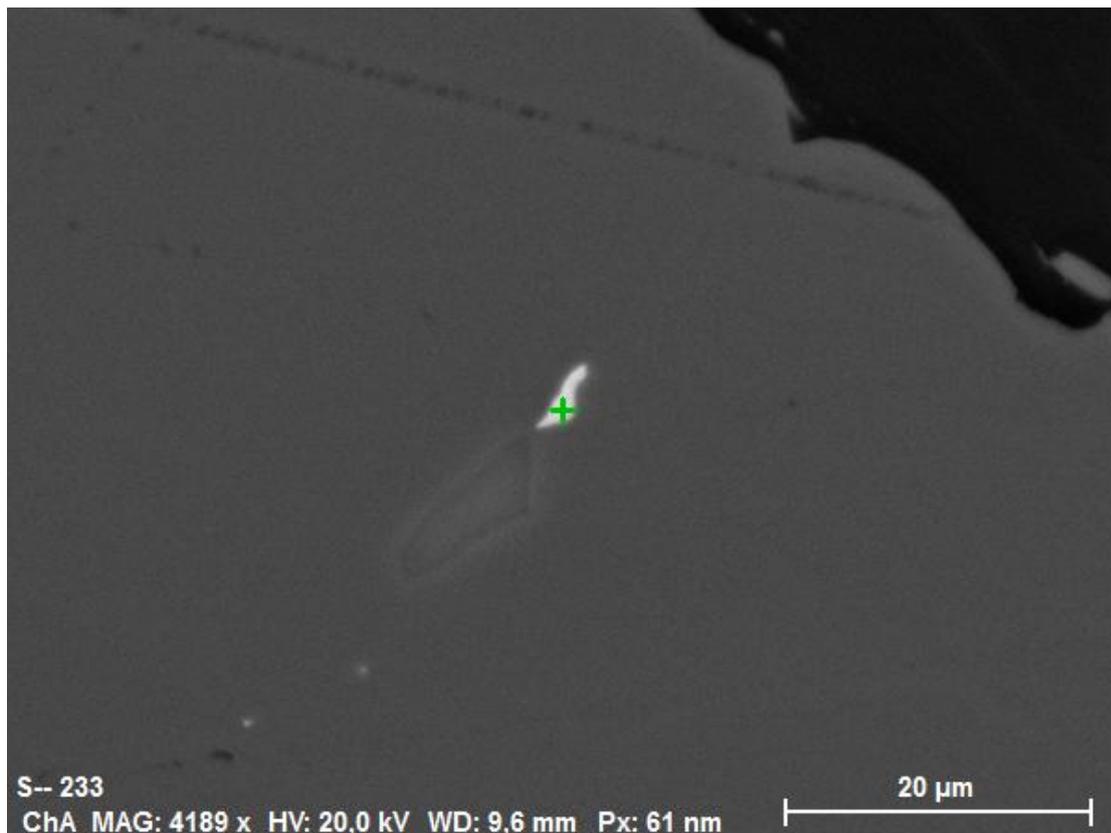


Abbildung 44: Galenit in Pyrit

Seltene und schlecht/nicht zuordenbare Einschlüsse:

Einige der aufgefundenen Phasen konnten aufgrund von zu ungenauen Analysen bzw. aufgrund ihrer Zusammensetzung, welche keinem bekannten Mineral entspricht, nicht zugeordnet werden. Aus diesem Grund sind sie in einer eigenen Tabelle im digitalen Anhang aufgelistet. Beispiele sind in Tabelle 26 ersichtlich.

Schliff	At.% S	At.% Fe	At.% Ni	At.% Cu	At.% Pd	At.% Ag	At.% Sb	At.% Te	At.% Pt	At.% Bi	Mögliche Formel
Haid-3	50,138	35,282	0,000	14,580	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> Cubanit
P25	19,036	9,238	23,875	3,255	2,800	0,000	12,746	29,049	0,000	0,000	Ni <sub>2</sub> SbTe <sub>2</sub> Vavřínit
P27	0,000	0,000	0,000	0,000	70,631	0,000	5,112	19,250	0,000	5,008	Pd <sub>3</sub> Te
Haid-3	0,000	0,000	0,000	0,000	6,277	30,295	0,000	61,814	1,614	0,000	AgTe <sub>2</sub> ?
Haid-3	0,000	0,000	0,000	0,000	20,774	12,347	0,000	66,879	0,000	0,000	AgTe <sub>2</sub> ?

Tabelle 26: Einige der nicht zugeordneten/unsicheren Minerale

### 6.3.3 Schmelztröpfchen

Zusätzlich wurden rundliche Strukturen in Pyrit in den Erzproben aufgefunden. Diese sind keine einzelnen Minerale sondern zum Großteil aus Pyrrhotin aufgebaut. In den meisten dieser Phasen bildet Pentlandit den restlichen Teil. Manchmal kommt als dritter Bestandteil Chalkopyrit vor. In Abbildung 45 und Abbildung 46 kann eine solche Struktur erkannt werden.

Dabei handelt es sich um Schmelztröpfchen, welche beim Abkühlen einer magmatischen Fe-Ni-Cu-S-reichen Schmelze entstehen. Sogenannte Monosulfide Solutions (mss) kristallisieren unter 1100°C aus, wobei Ni in die Tröpfchen eingebaut wird. Die verbleibende Schmelze ist demnach angereichert an Ni, und angereichert an Cu. Durch weitere Abkühlung unter 610°C wird Pentlandit aus der mss ausgefällt. Das verbleibende Cu wird entweder in Pentlandit eingebaut oder kristallisiert als Chalkopyrit aus (Stone et al. 1989). In den vererzten Gesteinen des Haidbachgrabens treten sowohl 3-phasige (Pyrrhotin, Pentlandit und Chalkopyrit) als auch 2-phasige (Pyrrhotin und Pentlandit) Schmelztröpfchen auf.

Insgesamt wurden die Phasen von zehn Schmelztröpfchen analysiert. Diese Daten befinden sich im digitalen Anhang.

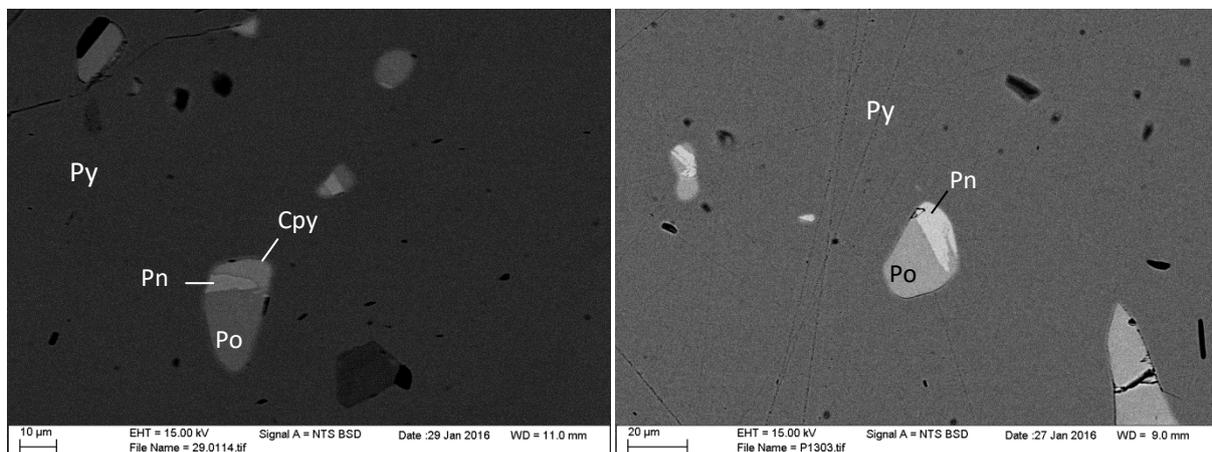


Abbildung 45: Schmelztröpfchen in Pyrit; links: alle 3 Phasen, rechts: Pyrrhotin und Pentlandit

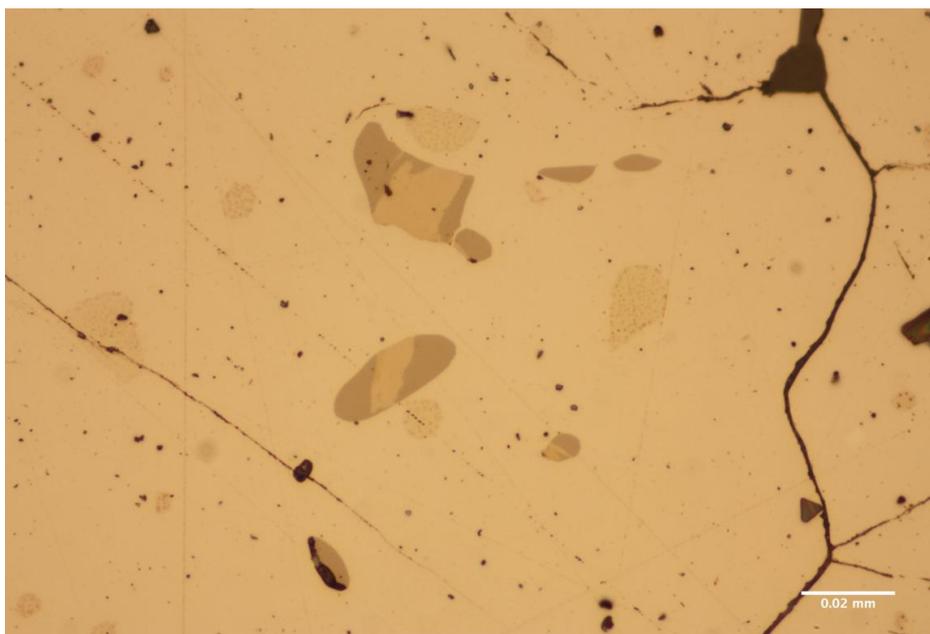


Abbildung 46: Schmelztröpfchen unter Auflicht, Probe P13

#### **6.4 Amphibolschiefer**

Hauptbestandteile dieses Gesteins sind Amphibol, Chlorit und Epidot. Desweiteren treten Quarz, Albit und untergeordnet auch Karbonate auf. Weiters kann Plagioklas akzessorisch bzw. teilweise saussuritisiert erkannt werden. Karbonat tritt v.a. in Gängen auf.

Das Gestein ist deutlich eingeregelt und feinkörnig.

#### **6.5 Nebengesteine außerhalb des Stollens**

Bei den Nebengesteinen, welche entlang der Forststraße nach Nordosten Richtung Guggenastl genommen wurden, handelt es sich nahe dem Stollen um Chloritschiefer mit Epidot und untergeordnet Amphibolen und Zoisit.

P17 besitzt eine feinkörnige Matrix, die jedoch auch größere Amphibole enthält. Das Gefüge ist nicht eingeregelt. Die Hauptgemengteile sind Chlorit, Epidot, Albit/Quarz sowie Amphibol. Untergeordnet tritt auch Zoisit auf.

Weiter entfernt bzw. bei der kleinen Almhütte "Guggenastl" befinden sich Metagabbros (P18) und feinkörniger Amphibolit (P19), der möglicherweise einen Pillow-Basalt repräsentiert. Der Metagabbro ist relativ grobkörnig und besteht aus Amphibol, Chlorit, Epidot und Albit/Quarz sowie untergeordnet Zoisit. Der feinkörnige Amphibolit enthält ebenfalls neben Amphibol Chlorit und Epidot, sowie Plagioklas und saussuritisierten Plagioklas.

Die Probe HB-27 stammt aus dem Bereich des Baches oberhalb des Stolleneingangs und besteht aus Chlorit-Schiefer. Außer Chlorit tritt Quarz/Albit sowie Zoisit und untergeordnet Epidot auf.

## 7. Geochemie

Durch RFA, ICP-MS und Actlabs Analysen bestehen Datensätze für 21 Proben. Davon sind zehn aus vererzten Zonen, sechs Nebengesteine im Stollen - im Folgenden als "unvererzt" bezeichnet - und vier Nebengesteine von außerhalb des Stollens.

### 7.1 Korrelation

Wie untenstehende Diagramme (Abbildung 47) zeigen, korrelieren die Daten für die Spurenelemente von Actlabs und der ICP-MS gut ( $R^2 = 0,95-1$ ). Aus diesem Grund wurde für die Darstellung der chemischen Daten eine Tabelle erstellt, in der die Spurenelemente aus der ICP-MS bzw. teilweise von Actlabs übernommen wurden. Diese Tabelle befindet sich im Anhang VI, ebenso eine Tabelle mit den Ergebnissen aller chemischen Analysen (Anhang III).

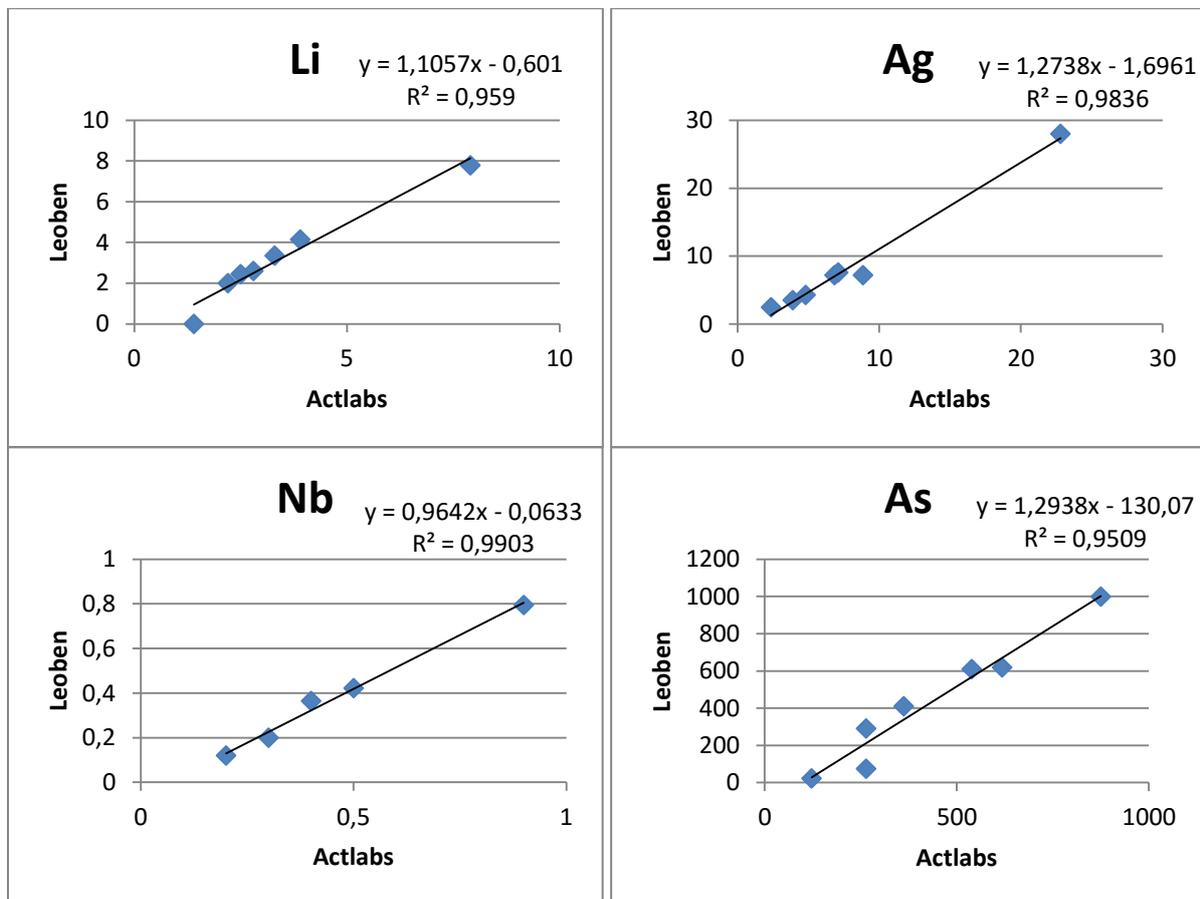


Abbildung 47: Korrelation der Messergebnisse vom Lehrstuhl für Allgemeine und Analytische Chemie der Montanuniversität Leoben und der Actlabs, Kanada

Die Messergebnisse der ICP-MS und der RFA (Spectroscout) korrelieren für die Spurenelemente ebenfalls ganz gut (Abbildung 48), während die Hauptelemente größere Unterschiede aufweisen (Abbildung 49). Die ICP-MS ist aber prinzipiell für die Analyse von Spurenelementen ausgelegt. Daher wurden für die weitere Auswertung die Hauptelement-Daten der RFA verwendet.

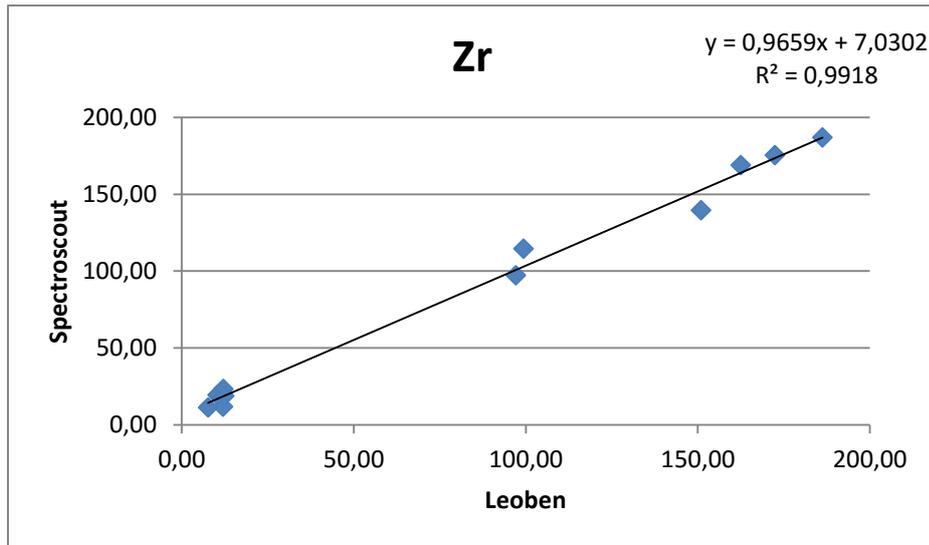


Abbildung 48: Korrelation der Leobener ICP-MS und der RFA (Spectroscout) Daten der Spurenelemente

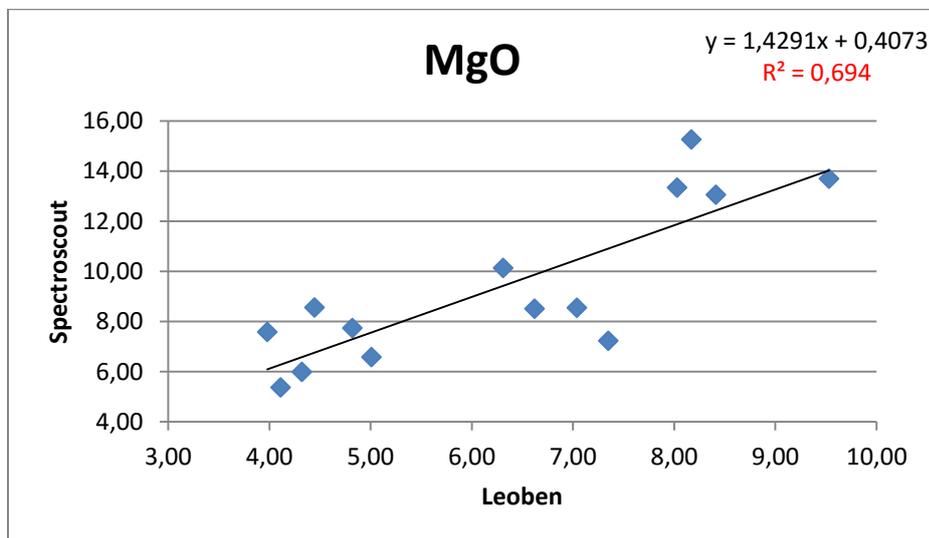


Abbildung 49: Korrelation der Leobener ICP-MS und der RFA (Spectroscout) Daten der Hauptelemente

## 7.2 Auswertung

Da vor allem in den vererzten Zonen ein hoher Fe- und S-Gehalt verzeichnet wird, wurden die Daten auf Basis des S-, Ni-, Cu- und Fe-Gehaltes korrigiert. Dabei wurde davon ausgegangen, dass der gesamte Schwefel, das Kupfer und Nickel in den Sulfiden steckt. Pentlandit und Chalkopyrit haben etwa gleich viel Metallanteil, wie Schwefelanteil. Demnach wurde - in Atomprozent umgerechnet - die Summe aus Ni + Cu von S abgezogen. Äquivalent zum restlichen S wurde Eisen mit einem Faktor von 0,75, da Fe sowohl in Pyrit (Fe:S = 1:2) als auch in Pyrrhotin und Chalkopyrit (1:1) auftritt, abgezogen. Der neue Fe-Wert wurde in Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> umgerechnet. Darauf wurden die Oxide erneut auf 100 % normiert.

Ohne Korrektur zeigen sich deutliche Gruppierungen: die vererzte Zone mit einem deutliche höheren Fe-, aber niedrigen V-Gehalt; die unvererzte Zone mit wenig Fe und V-Gehalten um 200 ppm; und die Nebengesteine außerhalb des Stollens, welche etwas höhere Fe- und deutlich höhere V-Gehalte aufweisen. (Abbildung 50) Zugleich zeigt die Korrektur, dass die meisten der neuen Fe-Daten nahezu

auf einer Trendlinie mit den unvererzten bzw. den Nebengesteinen liegt. Dies deutet auf eine ähnliche Bildung aller Gesteinsgruppen hin.

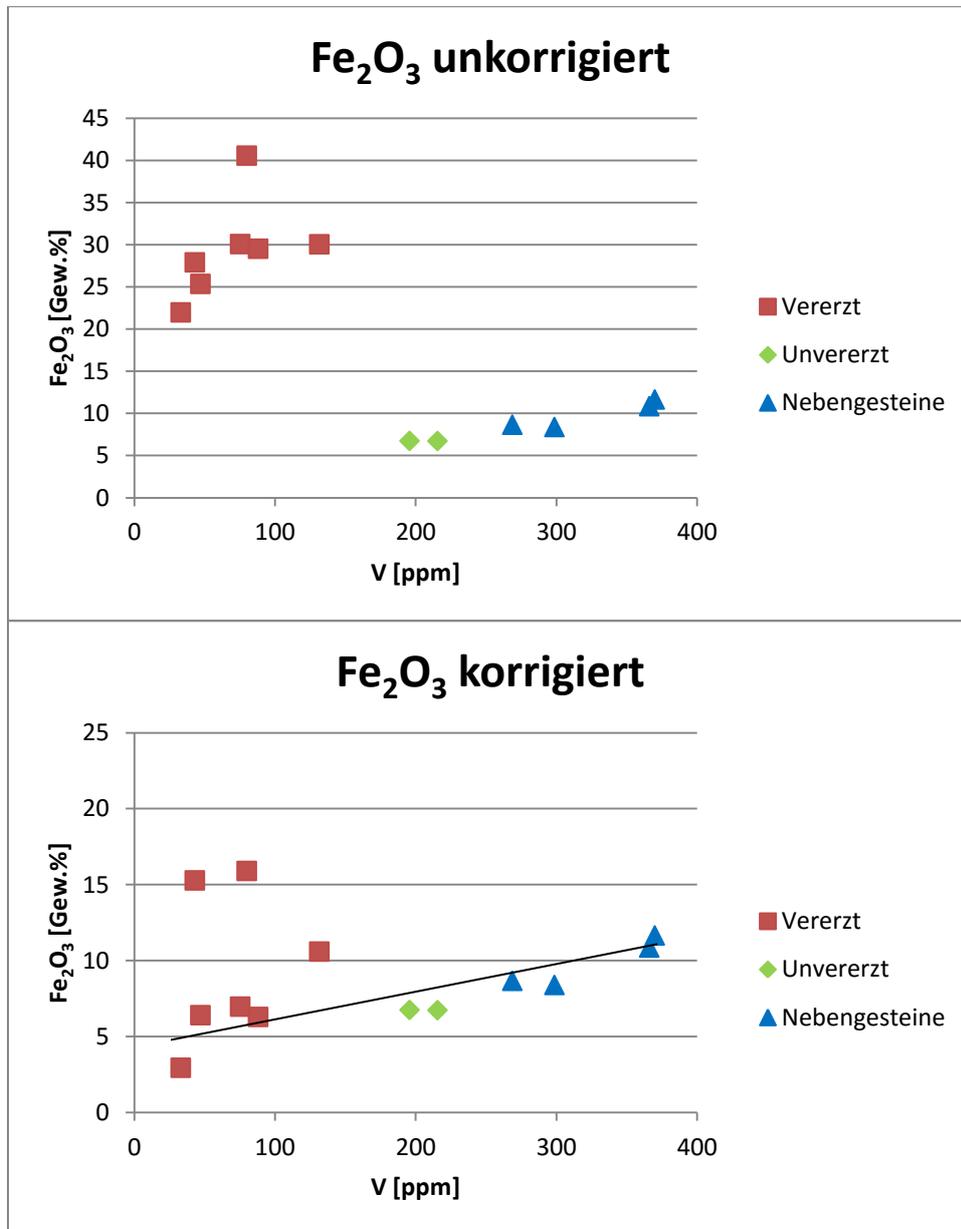
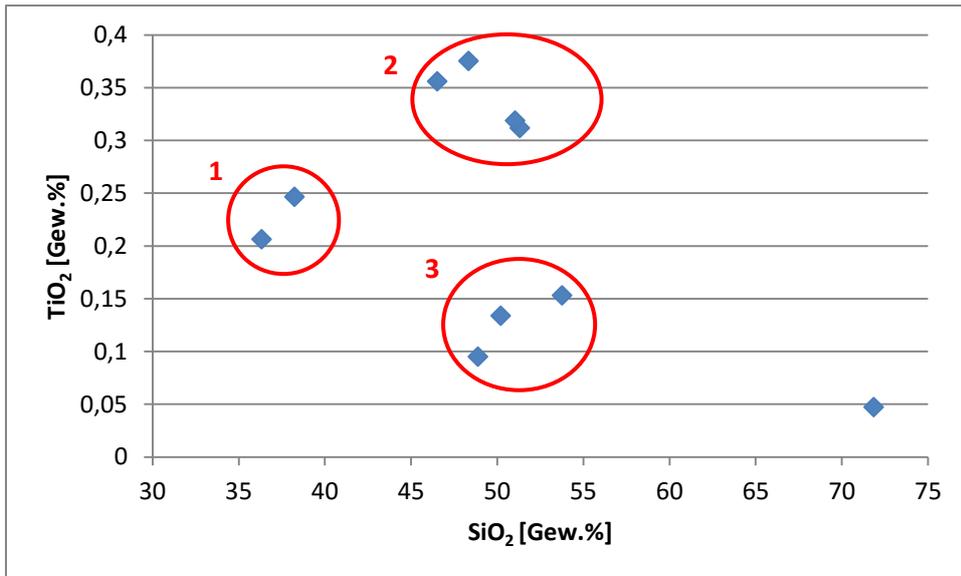


Abbildung 50: Unkorrigierte und korrigierte Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Werte gegen V

Bei den korrigierten Daten ist eine Gruppierung der Erze bezüglich ihres TiO<sub>2</sub>-Gehalts zu erkennen. (Abbildung 51) Die rot umrandeten Gruppen setzen sich wie folgt zusammen:

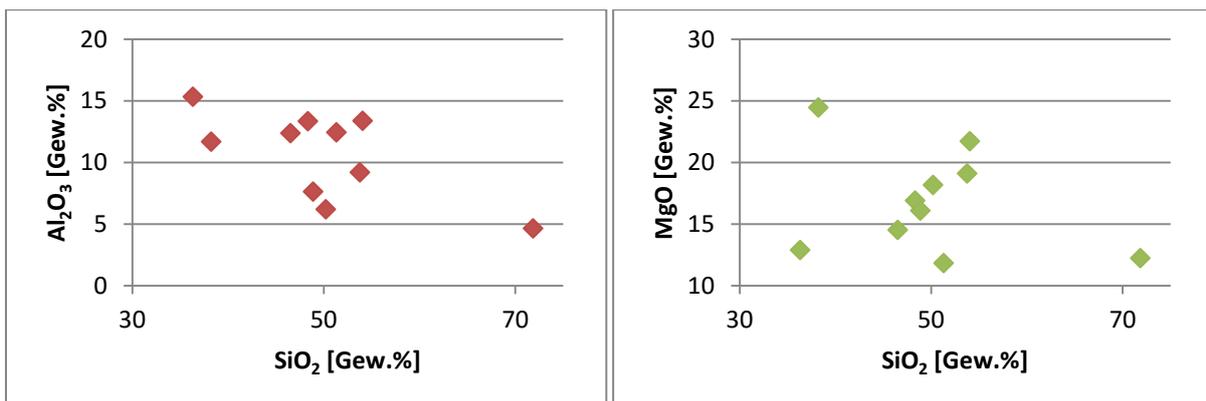
1. Erythrinproben P3 und HAID-4
2. HB-3, P9, P13 und P27
3. HB-9, HAID-1 und HAID-2

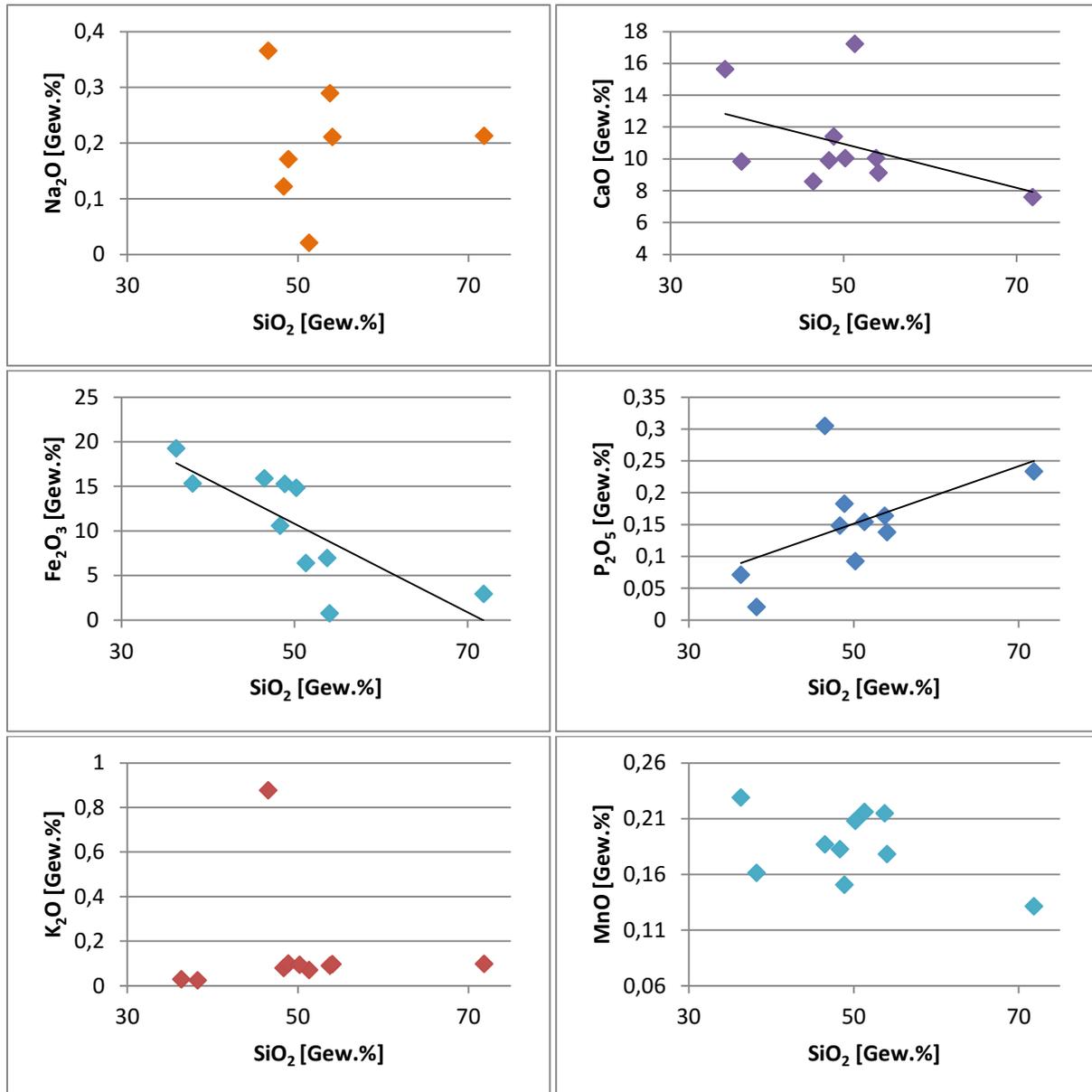
Abbildung 51: TiO<sub>2</sub> gegen SiO<sub>2</sub> der Erzproben

HAID-3 ist ein Ausreißer, der wahrscheinlich aufgrund der Korrektur im SiO<sub>2</sub>-Gehalt überschätzt wurde. Daher sind die anderen Oxide etwas unterschätzt.

In Abbildung 52 sind die korrigierten Hauptelement-Daten der Erzproben gegen SiO<sub>2</sub> aufgetragen. Es ist ein deutlicher Negativtrend des Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalts zu erkennen. Dieser ist aber von der Korrektur abhängig und kann daher nicht als eindeutig angesehen werden.

Bei dem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- und auch dem CaO-Gehalt kann ebenfalls ein leichter Negativtrend beobachtet werden. Die MgO- und MnO Werte streuen ziemlich und zeigen keinen deutlichen Trend. Die Na<sub>2</sub>O-Gehalte sind generell sehr niedrig. Bei manchen Proben sind sie so gering, dass sie bei RFA-Messungen unter der Nachweisgrenze liegen. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> zeigt einen deutlichen Aufwärtstrend mit steigendem SiO<sub>2</sub>-Gehalt, K<sub>2</sub>O ist außer in einer Probe (P9) generell niedrig.



Abbildung 52: Korrigierte Daten der Erzproben gegen SiO<sub>2</sub> aufgetragen

In Tabelle 27 sind die Pt-, Pd-, Au- und Re-Gehalte der Erzproben ersichtlich.

		HB-3	HB-9	P3	P9	P13	P27	HAID-1	HAID-3
Pt	ppb	365	239	<1400	1010	149	258	510	535
Pd	ppb	205	949	<500	864	166	2470	1110	1010
Au	ppb	205	59		122	62	172	356	105
Re	ppm	0,088	0,20		0,27	0,23	0,192	0,134	0,075

Tabelle 27: PGE und PGE+Au-Gehalte der Erzproben des Haidbachgrabens

Abbildung 53 und Abbildung 54 zeigen die Korrelationen der Spurenelemente As, Te, Sb, Bi und Se mit Pd und Pt. Bi und Sb zeigen keinen deutlichen Trend mit steigenden Pt- oder Pd-Gehalten. As zeigt außer bei einem Ausreißer (P27) einen negativen Trend mit steigendem Pd. Für Pt wäre aufgrund des Sperryoliths (PtAs<sub>2</sub>) als Hauptträger von Pt ein positiver Trend zu erwarten. Da As aber zu einem größeren Teil in Sulfarseniden auftritt, ist der As-Gehalt in den Proben in erster Linie von der

Menge an Sulfarseniden abhängig. Te zeigt für beide Elemente einen Aufwärtstrend. Besonders auffällig ist der erhöhter Se-Gehalt bei einem steigenden Pt-Gehalt.

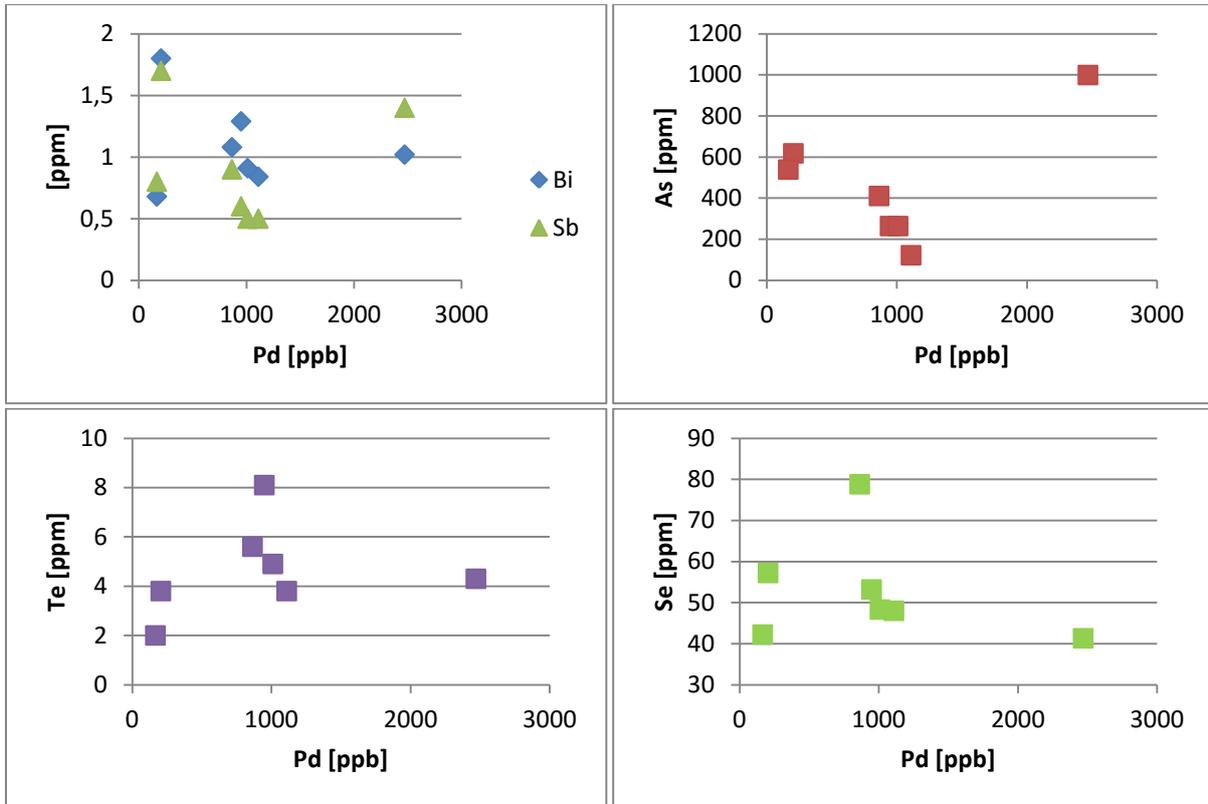


Abbildung 53: Korrelation von Bi, Sb, Te, As und Se mit Pd

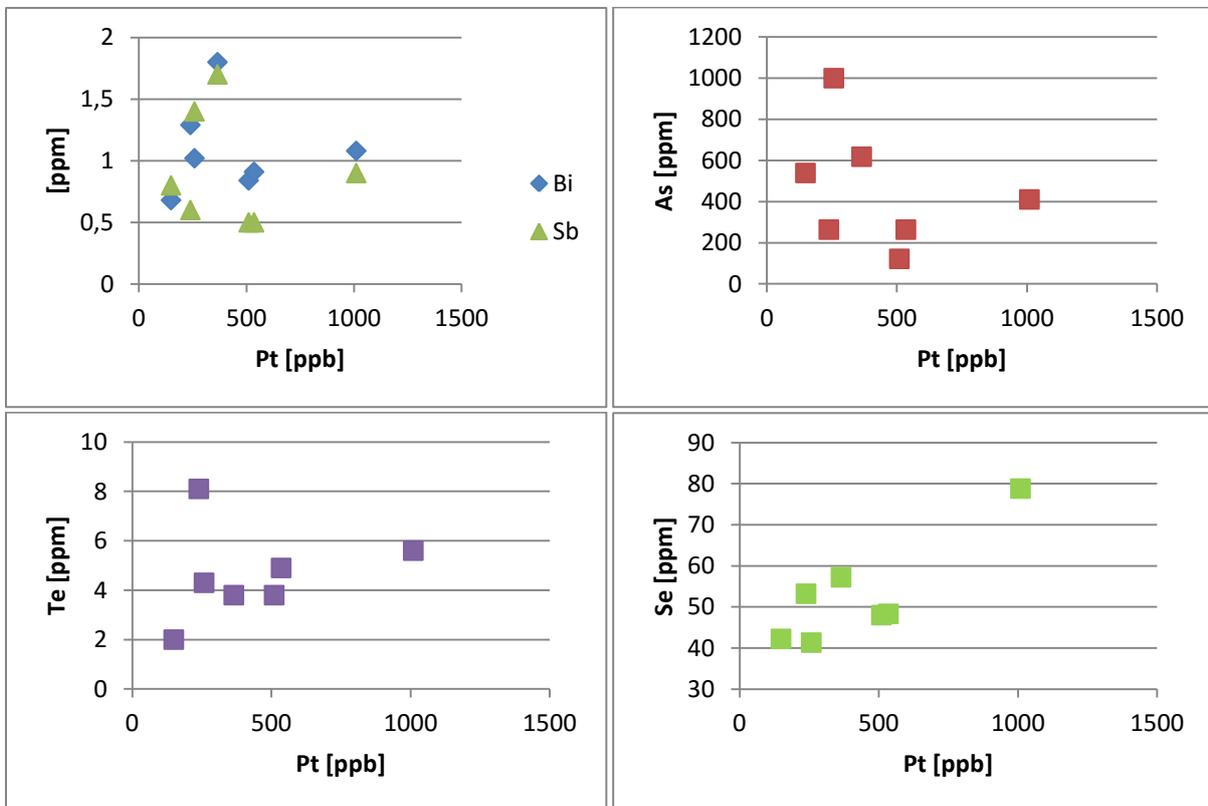
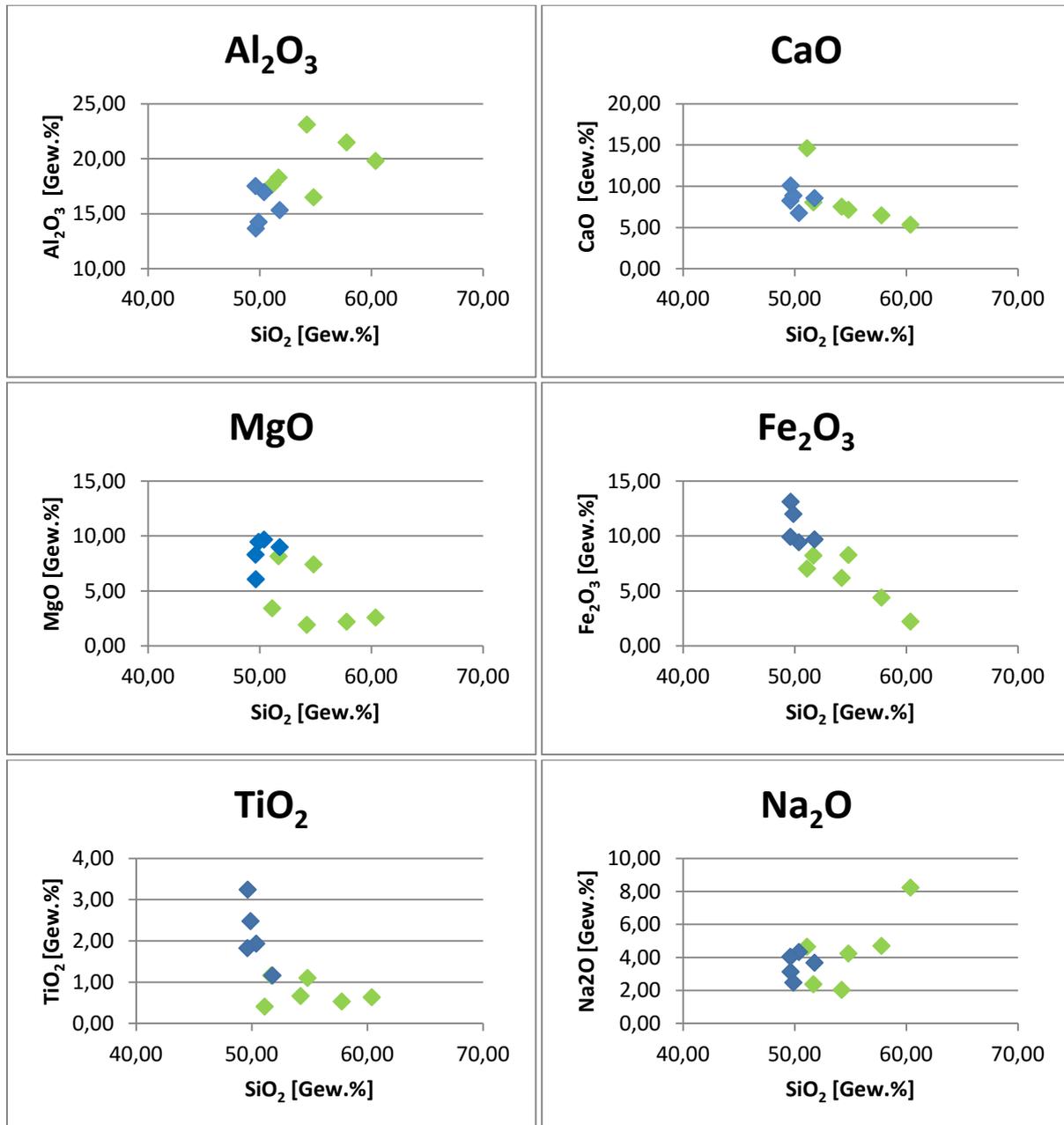


Abbildung 54: Korrelation von Bi, Sb, Te, As und Se mit Pt

Bei den Nebengesteinen im Stollen (grün) sowie jenen außerhalb (blau) sind deutliche Trends zu erkennen (Abbildung 55). Diese deuten vor allem auch darauf hin, dass sie selben Ursprungs sind. Auch bei den mobilen (Abbildung 56) und den immobilen (Abbildung 57) Spurenelementen ist dies zu erkennen. Die Werte von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Sr}$  und  $\text{Ba}$  streuen im Stollen, was an der dort erfolgten Alteration liegen kann bzw. im Fall von  $\text{Ba}$  daran, dass es ein eher mobiles Element ist.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ba}$  und  $\text{Nb}$  zeigen deutliche Aufwärtstrends. Bei den restlichen Elementen sind (steile) Negativtrends zu erkennen.



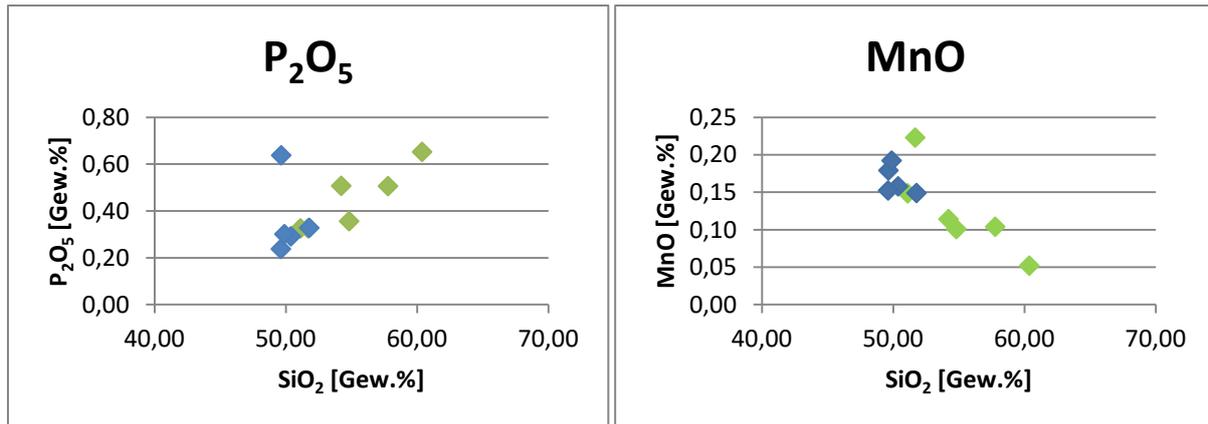


Abbildung 55: Hauptelemente der Nebengesteine; grün: im Stollen, blau: außerhalb

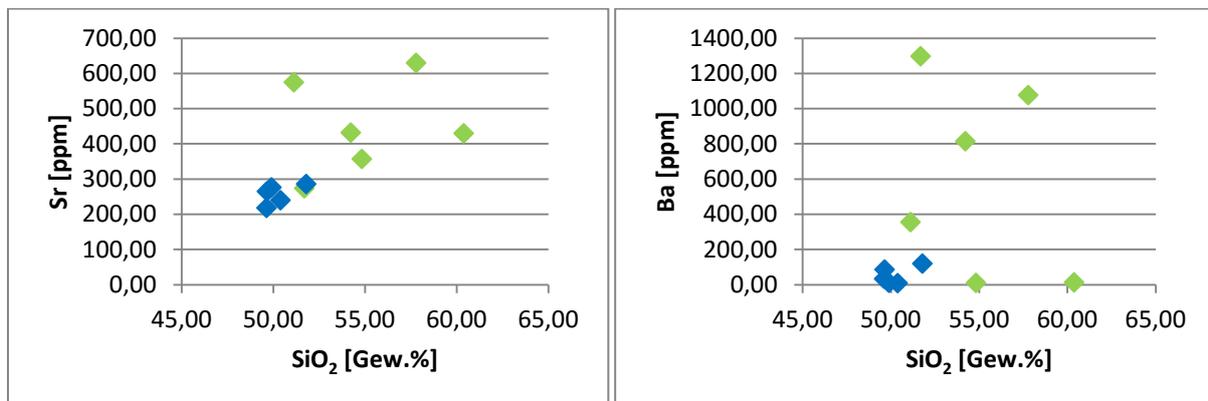


Abbildung 56: Mobile Spurenelemente Sr und Ba der Nebengesteine; grün: im Stollen, blau: außerhalb

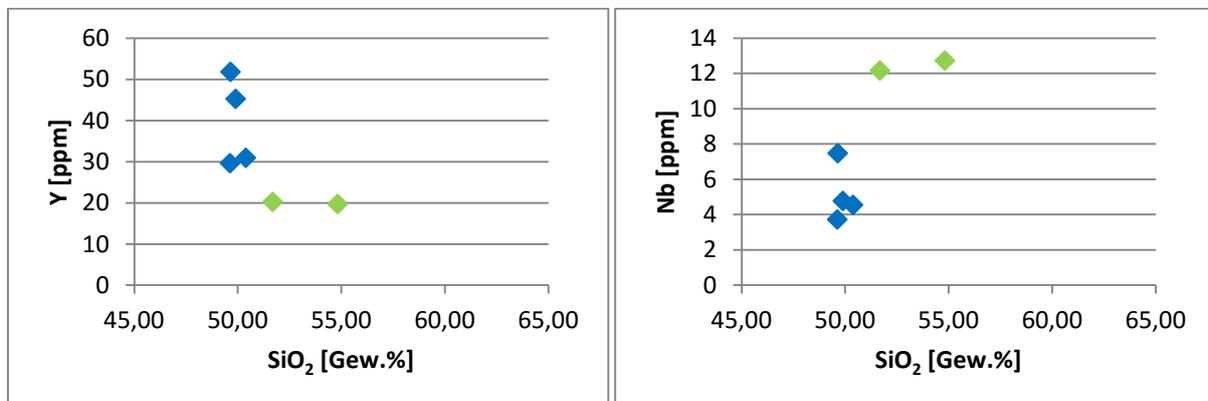


Abbildung 57: Immobiler Spurenelemente Y und Nb der Nebengesteine; grün: im Stollen, blau: außerhalb

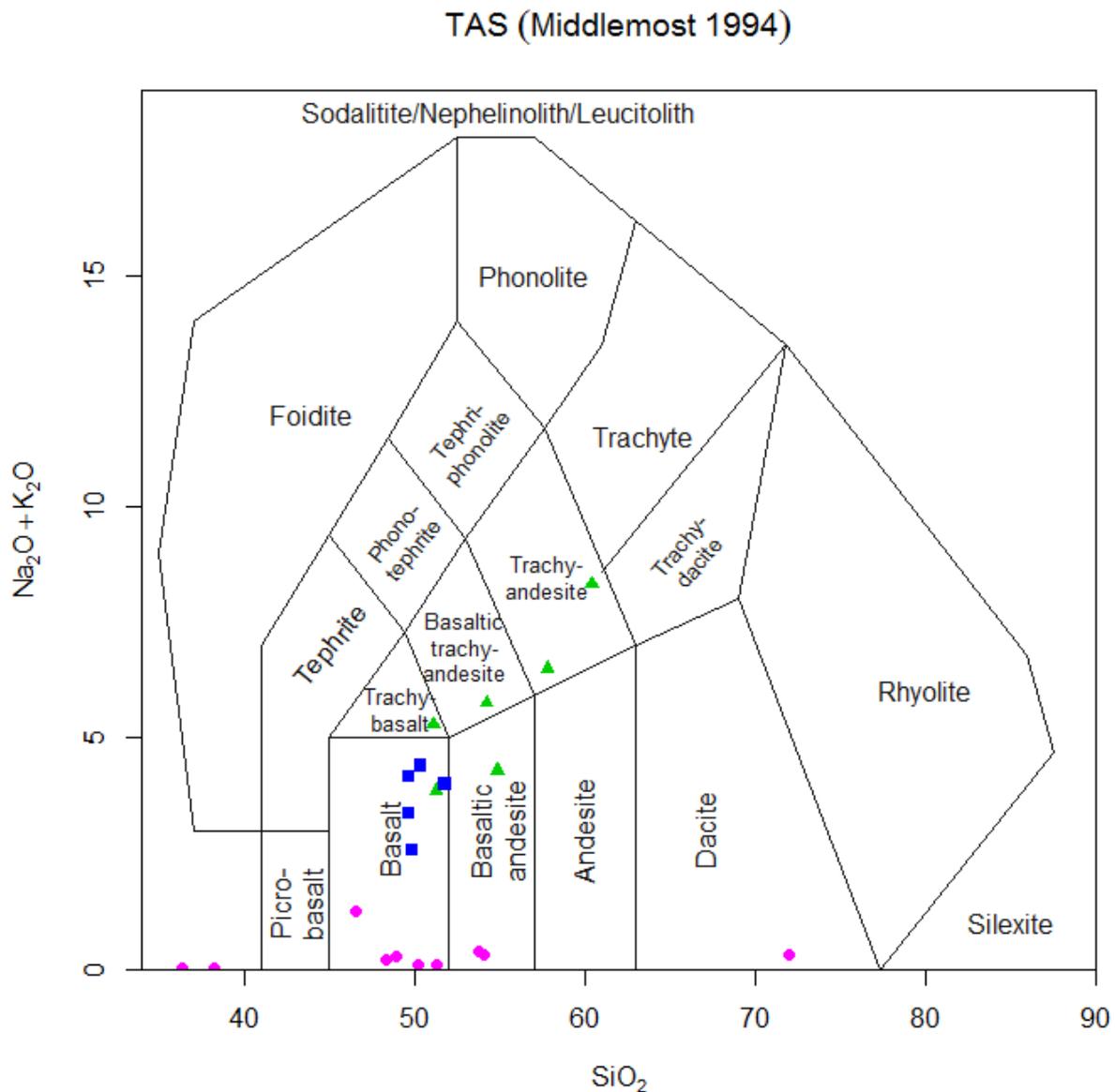
### 7.3 Geochemische Gesteinsklassifizierung

Bei den im Arbeitsgebiet vorkommenden Gesteinen handelt es sich meist um basische Gesteine. Nur die Epidot-Chlorit-Albitgneise liegen mit  $\text{SiO}_2$ -Gehalten von 57,8 % bzw. 60,4 % im intermediären Bereich. Mit  $\text{SiO}_2$ -Gehalten von <40 % fallen die beiden Erythrin-reichen Proben P3 und HAID-4 in den ultrabasischen Bereich. HAID-4 hat auch einen deutlich höheren Cr-,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - (korrigiert), sowie einen niedrigeren  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Gehalt.

Eine klassische Diskriminierung magmatischer Gesteine kann über das sogenannte TAS-Diagramm (Total Alkalis versus Silica) nach Middlemost (1994) getroffen werden. In diesem Diagramm bildet

$\text{SiO}_2$  die x-Achse gegen welche  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  aufgetragen wird. Im linken, oberen Bereich liegen die alkalischen Gesteine, während sich eher tiefer und rechts die subalkalischen Gesteine befinden.

Für die Gesteine des Haidbachgrabens ergibt sich dabei eine Einteilung wie in Abbildung 58 ersichtlich. In Violett sind die Erzproben dargestellt, die Proben der Nebengesteine im Stollen in Grün und die Nebengesteine von außerhalb des Stollens in Blau. Dieses Diagramm sowie die folgenden wurden im GCDkit des Statistikprogramms R erstellt.



**Abbildung 58: TAS-Diagramm der Gesteine des Haidbachgrabens nach Middlemost (1994), violette: Erz, grün: unverzt, blau: Nebengesteine**

Es ist zu erkennen, dass die meisten Erzproben in den Bereich der Basalte bzw. basaltischen Andesite bzw. ihr plutonisches Äquivalent fallen.  $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{K}_2\text{O}$  können leicht mobilisiert werden. Aufgrund der starken Alteration der vererzten Gesteine kann angenommen werden, dass diese ursprünglich einen höheren  $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{K}_2\text{O}$ -Gehalt ähnlich wie die Nebengesteine hatten. Die Nebengesteine innerhalb des Stollens lassen sich in diesem Diagramm nicht gut darstellen, da sie sehr streuen. Bei

den beiden Trachyandesiten handelt es sich allerdings um die zwei Proben der Epidot-Chlorit-Albitgneise. Die Nebengesteine von außerhalb des Stollens zeigen Basaltischen Charakter.

#### 7.4 Geotektonisches Setting

Mittels sogenannter geotektonischer Diskriminierungsdiagramme wurde versucht die Gesteine einem plattentektonischen Setting zuzuordnen. Dabei wurden unterschiedliche Diagramme herangezogen, da z.B. bei dem Ti/Y - Nb/Y Diskriminierungsdiagramm nach Pearce (1982) und bei dem Zr-Nb-Y Diskriminierungsdiagramm nach Meschede (1986) eine Überlappung der Felder für MORB und Vulkanbogen-Basalte auftritt (Abbildung 59 und Abbildung 60). Dadurch kann in diesen Diagrammen keine weitere Unterscheidung vorgenommen werden.

Abbildung 59 und Abbildung 60 dienen somit nur der groben Eingrenzung der Erz- (violett) und der Nebengesteinsproben (blau) in Vulkanbogen- oder MORB-Position. Während in dem Ti/Y - Nb/Y Diagramm die Nebengesteine aus dem Stollen (grün) außerhalb eines definierten Bereichs liegen, fallen sie im Diagramm nach Meschede (1986) ins Feld der Intraplatten Alkali-Basalte. Hinsichtlich der Nebengesteine im Stollen ist noch anzumerken, dass von sechs Proben nur zwei mit der ICP-MS untersucht wurden und somit für den Rest keine (guten) Spurenelement-Daten vorliegen. Werden sie mit den Nebengesteinen von außerhalb des Stollens verglichen, haben sie mittlere Y- und verhältnismäßig hohe Nb-Gehalte. Auch Ti ist deutlich niedriger.

Bei dem Ausreißer der Erzproben handelt es sich um die Probe HB-3, die einen höheren Ti-Gehalt aufweist und dafür an Y abgereichert zu sein scheint.

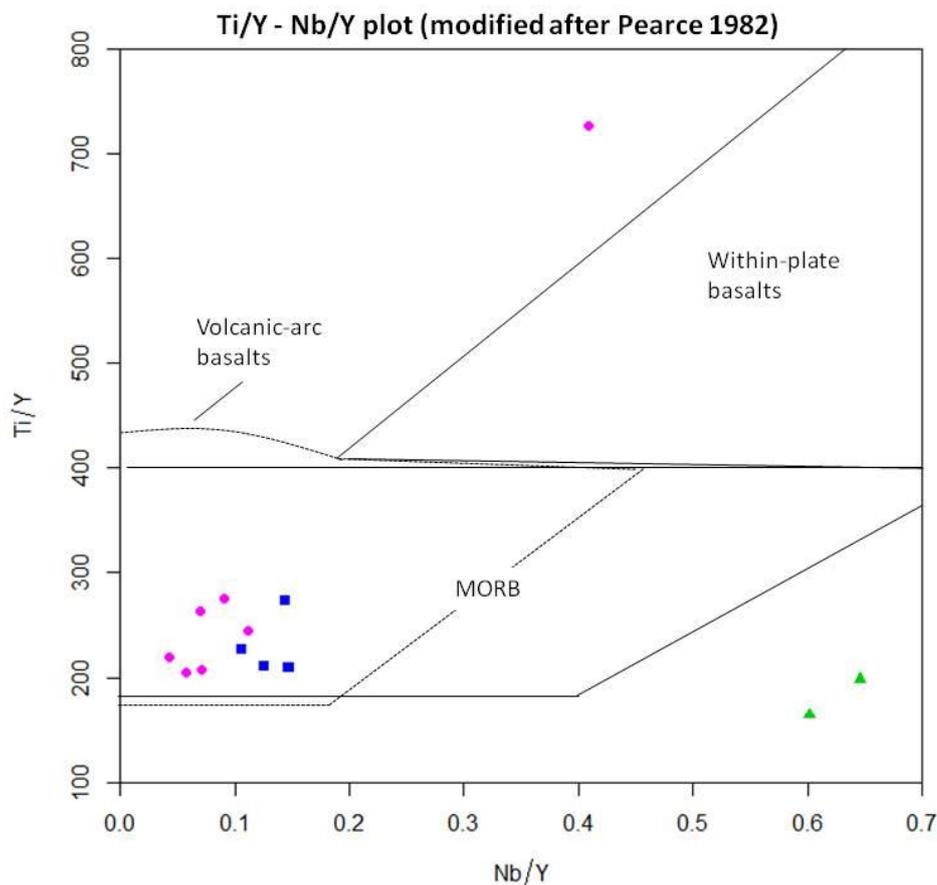


Abbildung 59: Ti/Y - Nb/Y Diskriminierungsdiagramm für Basalt mit Feldern für Intraplatten-Basalte, MORB und Vulkanbogen-Basalte (nach Pearce, 1982)

## Zr/4 – 2Nb – Y (Meschede 1986)

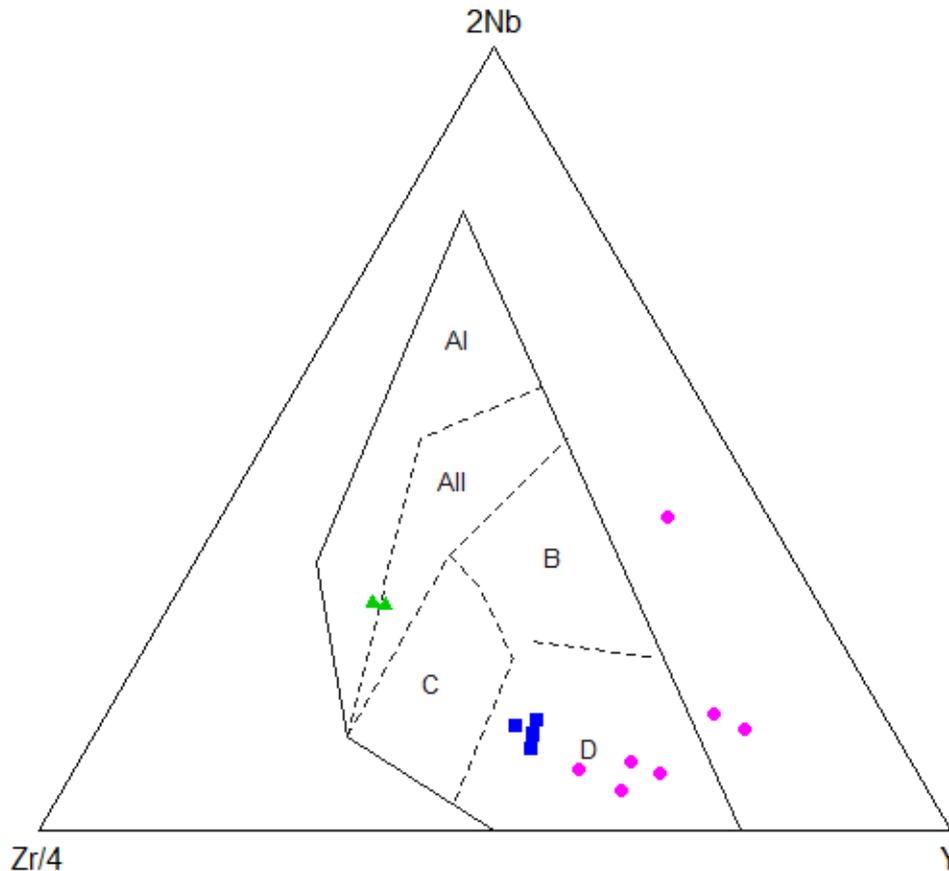


Abbildung 60: Zr-Nb-Y Diskriminierungsdiagramm für Basalte (nach Meschede, 1986). AI: Intraplatten Alkali-Basalte, AII: Intraplatten Alkali-Basalte und Intraplatten-Tholeiite, B: E-Typ MORB, C: Intraplatten-Tholeiite und Vulkanbogen-Basalte, D: N-Typ MORB und Vulkanbogen Basalte

Durch das Chondriten-normierte SEE-Diagramm kann das Setting näher eingegrenzt werden (Abbildung 61). Die unvererzten Proben P22 und HB-5 (grün) zeigen eine typische Krustenzusammensetzung. Auch in diesem Fall gilt, dass der deutliche Unterschied zu den Erzen und den Nebengesteinen außerhalb des Stollens durch Alteration entstanden sein kann. Bei einem Vergleich mit den SEE-Diagrammen der Kalkalserie der Subduktionszone der Sundainseln vor Java und Bali, welche eine Inselbogen-Zusammensetzung aufweisen (Abbildung 62), kann eine deutliche Ähnlichkeit festgestellt werden.

Im Gegensatz dazu weisen die Erzproben (HB-3, HB-9, P9, P13 und P27) typische MORB-Verteilungen auf. In diesen Proben ist auch eine negative Eu-Anomalie zu erkennen. Aufgrund der Möglichkeit des Europiums - anders als die übrigen rein 3-wertig auftretenden Lanthaniden außer Ce (auch 4-wertig) - auch  $\text{Eu}^{2+}$  zu bilden, wird Eu oft anstelle des  $\text{Ca}^{2+}$  in Plagioklas eingebaut (Weill und Drake 1973). Eine negative Anomalie ergibt sich daraus, dass in den Gesteinen des Haidbachgrabens wenig Ca-Plagioklas vorhanden ist. Ein Teil des ursprünglich vorkommenden Anorthits wurde u.a. auch durch

Saursuritisierung (siehe Kapitel 6.2) aus dem Gestein entfernt und somit wahrscheinlich auch das Europium.

Die Verteilung der Seltenen Erden für die Nebengesteine außerhalb des Stollens (P15, P17, P18 und P19) weisen zwar ebenfalls flache Muster auf, aber MORB-Gesteine werden nicht so stark angereichert. Außerdem weisen auch diese Verteilungen eine leichte Anreicherung an LSEE und Abreicherung an SSEE, also eine Fraktionierung auf. Höck (in Raumer und Neubauer 1993) kommt auf eine ähnliche Verteilung (Abbildung 63). Diese wurde als typische Verteilung für Inselbogenvulkanismus angesehen.

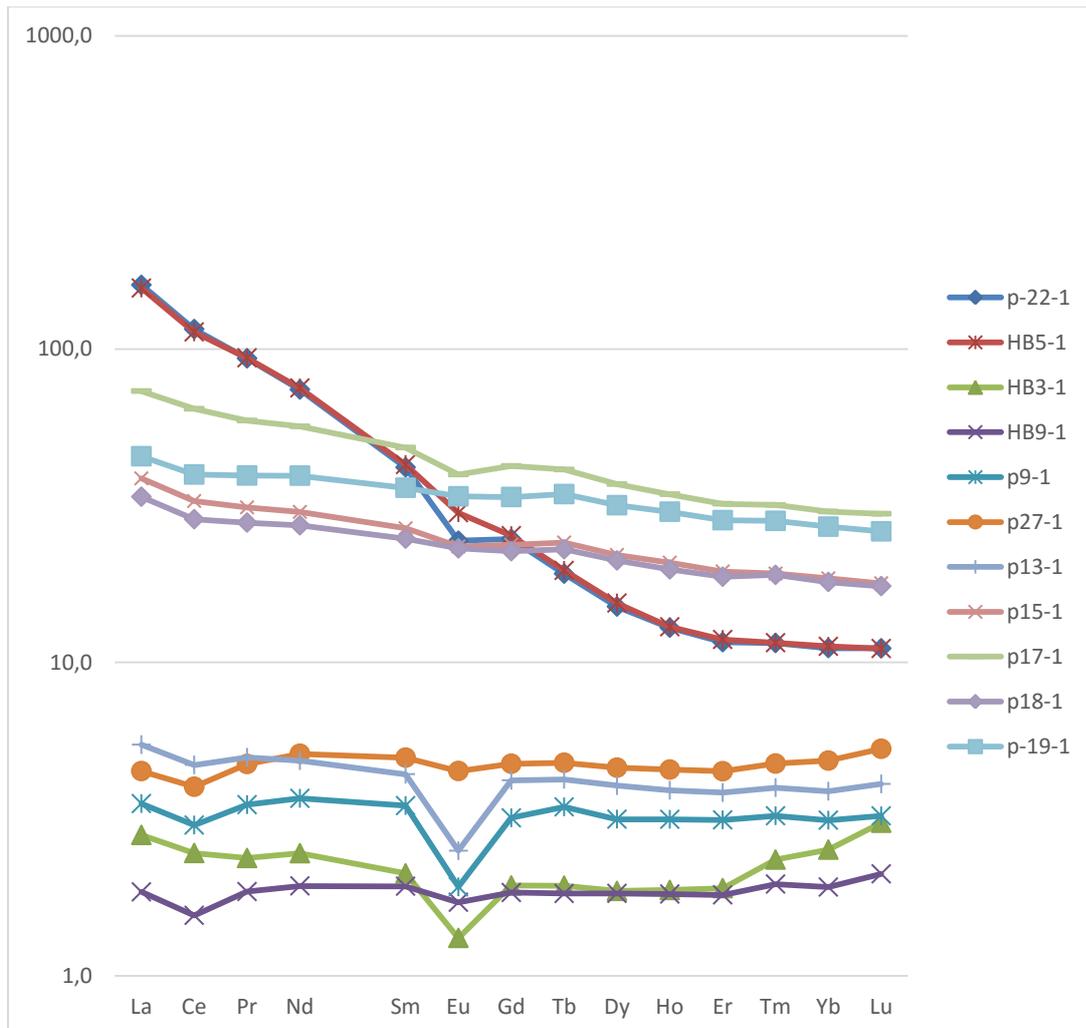


Abbildung 61: SEE-Verteilung, Chondriten-normiert (nach Evensen et al. 1978)

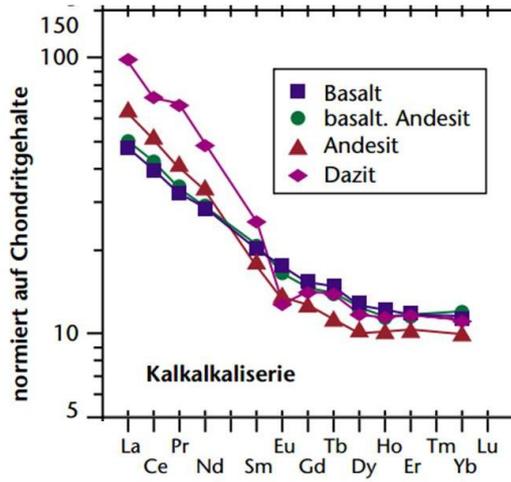


Abbildung 62: Kalkkalisierung des Inselbogens aus der Subduktionszone der Sundainseln vor Java und Bali (nach Whitford et al. 1979)

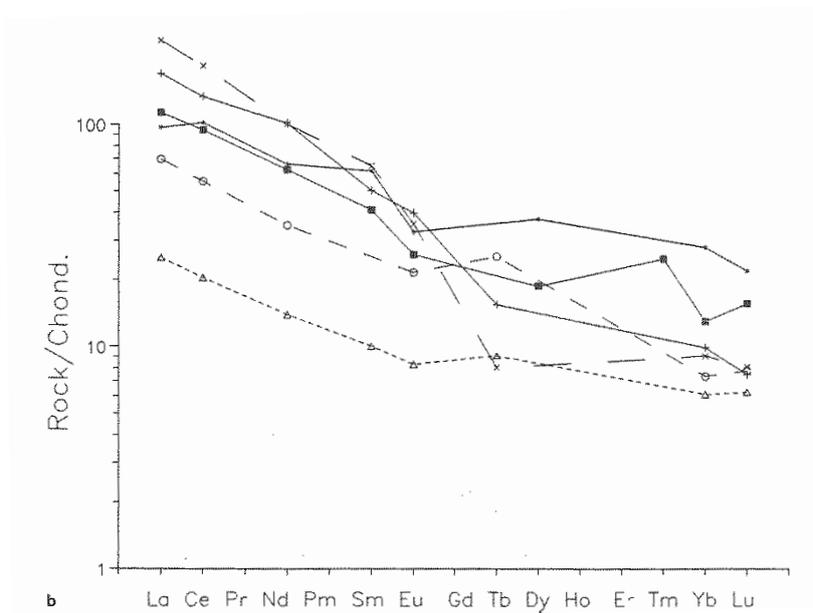


Abbildung 63: Gesteine der Habach Gruppe; x und + Felbertal (Scheelit-Lagerstätte), ■ Reißeck, \* Ankogel, Δ und ○ Eiserfolge (Basisschiefer (Daten von Gilg et al. 1989)) (HÖCK in Raumer und Neubauer 1993)

## 8. Diskussion

### 8.1 Haidbachgraben

Zusammenfassend kann Folgendes gesagt werden:

Die Erzzonen treten bänder- und linsenförmig - bis ca. 0,5 m - etwa schieferungskonkordant sowohl zu den Chlorit - Epidot - Schiefen als auch den Chlorit - Epidot - Albitgneisen auf (siehe Karte im Anhang II). Bei den letzten intensiven Explorationstätigkeiten wurden laut eines Berichts von 1939 die Reserven auf 10.000-15.000 t geschätzt, wobei je 150 t Ni und Cu daraus gewonnen werden können (Seifriedsberger 2015).

Es kann nicht eindeutig festgestellt werden, ob es sich um idente Linsen handelt. Zwar ergeben die TiO<sub>2</sub>-Werte (Abbildung 51) eine gewisse Gruppierung, bei anderen Elementen sieht diese jedoch nicht so deutlich aus. Außerdem schwanken die Gehalte auch kleinräumig bereits sehr stark, wie an den Proben P3 und HAID-4 erkannt werden kann. Diese stammen beide aus dem Unterlauf, wo an einer Stelle deutliche Erythrin-Ausblühungen zu beobachten sind. Dennoch schwankt allein der Co-Gehalt zwischen 63 ppm und 742 ppm (RFA-Daten).

Die Strukturdaten ergeben einen Faltenbau des Projektgebiets mit einer Faltenachse von etwa B=260/20 (Kapitel 5.1).

Die beiden Untertage deutlich unterscheidbaren Nebengesteine sind Obertage makroskopisch schwieriger auseinander zu halten. Mikroskopisch erscheinen manche Proben des Chlorit - Epidot - Albit"Gneises" Quarz bzw. Feldspat-reicher.

Die Vererzung liegt als Pyrit, Pyrrhotin, Chalkopyrit und Pentlandit in Amphibol- und Chlorit-reichen Gesteinen. Teilweise scheint es sich um Hornblendit (HB-9) zu handeln. Dies würde für Pyroxenite oder Klinopyroxen-reiche Gabbros als Ausgangsgesteine sprechen, konnte aber nicht für alle Erzproben erkannt werden. Die meisten haben einen wesentlich höheren Chloritanteil.

In den Nebengesteinen im Stollen treten nur geringe Mengen an Pyrit, Chalkopyrit und manchmal Pyrrhotin auf.

Alle Gesteine sind metamorph überprägt, wobei keine allzu hohen Drücke und Temperaturen auftraten. Die Metamorphose kann am Mineralbestand abgeschätzt werden: hauptsächlich sind noch Chlorit, Epidot und Tremolit vorhanden (Grünschieferfazies), aber es treten auch schon Hornblenditen auf (Amphibolitfazies).

Das Sulfarseniddiagramm von Klemm (Abbildung 29) zeigt hingegen relativ hohe Temperaturen (600°C) an. Wie schon in Kapitel 6.3.2 erwähnt, ist es entweder möglich, dass die Sulfarsenide primär magmatische Relikte sind, oder auch dass das Thermometer hier nicht anwendbar ist.

Der Mineralbestand der Erze (außer Sulfiden hauptsächlich Amphibole und Chlorite) lässt auf die von HÖCK (in Raumer und Neubauer 1993) erwähnten vulkanischen Anteile der Ophiolithabfolge - Prasinite und Amphibolite - schließen. Die unvererzten Zonen weisen eher intermedären bis sauren Charakter auf und passen zu den erwähnten Epidot-reichen Prasiniten und Albitgneisen des Inselbogens. Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen wird vermutet, dass die Gesteine des

Haidbachgrabens an einem Mittelozeanischen Rücken- oder in einem Back-arc Bereich gebildet wurden.

Geochemisch betrachtet liegen die Erzgesteine in dem Basalt- bzw. basaltischen Andesitfeld bzw. dem plutonischen Äquivalent (Abbildung 58). Am ehesten entsprechen sie wohl Gabbro-Kumulaten.

Die Nebengesteine hingegen ergeben Krustengesteine mit basischem bis intermediärem Charakter.

Die PGE-Gehalte sind erhöht (Tabelle 27). Es gibt eine ansehnliche Zahl an verschiedenen Pt- bzw. Pd-reichen Einschlussmineralen, die aber meist sehr klein ( $<10\ \mu\text{m}$ ) sind. Sie sind meist an die "Hauptsulfide" (Pyrit, Pyrrhotin, Chalkopyrit und Pentlandit) gebunden, selten treten sie auch in Silikatzonen auf. Das häufigste Einschlussmineral ist Pd-Melonit bzw. Merenskyit. Das ist auch der wichtigste Pd-Träger im Haidbachgraben, auch wenn noch weitere Pd-Phasen, wie Sudburyit, Testibiopalladit, Hexatestibiopannickelit etc. auftreten. Pt tritt hauptsächlich in Form von Sperryolith auf.

Aufgrund der erhöhten PGE-Gehalte kann auch ein für PGE-Vorkommen oft angewandtes Diagramm nach Sarah-Jane Barnes (Barnes 1990) zur Diskriminierung herangezogen werden (Abbildung 64). Dieses zeigt zwar kein eindeutiges Feld für alle Erzproben und auch keinen Trend, der Olivin oder Chromit-Fraktionierung entsprechen würde, widerspricht aber auch nicht der Theorie einer Bildung in Ophiolith-Komplexen in einem Bereich ozeanischer Kruste.

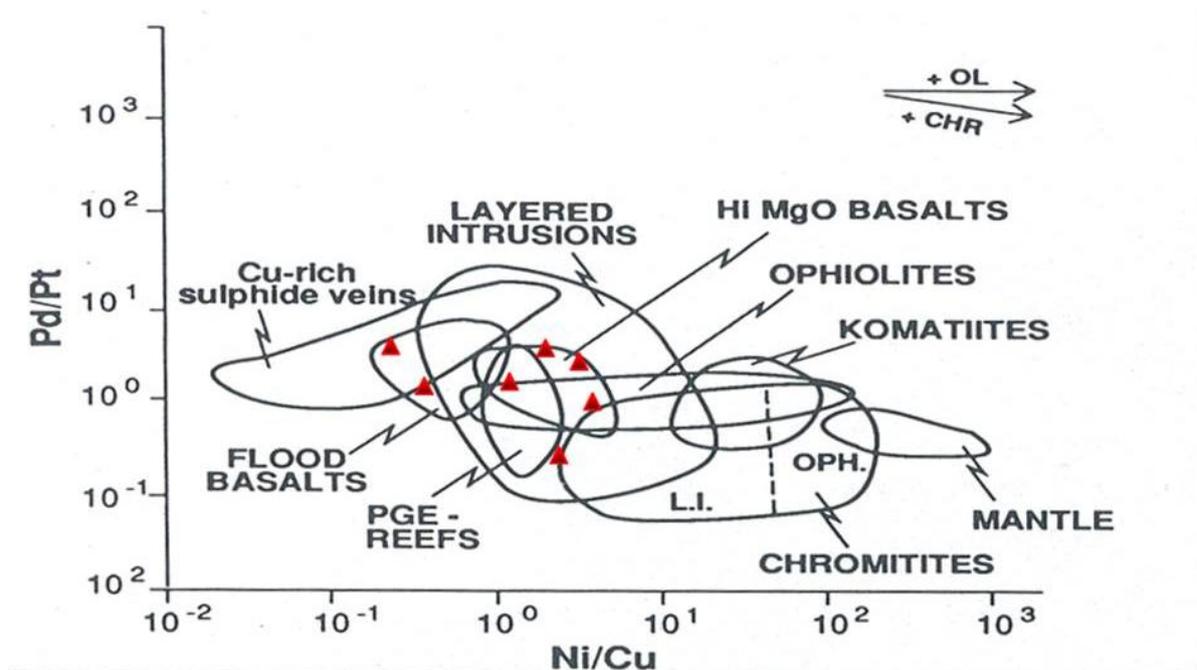


Abbildung 64: Pd/Pt vs. Ni/Cu Diskriminierungsdiagramm nach Barnes (1990)

## 8.2 Vergleich mit nahegelegenen Lagerstätten

Die Lage der zwei im folgenden beschriebenen Lagerstätten ist in Kapitel 2.2.2, Abbildung 5, ersichtlich. Beide befinden sich laut Literatur ebenfalls in der Habach-Gruppe und stellen Cu-Vererzungen dar.

### 8.2.1 Vergleich mit der Cu-Lagerstätte "Hochfeld"

Die nahegelegene Cu-Lagerstätte "Hochfeld" im Untersulzbachtal (Seemann et al. in Höck 1993) liegt in den Grüngesteinen der Habach-Gruppe. Der Gesteinsbestand ist durchaus mit dem im Haidbachgraben zu vergleichen ((Epidot-reiche) Amphibolschiefer bzw. Amphibolite, Albitgneise, etc.). Abbildung 65 zeigt, dass die Gesteine des "Hochfelds" in kein Feld des Diskriminierungsdiagramms nach Pearce und Cann (1973) fallen, während die meisten Gesteine des Haidbachgrabens zuordenbar sind. Zwei der Erzproben des Haidbachgrabens passen allerdings durchaus zu den Epidot-Amphiboliten des Untersulzbachtals. Seemann et al. vermuten, dass es sich bei den Gesteinen daher auch um wiederaufgearbeiteten vulkanischen Detritus oder Tuffe und Tuffite als Ausgangsgesteine handeln könnte.

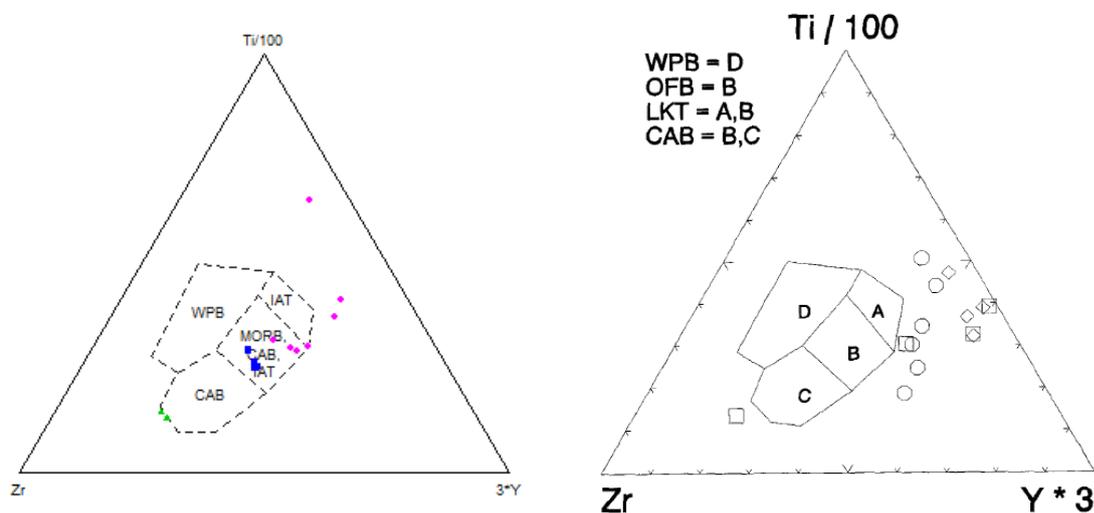


Abbildung 65: Diskriminierungsdiagramm nach Pearce & Cann (1973); links: Haidbachgraben, rechts: "Hochfeld"; □ = Amph.-Schiefer; ◊ = Metagabbro; O = Ep-Amphibolit. WPB = Intraplatten Basalte, OFB = Ozeanbodenbasalte, LKT = "Low K" Tholeiite (=IAT = Inselbogen Tholeiite), CAB = Kalkalkali-Basalte (Seemann et al. in Höck 1993)

Als Sulfide treten Pyrit, Pyrrhotin und Chalkopyrit auf. Außerdem wurden Hessit, Sphalerit, Galenit, Alinit und Cubanit aufgefunden (Seemann et al. in Höck 1993). Ein Vergleich der Mineralogie des Hochfeldes mit dem Haidbachgraben ist in Abbildung 67 ersichtlich.

### 8.2.2 Vergleich mit der Cu-Lagerstätte "Brenntal"

Brenntal war einer der bedeutendsten Bergbaue des Oberpinzgaus und wurde bis 1864 abgebaut. Die Lagerstätte wird den Grüngesteinen der Habach-Gruppe zugeordnet. Es gibt eine jüngere Vererzung, welche an Quarzknuern in Störungszonen gebunden ist, und eine ältere stratiforme Vererzung. Es wird vermutet, dass die jüngere sich durch Remobilisation aus der älteren Vererzung gebildet hat (Kling et al. 1997).

Klassifizierungsdiagramme (TAS) ergeben für die Gesteine des Brenntals ein basaltisches Ausgangsgestein. Mithilfe von Diskriminierungsdiagrammen ergab sich ein "Low-K-tholeiitisches" Setting. Diese Ergebnisse sowie der Vergleich mit Metabasiten der Habach-Gruppe sprechen für eine

Zuordnung der Gesteine in die Habach-Gruppe. Von den Autoren wurden die Gesteine weiter als aktiver Kontinentalrand bzw. Inselbogen interpretiert (Kling et al. 1997).

Im Brenntal treten als Sulfide Pyrit, Pyrrhotin und Chalkopyrit auf. Außerdem kommen Sulfarsenide häufig vor, Sphalerit und Galenit sind untergeordnete Bestandteile (Kling et al. 1997). Ein Vergleich der Mineralogie mit der des Haidbachgrabens ist in Abbildung 67 zu sehen.

Alles in allem scheinen die Lagerstätten "Brenntal" und Haidbachgraben gut zueinander zu passen, was auf eine ähnliche Bildung hindeutet. Aufgrund fehlender Altersdaten des Projektgebiets kann aber keine Aussage darüber getroffen werden, ob beide Vorkommen zeitgleich gebildet wurden.

### 8.3 Vergleich mit anderen PGE-Lagerstätten Österreichs

Da der Haidbachgraben das vierte bekannte PGE-Vorkommen in Österreich ist, wird ein Vergleich mit Kraubath, Hochgrössen und Wolfsbach vorgenommen.

#### 8.3.1 Kraubath und Hochgrössen

Die beiden Chromit- bzw. PGE-Vorkommen sind amphibolitfaziell überprägte, ultramafische und mafische Ophiolithe des Speik-Komplexes. Dieser liegt in den Muriden und wurde früher dem Mittelostalpin zugeordnet. Bei den Gesteinen handelt es sich um ultramafische, teils stark serpentinisierte Gesteine (Harzburgite) neben Amphiboliten und/oder Eklogiten. In die auftretenden Cr-Spinelle sind auch verschiedene Platingruppen-Minerale eingebaut (El Ageed 1979; Thalhammer et al. 1990; Melcher et al. 2002). Während es sich bei den PGE-Einschlüssen im Haidbachgraben vor allem um Pd- und Pt-Phasen (Pd-Melonit, Sperryllith) handelt, kommen in Kraubath und Hochgrössen eher Pt-Pd-Rh-(Ir-)Sulfarsenide vor (Abbildung 66, Thalhammer et al. 1990; Malitch et al. 2003) Die PGE-Gehalte reichen in einigen gebänderten Chromiten bis 4 ppm (Thalhammer et al. 1990; Melcher und Mali 1998; Melcher et al. 1999; Melcher 2000).

Im Vergleich mit dem Vorkommen im Haidbachgraben kann außerdem gesagt werden, dass die vererzten Gesteine im Projektgebiet zwar auch magmatisch entstanden und möglicherweise ophiolithisch sind, aber meist einen deutlich höheren SiO<sub>2</sub>-Gehalt (nur leicht basisch, eher intermediär) aufweisen. Chrom ist größtenteils nur noch reliktsch in Chlorit und Amphibol enthalten und tritt nur selten als Chromit auf. Weiters treten die Platingruppen-Minerale im Haidbachgraben fast immer in oder zwischen Sulfiden und nur selten in den Silikaten auf. Ein Vergleich der Mineralogie mit der des Haidbachgrabens ist in Abbildung 67 ersichtlich.

Laurite (Ru,Os)S<sub>2</sub>  
 Erlichmanite (Os,Ru)S<sub>2</sub>  
 Kashinite (Ir,Rh)<sub>2</sub>S<sub>3</sub>  
 Bowieite (Rh,Ir)<sub>2</sub>S<sub>3</sub>  
 Cuproiridsite CuIr<sub>2</sub>S<sub>4</sub>  
 Cuprorhodsit CuRh<sub>2</sub>S<sub>4</sub>  
 Unnamed (Fe,Cu)(Ir,Rh)<sub>2</sub>S<sub>4</sub>  
 Unnamed (Ni,Ir)<sub>2</sub>S<sub>3</sub>  
 Unnamed (Ni,Rh)S  
 Braggite (Pt,Pd)S  
 Ruthenium (Ru,Os,Ir)  
 Osmium (Os,Ir)  
 Iridium (Ir,Os)  
 Pt-Fe alloy Pt<sub>3</sub>Fe  
 (Pt,Pd)-Fe alloy  
 Unnamed Pt-BM alloy  
 Irarsite IrAsS  
 Hollingworthite RhAsS  
 Platarsite PtAsS  
 Ruarsite RuAsS  
 Pt-Ru-Rh sulpharsenide  
 Keithconnite Pd<sub>20</sub>Te<sub>7</sub>  
 Sperryllite PtAs<sub>2</sub>  
 Mayakite PdNiAs  
 Geversite PtSb<sub>2</sub>  
 Stibiopalladinite Pd<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>  
 Potarite PdHg  
 Merteite II Pd<sub>8</sub>(As,Sb)<sub>3</sub>  
 Unnamed Pd-As-Sb  
 Unnamed Pd-Rh-As  
 Unnamed Pd-Pt-Bi-Cu  
 Ru-rich oxide (?)  
 Gold Au  
 Au-rich silver (Ag,Au)  
 Tetrauricupride AuCu

**Abbildung 66: Edelmetall-Mineralogie von Kraubath (Malitch et al. 2003)**

Abbildung 67: Vergleich der Mineralogie des Haidbachgrabens mit jener anderer Cu- bzw. PGE-Lagerstätten

	Haidbachgraben	Hochfeld	Brenntal	Kraubath	Wolfsbach	Noril'sk	Sudbury	Lausitzer Block	Ivrea	South Raglan Trend
Pyrit	XX	XX	XX		X	X	X	X	X	
Pyrrhotin	XX	XX	XX			XX		XX	XX	XX
Chalkopyrit	XX	XX	XX		X	XX	XX	X	XX	XX
Pentlandit	XX			X	X	XX	X	X	XX	XX
Violarit	X				X	X	X	X		
Chlorit	XX	XX		X	X			X		XX
Akt-Trem	XX	XX								XX
Hornblende	XX	XX						X		XX
Epidot	XX	XX								X
Titanit	XX	X								X
Apatit	X								X	X
Biotit	X	X						X	X	
Muskovit		X								
Zirkon	X							X	X	X
Chromit/Cr-Spinell	X			XX	X	X				X
Ilmenit	X				X	X				X
Albit	XX	XX								X
Sauss. Plag.	X									X
Karbonate	X			X					X	X
Quarz	X	XX						X		
Magnetit				X		X	XX			X
Rutil	X				X					X
Talk										X
Serpentin				X						X
Olivin				XX				X		X
Pyroxen (Cpx/Opx)				X				X		X
Anthophyllit				X						X
Granat		X								

	Haidbachgraben	Hochfeld	Brenntal	Kraubath	Wolfsbach	Noril'sk	Sudbury	Lausitzer Block	Ivrea	South Raglan	Trend
Sperrylith	X			X	X	X	X	X	X	X	X
(Pd)-Melonit	X						X	X	X		
Merenskyit	X					X	X	X	X	X	X
Sudburyit	X					X		X		X	X
Testibiopalladit	X							X			
Hexatestibiopanicellit	X										
Empressit	X										
Kotulskit	X					X	X				X
Irsarit	X			X		X					
Michenerit							X				X
Ungavit											X
Naldrettit											X
Rh-Sulfarsenid				X		X					X
Laurit				X		X					
Moncheit						X	X		X		
(Ni,Co,Fe) Sulfarsenide	X		XX			X	X	X	X	X	X
Hessit	X	X				X	X	X	X	X	X
Elektrum, Gold	X			X		X	X		X	X	X
Molybdänit	X					X		X	X		
Rheniit	X										X
Sphalerit	X	X	X			X	X		X	X	X
Galenit	X	X	X			X	X	X		X	X
Nickelarsenid						X		X		X	X
Altaït		X						X	X	X	X
Cubanit		X							X		
Millerit				X		X	XX				
Covellin							X				
Bornit					X	X	X				
Kassiterit						X	X				

### **8.3.2 Wolfsbach, Niederösterreich**

In Wolfsbach im nördlichen Waldviertel wurden in Lesesteinen (Seifen) Platingruppen-Mineralen aufgefunden. Es handelt sich dabei um (Cr-)Spinelle, die neben Pyrit, Pentlandit und Chalkopyrit auch Einschlüsse von Laurit und Sperryolith besitzen. Des Weiteren treten in Rissen auch Klinochlor, unidentifizierte Tonminerale, Ilmenit, Rutil und Baryt auf. Auch ein SEE-reiches Mineral wurde aufgefunden. Generell weisen die Minerale Anzeichen starker hydrothermalen Alteration auf (Niedermayr et al. 2015). Abbildung 67 zeigt einen Vergleich der Mineralogie mit der des Haidbachgrabens.

### **8.4 Ni-Cu-Sulfide Deposits**

Generell treten Ni-Cu-Sulfide oft mit PGE-Mineralen auf. Es gibt drei Typen von diesen Sulfid-reichen PGE-Vererzungen:

- Mafische bis ultramafische Gesteine (Gabbros, Trappbasalte), wie das Pd-reiche Noril'sk
- PGE-reiche Komatiite
- PGE-reiche Sudbury-Typ Lagerstätten (Farrow und Lightfoot in Cabri 2002)

Es gibt verschiedene Modelle zur Entstehung dieser Vererzungen. So werden Teile des Sudbury Komplexes in Canada (Carter et al. 2001) und Pechenga in Russland (Distler et al. 1990) als hydrothermal remobilisiert, der Bushveld Komplex in Südafrika (Cawthorn 1999; Naldrett et al. 2009; Naldrett et al. 2012) und die Noril'sk-Talnakh-Vererzung in Russland (Naldrett 1992; Naldrett et al. 1992; Naldrett et al. 1995) als primär magmatisch angesehen (Sandmann und Gutzmer 2015).

Auch wenn die Mineralogie der PGE-Vererzungen oft sehr komplex ist - Cabri (2002) beschreibt allein über 100 Minerale - wird beim Vergleich einiger solcher Lagerstätten deutlich, dass sie doch immer recht ähnlich ist. Das Auftreten von Sperryolithen, Pd-Meloniten, Pd-Sb-Phasen (z.B. Sudburyit), etc. wird immer wieder verzeichnet und entspricht auch der PGE-Mineralogie, welche in den Gesteinen des Haidbachgrabens vorkommt.

#### **8.4.1 Noril'sk**

Die Ni-Cu-Sulfid-Lagerstätten Noril'sk und Talnakh liegen in mafischen bis ultramafischen Gesteinen, die Teil des Sibirischen Trapps sind (Naldrett 1997).

Vererzungen treten sowohl disseminiert als auch massiv auf. Disseminiertes Erz kommt in pikritischen und taxitischen Gabbrodoleriten vor und enthält 84 % der Reserven von Noril'sk. Die Sulfide unterscheiden sich in den unterschiedlichen Gabbrodoleriten in ihrer Entmischung und Paragenese. Dabei treten in pikritischen Gesteinen Chalkopyrite im oberen und Pyrrhotin im unteren Bereich auf. Generell kann für disseminiertes Erz gesagt werden, dass sie in den Ultrabasiten durch Pyrrhotin, Cubanit, Fe-reichem Pentlandit und Talnakhit ( $\text{Cu}_9(\text{Fe,Ni})_8\text{S}_{16}$ ) vertreten sind. Über und unter diesen Zonen werden die Sulfide von Pyrrhotin, Cubanit, Chalkopyrit und Fe-Pentlandit repräsentiert. 8,5 % der Reserven in Noril'sk liegen in massiven Vererzungen. Sie bilden flache und linsenförmige Erzkörper, sowie Stöcke und Stockwerke aus (Sluzhenikin 2011).

Einschlussminerale sind v.a. gediegenes Gold, Elektrum, Isoferroplatin ( $\text{Pt}_3\text{Fe}$ ), Tetraferroplatin ( $\text{PtFe}$ ), einige Sn-Phasen (Rustenburgerit ( $\text{Pt}_3\text{Sn}$ ), Atokit ( $\text{Pd}_3\text{Sn}$ ), Paolovit ( $\text{Pd}_2\text{Sn}$ )), Kotulskit, Sperryolith, Merenskyit, Sudburyit, Moncheit, diverse Legierungen, Hessit, sowie diverse andere Arsenide, Telluride, Antimonide und Bismuthide (Sluzhenikin 2011). Ein Vergleich der Mineralogie des

Haidbachgrabens mit einigen der am häufigsten Auftretenden Minerale in Noril'sk ist in Abbildung 67 ersichtlich. Sluzhenikin (2011) erstellte eine Auflistung der genauen Mineralogie, in welcher auch viele nicht benannte Legierungen und spezielle PGE-Phasen enthalten sind. Deren Besprechung ist nicht Teil dieser Arbeit, eine Tabelle ist aber als Anhang VII beigelegt.

#### **8.4.2 Sudbury**

Zur Genese des Sudbury Igneous Complex (SIC) gibt es einige Theorien. Die am meisten verfochtene, ist jene eines Meteoritenimpakts. Der SIC besteht aus einer unteren Abfolge von noritischen Gesteinen, einer mittleren/zentralen Abfolge von gabbroischen Gesteinen und einer oberen Abfolge von Granophyren (Naldrett und Hewins 1984).

Die Ni-Vererzung befindet sich hauptsächlich an bzw. nahe der Basis des SIC und kann in drei verschiedene Typen unterteilt werden (Lightfoot 2007):

1. Der "Sublayer": Dieser liegt in einer Senke an der Basis des SIC innerhalb von Noriten, die reich an Einschlüssen sind, und Graniten. Die Vererzung im noritischen "Sublayer" tritt entweder disseminiert auf oder bildet die Matrix einer Brekzie. Die leukokrate Brekzie im Liegenden enthält Linsen von disseminierten und von massiven Sulfiden.
2. Radiale Dykes: Diese bestehen aus Quarzdiorit und werden "Offset Dykes" genannt. Entlang dieser treten unregelmäßig Linsen Einschluss-reicher Quarzdiorite auf. Einige dieser Dykes enthalten Vererzungen in wirtschaftlichen Konzentrationen, wohingegen andere arm an Vererzungen sind.
3. Das stark brekziöse Liegende des SIC besteht aus pseudotachylitischen Gängen, die von Cu-reichen Gängen durchschnitten werden ("footwall mineralisation"). Diese Gänge führen mehrere 100 m weg von der Basis des SIC. Stellenweise kommen in diesen Gängen Sulfide vor, die reich an Edelmetallen sind.

Generell sind die Ni-Lagerstätten im SIC stark von mehreren Faktoren beeinflusst: dem Impakt, daraus folgender Krustenaufschmelzung, langandauernder Differentiation von super-heißen Sulfid-gesättigten Silikatmagmen, Akkumulation aufgrund der höheren Dichte der Sulfide und Remobilisation (Morrison et al. 1994).

Die Mineralogie umfasst u.a.: Chalkopyrit, Pentlandit, Pyrit und Millerit (NiS) als "Hauptsulfide", sowie Kassiterit, Sphalerit, (Se-)Galenit, Covellin, Bornit, Arsenopyrit, Hessit, Elektrum, Merenskyit, (Pd-)Melonit, Sperryolith, Moncheit ((Pt, Pd)(Te,Bi)<sub>2</sub>), Kotulskit und einige andere Bi-, Ag- bzw. Te-Phasen (Ames et al. 2007). In Abbildung 67 wird die Mineralogie mit jener des Haidbachgrabens verglichen.

#### **8.4.3 Lausitzer Block**

Ein europäisches Beispiel für PGE-reiche mafische Gesteine ist die Ni-Cu-Vererzung im Lausitzer Block in Deutschland und Polen (Sandmann und Gutzmer 2015).

Es handelt sich dabei um gabbroische Dykes, die (noch) nicht wirtschaftliche Konzentrationen von PGEs aufweisen (PGE+Au = 0,4 ppm, vgl. Gehalte im Haidbachgraben in Tabelle 27) (Sandmann und Gutzmer 2015). Mineralogisch bestehen die Gesteine aus Plagioklas und Pyroxen, sowie Olivin, Amphibol, Quarz und Biotit. Zirkon und Apatit kommen als Akzessorien vor (Uhlig et al. 2001). Wie im Haidbachgraben treten die PGE-Minerale in den "Hauptsulfiden" (v.a. Pyrrhotin, sowie Pyrit,

Pentlandit und Chalkopyrit) und Ni-Co-Sulfarseniden und hydrothermale Feldspat und Chlorit auf. Die auftretenden PGE-Phasen sind: Sperrylith, Pd-Melonit, Testibiopalladit, Pd-Antimonid (Sudburyit?), sowie andere Telluride (Pd-Bi-, Pt-), Pd-Bismuthide und Arsenide bzw. Sulfarsenide. Diese treten vor allem in den stark alterierten Bereichen der Dykes auf, weniger in den schwach alterierten. Als Alterationsminerale treten vor allem Chlorit, Serpentin, Talk, Serizit, Stilpnomelan, Amphibol, Epidot und Karbonate auf. Auch nicht PGE-hältige Telluride (Ni-Sb-, Ag-, Ni-, Pb-, Hg- und Bi-) kommen vor (Sandmann und Gutzmer 2015). Dabei wird eine der grünschieferfaziellen Metamorphose ähnliche hydrothermale Überprägung der Gabbros vermutet (Uhlig et al. 2001). Ein Vergleich der Mineralogie mit der des Haidbachgrabens ist in Abbildung 67 ersichtlich.

Laut Sandmann und Gutzmer (2015) sprechen vor allem die weite Verteilung der Telluride und der PGM-Körner im Gestein sowie Anzeichen von Remobilisierung für eine hydrothermale Bildung der Vererzung, wohingegen die Bindung an Pyrrhotin ohne sichtbare Remobilisierung eher auf eine magmatische Bildung hindeutet. Die beiden Autoren schließen darauf, dass zumindest ein Teil (Pt Arsenide und Rh-Sulfarsenide) primär magmatisch entstanden ist. Dahingegen sind PGE-reiche und auch PGE-freie Telluride, Bismuthide und Antimonide, die mit Alterationssilikaten und remobilisierten Chalkopyrit und Ni-Co-Sulfarseniden auftreten, eher durch hydrothermale Beeinflussung entstanden (Sandmann und Gutzmer 2015).

#### **8.4.4 Ivrea-Verbano Komplex, Westalpen, Italien**

Ein in den Alpen liegendes Vorkommen ist der Ivrea-Verbano Komplex. Dabei handelt es sich um eine "layered intrusion", welche durch mehrfache Intrusionen in amphibolitische bis granulitische Metasedimente und Metavulkanite eingedrungen ist (Ferrario et al. 1982). Pt und Pd sind an Fe-Ni-Cu Sulfide (Pyrrhotin, Chalkopyrit, Pentlandit) gebunden. Die Vererzung wird zum Sudbury-Typ gezählt (Garuti und Rinaldi 1986).

Die PGE-hältigen Sulfide treten in drei ultramafischen Gesteinen des "Basis-Komplexes" auf:

- Pyroxenite im unteren Teil der Intrusion (zyklische Einheiten)
- Amphibol-reiche Pyroxenite in einem großen Körper Amphibol-Gabbro
- das umgebende Gestein durchschlagende Körper (Pipes), die aus Olivin, Pyroxen und Spinell bestehen. Dieser Körper liegt meist im oberen Teil des "Hauptgabbros" (Garuti und Rinaldi 1986).

In den Pyroxenit-Dykes kommen die Fe-Ni-Cu-(Co) Sulfide hochgradig disseminiert und in den ultramafischen Gesteinen und den zyklischen Einheiten niedriggradig disseminiert bis massiv vor. Außer diesen Sulfiden treten auch Al-Fe- (Cr)-Spinelle und Fe-Ti-Oxide auf (Ferrario et al. 1982). Es wird eine magmatische Bildung dieser tröpfchenförmigen und knolligen Minerale angenommen, aber zur Bildung massiver Erze kommt es auch durch Remobilisierung (Zaccarini et al. 2014).

Die Gesteine des Ivrea-Verbano-Basis-Komplexes bestehen hauptsächlich aus Orthopyroxen, Klinopyroxen, Olivin, Spinell und Hornblende. Bei den "Hauptsulfiden" handelt es sich um Pyrrhotin, Chalkopyrit und Pentlandit. Die PGE-Gehalte (Pt+Pd) erreichen bis zu 0,5 ppm (vgl. Tabelle 27) sind aber nicht in allen Teilen des Komplexes gleich (Ferrario et al. 1982). So wird in den zyklischen Abfolgen am Kontakt zu Metasedimenten eine niedrige Konzentration (Pt+Pd < 0,35 ppm) beobachtet, während der "Hauptgabbro" bis zu 1,43 ppm Pt+Pd und die ultramafischen Pipes bis zu

4,46 ppm Pt+Pd (+0,37 ppm Ru+Ir+Os und 2,33 ppm Au) enthalten kann (Garuti et al. 1990; Zaccarini et al. 2014).

Bei den vorkommenden PGE-Mineralen handelt es sich vor allem um Pd-Melonit, Merenskyit, Sperrylith und Moncheit. Zusätzlich treten Irarsit, Ag-, Pb- und Bi-Telluride, Au-Ag-Legierungen (Elektrum) und auch Rheniit auf (Zaccarini et al. 2014). Abbildung 67 zeigt einen Vergleich der Mineralogie mit der des Haidbachgrabens.

#### **8.4.5 South Raglan Trend**

Die Komatiit-assoziierten Ni-Cu-Pt-Pd Lagerstätten Tootoo und Mequillon liegen innerhalb der Expo Intrusive Suite im South Raglan Trend in ultramafischen bis mafischen Gesteinen (Mungall 2007).

Im Bereich der Lagerstätten ist das Nebengestein Olivin-Melagabbronorit und auch Pyroxenit. Diese sind stark hydrothermal alteriert und grünschieferfaziell überprägt. Daher sind Chlorit, Tremolit-Aktinolith und Reste spätmagmatischer Hornblende Hauptbestandteile. Untergeordnet treten Ilmenit, Titanit, Chromit, Epidot, Albit, Monazit, Apatit und Zirkon auf. Ein zweiter Vererzungstyp in diesem Gebiet enthält zusätzlich Kalzit, Dolomit und Talk, sowie untergeordnet Serpentin, Rutil und Magnetit. Albit und Epidot sind aus saussuritisiertem Plagioklas entstanden (Liu et al. 2016).

Der Sulfidanteil besteht aus Pyrrhotin, Chalkopyrit und etwas weniger Pentlandit. Untergeordnet treten Sphalerit, Arsenopyrit, Galenit und Cobaltit auf. Auftretende Platingruppen-Mineralie sind Sperrylith und Sudburyit. Weiters kommen noch stark verwachsene Pd-Phasen vor, bei denen es sich wahrscheinlich um Sudburyit, Naldrettit ( $\text{Pd}_2\text{Sb}$ ), Ungavait ( $\text{Pd}_4\text{Sb}_3$ ), Kotulskit ( $\text{PdTe}$ ), Merenskyit und Michenerit ( $\text{PdBiTe}$ ) handelt. Sie treten in Silikaten auf, Pd-Phasen sind auch an Chalkopyrit gebunden. Weitere untergeordnete Phasen sind Rh-Arsenid und Paolovit ( $\text{Pd}_2\text{Sn}$ ). Als nicht PGE-hältige Phasen treten Hessit, Altit, Ni-Arsenid und Elektrum auf. Selten kommt außerdem Re-Sulfid in den "Hauptsulfiden" vor (Liu et al. 2016). Ein Vergleich der Mineralogie mit dem Haidbachgraben ist der Abbildung 67 zu entnehmen.

Liu et al. 2016 folgern aus ihren Untersuchungen, dass die Lagerstätten ursprünglich primär magmatisch entstanden sind. Zumindest ein Teil der PGE-hältigen Phasen wurde aber durch Fluide transportiert.

### **8.5 Mineralogie**

Bezüglich der Mineralogie der Lagerstätte ist vor allem hinsichtlich der Einschlussminerale anzumerken, dass die Anzahl der gemessenen Körner nicht direkt über deren Häufigkeit Aufschluss gibt. Die Untersuchungen wurden oft sehr selektiv vorgenommen. Es kann davon ausgegangen werden, dass insbesondere deutlich mehr Sulfarsenide auftreten. Da das Hauptaugenmerk auf PGM-Phasen lag, wurde speziell nach diesen Mineralen gesucht.

Rheniit ist ein seltenes Mineral. In Österreich wurde es noch nicht beschrieben und wurde aus diesem Grund bzw. aus Interesse jedes Mal vermerkt, wenn es aufgefunden wurde.

Da die meisten Phasen weit unter 10  $\mu\text{m}$  groß sind, liegt nicht immer eine reine chemische Analyse der Körner vor. Für einen Überblick über die Einschlussmineralogie der Erze des Haidbachgrabens sind die Ergebnisse aber durchaus ausreichend.

Für Phasen wie Hexatestibiopanickelit oder auch Testibiopalladit ist es die erste Beschreibung in Österreich. Es muss allerdings relativiert werden, da nur die Zusammensetzung durch Messungen am REM bekannt sind, nicht aber die für eine Mineralbeschreibung wichtige Kristallstruktur.

### 8.6 Genese

Alles in allem lässt sich das Vorkommen gut mit anderen Ni-Cu-(Co) Sulfidvorkommen in basischen Gesteinen vergleichen, auch wenn die Metamorphose das ursprüngliche Ausgangsgestein stark verändert hat. Besonders das Erz wurde an Alkalien abgereichert. Aufgrund aller Untersuchungen und Vergleiche mit diesen Lagerstätten wird für die Vererzung im Haidbachgraben eine primär magmatische Entstehung angenommen. Durch S-Sättigung und die höhere Dichte unvermischbarer Sulfidtröpfchen sinken diese ab (z.B. Mungall 2007). Wenn die silikatische Schmelze auskristallisiert, kühlt auch die sulfidische Schmelze ab und bildet ein MSS- und bei weiterer Abkühlung ein ISS Zwischenstadium aus. Aus der MSS entstehen Pyrrhotin und Pentlandit und aus der ISS Chalkopyrit, Pyrrhotin oder Cubanit und Pentlandit. Zugleich fallen auch PGE-Phasen aus. (Mostert et al. 1982; Mungall 2007; Makovicky in Cabri 2002) Wenn das System durch magmatische Prozesse bestimmt wird, befinden sich PGE-Phasen in den "Hauptsulfiden" (Makovicky et al. 1986).

Aufgrund des Auftretens von Schmelztröpfchen, die genau auf ein solches System hinweisen, kann auf eine magmatische Bildung geschlossen werden.

Desweiteren sprechen das Auftreten von Chromit bzw. Cr-Spinell sowie des erhöhten Cr-Gehalts der Chlorite und auch Biotite ebenfalls für eine solche Bildung. Der Cr-Gehalt in Chlorit, Biotit und auch Amphibol (bis zu 0,8 Gew%) entsteht durch die Umwandlung von Chromiten. Diese sind nur noch selten und eher als Cr-Spinell vorhanden. Die Anwesenheit deutet allerdings auf ein magmatisches Bildungsmilieu hin.

Die Gesteine im Haidbachgraben haben sowohl die variszische als auch die alpidische Metamorphose erfahren. Die alpidische Metamorphose war im Projektbereich noch im Bereich der Grünschieferfazies (Abbildung 4, Höck in Günther et al. 2000). Durch eine metamorphe, hydrothermale Überprägung ist es zu Remobilisation gekommen, wodurch eine weitere Verteilung der Minerale, sowie Re- bzw. Neukristallisation stattfand.

## Internetquellen

Online-Karte Salzburg:

[http://www.salzburg.gv.at/sagisonline/\(S\(tfmkr1xl5eeehlbweq5vbzwe\)\)/init.aspx?karte=basis&geojuhuschema=Adressen/Namensgut&defaultlogo=sagis&sichtbar=DKM%20Grundst%C3%BCcke&sichtbar=DKM%20Grundst%C3%BCcksnummern&massstab=2000&koord=428500;295500](http://www.salzburg.gv.at/sagisonline/(S(tfmkr1xl5eeehlbweq5vbzwe))/init.aspx?karte=basis&geojuhuschema=Adressen/Namensgut&defaultlogo=sagis&sichtbar=DKM%20Grundst%C3%BCcke&sichtbar=DKM%20Grundst%C3%BCcksnummern&massstab=2000&koord=428500;295500) 01.02.2016, 16.00

Geologische Karte online:

[https://gisgba.geologie.ac.at/gbaviewer/?url=https://gisgba.geologie.ac.at/arcgis/rest/services/KM50/AT\\_GBA\\_KM50\\_GE\\_LS99/MapServer](https://gisgba.geologie.ac.at/gbaviewer/?url=https://gisgba.geologie.ac.at/arcgis/rest/services/KM50/AT_GBA_KM50_GE_LS99/MapServer), 25.08.2015, 09.30

Reichl, C., Schatz, M., Zsak, G. (2015) World-Mining-Data 2015. Heft 30, Rohstoffproduktion, Wien 2015:

<http://www.bmfwf.gv.at/EnergieUndBergbau/PublikationenBergbau/Documents/WMD2015.pdf>, 23.03.2016, 11.45

## Literaturverzeichnis

- Ames, D. E.; McClenaghan, M. B.; Averill, S. (2007): Footwall-hosted Cu-PGE (Au, Ag), Sudbury Canada: Towards a new exploration vector. In: *Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration*.
- Barnes, S.-J. (1990): The use of metal ratios in prospecting for platinum-group element deposits in mafic and ultramafic intrusions. In: *Journal of Geochemical Exploration* 37 (1), S. 91–99. DOI: 10.1016/0375-6742(90)90084-N.
- Cabri, L. J. (Hg.) (2002): The geology, geochemistry, mineralogy and mineral beneficiation of platinum-group elements. Montreal (CIM Special volume, 54).
- CARTER, W. M.; Watkinson, D. H.; Jones, P. C. (2001): Post-magmatic Remobilization of Platinum-Group Elements in the Kelly Lake Ni-Cu Sulfide Deposit, Copper Cliff Offset, Sudbury. In: *Exploration and Mining Geology* 10 (1-2), S. 95–110. DOI: 10.2113/10.1-2.95.
- Cawthorn, R. G. (1999): Platinum-group element mineralization in the Bushveld Complex; a critical reassessment of geochemical models. In: *South African Journal of Geology* 102 (3), S. 268–281.
- Deer, W. A.; Howie, R. A.; Zussman, J. (2009): An introduction to the rock-forming minerals. 2. ed., [Nachdr.]. Harlow: Pearson/Prentice Hall.
- Distler, V. V.; Fillmonova, A. A.; Grokhovskaya, T. L.; Laputina, I. P. (1990): PLATINUM-GROUP ELEMENTS IN THE COPPER-NICKEL ORES OF THE PECHENGA ORE FIELD. In: *International Geology Review* 32 (1), S. 70–83. DOI: 10.1080/00206819009465756.
- El Ageed, A. I. (1979): The Hochgrößen ultramafic-mafic association, its associated mineralization and petrogenetic significance. In: *PhD Dissertation, Universität Köln*, S. 245.
- Evensen, N. M.; Hamilton, P. J.; O'Nions, R. K. (1978): Rare-earth abundances in chondritic meteorites. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42 (8), S. 1199–1212. DOI: 10.1016/0016-7037(78)90114-X.
- Ferrario, A.; Garuti, G.; Sighinolfi, G. P. (1982): Platinum and palladium in the Ivrea-Verbano basic complex, Western Alps, Italy. In: *Economic Geology* 77 (6), S. 1548–1555. DOI: 10.2113/gsecongeo.77.6.1548.
- Garuti, G.; Naldrett, A. J.; Ferrario, A. (1990): Platinum-group elements in magmatic sulfides from the Ivrea Zone; their control by sulfide assimilation and silicate fractionation. In: *Economic Geology* 85 (2), S. 328–336. DOI: 10.2113/gsecongeo.85.2.328.
- Garuti, G.; Rinaldi, R. (1986): Mineralogy of melonite-group and other tellurides from the Ivrea-Verbano basic complex, western Italian Alps. In: *Economic Geology* 81 (5), S. 1213–1217. DOI: 10.2113/gsecongeo.81.5.1213.
- Gilg, H. A.; Höll, R.; Kupferschmid, M. P.; Reitz, E.; Stärk, H. und Weber-Diefenbach, K. (1989): Die Basisschieferfolge in der Habachformation im Felber- und Amertal (Tauernfenster, Salzburg). Gesteinsinhalt, Geochemie, Fossilführung und genetische Implikation. In: *Mitt. österr. geol. Ges.* (81), S. 65–91.

- Günther, W. (Hg.) (2007): Salzburgs Bergbau und Hüttenwesen im Wandel der Zeit. Buntmetalle und stahlveredelnde Metalle; Festschrift Werner H. Paar zum 65. Geburtstag. Unter Mitarbeit von Werner H. Paar. Leogang: Leoganger Bergbaumuseumsverein.
- Günther, W.; Eibner, C.; Lippert, A.; Paar, W. (1993): 5000 Jahre Kupferbergbau Mühlbach am Hochkönig - Bischofshofen. Mühlbach am Hochkönig, Bischofshofen: Gemeinde; Bergbau- und Heimatmuseumsverein; Marktgemeinde.
- Günther, W.; Gruber, F.; Höck, V.; Günther-Paar-Gruber-Höck (Hg.) (2000): Schatzkammer Hohe Tauern. 2000 Jahre Goldbergbau. Salzburg: A. Pustet.
- Höck, V. (Hg.) (1993): 125 Jahre Knappenwand. 125 Jahre Mineralfundstelle Knappenwand Neukirchen am Grossvenediger ; proceedings. Symposium / Mineralfundstelle Knappenwand. Wien: Geologische Bundesanst (Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 49).
- Höll, R. (1975): Die Scheelitlagerstätte Felbertal und der Vergleich mit anderen Scheelitvorkommen in den Ostalpen. München, Beck in Komm.: Verl. d. Bayer. Akad. d. Wiss (Abhandlungen / Bayerische Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse, N.F., 157,B).
- Kausch, P.; Bertau, M.; Gutzmer, J.; Matschullat, J. (Hg.) (2014): Strategische Rohstoffe - Risikovorsorge. [Auswahl von Beiträgen der Tagungen: 4. Symposium Freiburger Innovationen zum Thema "Strategische Rohstoffe - Risikovorsorge", 19.-20. April 2012, und Deutsch-Französische Tagung "Life and Innovation Cycles in the Field of Raw Materials Supply and Demand - a Transdisciplinary Approach", Orléans, April 2012]. Technische Universität Bergakademie Freiberg; Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie; Symposium Freiburger Innovationen "Strategische Rohstoffe - Risikovorsorge" 4 (Freiberg); Deutsch-französische Tagung "Life and Innovation Cycles in the Field of Raw Materials Supply and Demand - a Transdisciplinary Approach". Berlin: Springer Spektrum.
- Klemm, Dietrich (1965): Synthesen und Analysen in den Dreiecksdiagrammen FeAsS-CoAsS-NiAsS und FeS 2-CoS 2-NiS 2. In: *Neues Jahrbuch für Mineralogie* (103), S. 205–255. Online verfügbar unter <http://worldcatlibraries.org/wcpa/oclc/315163238>.
- Kling, M.; Loth, G.; Kupferschmied, M. P.; Lewandowski, K. (1997): Die Kupfer-Lagerstätte Brenntal (Tauernfenster): Bergbaugeschichte, Geologie, Erzmineralogie und Flüssigkeitseinschluß-Untersuchungen. In: *Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.* (20), S. 5–13.
- Lavrov, O. B.; Kuleshevich, L. V. (2010): The first finds of rhenium minerals in Karelia. In: *Dokl. Earth Sc.* 432 (1), S. 598–601. DOI: 10.1134/S1028334X10050107.
- Lightfoot, P. C. (2007): Advances in Ni-Cu-PGE Sulphide Deposit Models and Implications for Exploration Technologies. In: *Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration*, S. 629–646.
- Liu, Y.; Mungall, J. E.; Ames, D. E. (2016): Hydrothermal Redistribution and Local Enrichment of Platinum Group Elements in the Tootoo and Mequillon Magmatic Sulfide Deposits, South Raglan Trend, Cape Smith Belt, New Quebec Orogen. In: *Economic Geology* 111 (2), S. 467–485. DOI: 10.2113/econgeo.111.2.467.
- Makovicky, M.; Makovicky, E.; Rose-Hansen, J. (1986): Experimental studies on the solubility and distribution of platinum group elements in base-metal sulphides in platinum deposits, S. 415–425.

- Malitch, K. N.; Thalhammer, O. A.; Knauf, V. V.; Melcher, F. (2003): Diversity of platinum-group mineral assemblages in banded and podiform chromitite from the Kraubath ultramafic massif, Austria: evidence for an ophiolitic transition zone? In: *Miner Deposita* 38 (3), S. 282–297. DOI: 10.1007/s00126-002-0308-1.
- Meadows, D.; Zahn, E.; Milling, P.; Heck, H.-D. (1972): Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Stuttgart: Dt. Verl.-Anst (DVA informativ, 1). Online verfügbar unter [http://www.gbv.de/dms/faz-rez/720717\\_FAZ\\_0015\\_15\\_0002.pdf](http://www.gbv.de/dms/faz-rez/720717_FAZ_0015_15_0002.pdf).
- Melcher, F. (2000): Chromite and platinum-group elements as indicators of mantle petrogenesis. Habilitationsschrift.
- Melcher, F.; Mali, H. (1998): Platingruppenminerale in Chromititen von Kraubath. In: *Mitteilungen Abt. f. Mineral. am Landesmuseum Joanneum* (62-63), S. 39–48.
- Melcher, F.; Meisel, T.; Puhl, J.; Koller, F. (2002): Petrogenesis and geotectonic setting of ultramafic rocks in the Eastern Alps. Constraints from geochemistry. In: *Lithos* 65 (1-2), S. 69–112. DOI: 10.1016/S0024-4937(02)00161-5.
- Melcher, F.; Puhl, J.; Mali, H.; Meisel, Thomas. (1999): Chromite and platinum-group element mineralization in ultramafic rocks of the Speik Complex, Eastern Alps. In: *Mineral Deposits: Processes to Processing*, S. 739–742.
- Morrison, G. G.; Jago, B. C.; White, T. L. (1994): Footwall mineralization of the Sudbury Igneous Complex. In: *Ontario Geological Survey* (Special Volume 5), S. 119–132.
- Mostert, A. B.; Hofmeyr, P. K.; Potgieter, G. A. (1982): The platinum-group mineralogy of the Merensky Reef at the Impala platinum mines, Bophuthatswana. In: *Economic Geology* 77 (6), S. 1385–1394. DOI: 10.2113/gsecongeo.77.6.1385.
- Mungall, J. E. (2007): Crustal Contamination of Picritic Magmas During Transport Through Dikes. The Expo Intrusive Suite, Cape Smith Fold Belt, New Quebec. In: *Journal of Petrology* 48 (5), S. 1021–1039. DOI: 10.1093/petrology/egm009.
- Naldrett, A. J. (1992): A model for the Ni-Cu-PGE ores of the Noril'sk region and its application to other areas of flood basalt. In: *Economic Geology* 87 (8), S. 1945–1962. DOI: 10.2113/gsecongeo.87.8.1945.
- Naldrett, A. J. (1997): Key factors in the genesis of Noril'sk, Sudbury, Jinchuan, Voisey's Bay and other world-class Ni-Cu-PGE deposits. Implications for exploration. In: *Australian Journal of Earth Sciences* 44 (3), S. 283–315. DOI: 10.1080/08120099708728314.
- Naldrett, A. J.; Fedorenko, V. A.; Lightfoot, P. C.; Kunilov, V. I.; Gorbachev, N. S.; Doherty, W.; Johan, Z. (1995): Ni-Cu-PGE deposits of Noril'sk region, Siberia: their formation in conduits for flood basalt volcanism. In: *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section B: Applied Earth Science* 104, S. B18-B36.
- Naldrett, A. J.; Hewins, R. H. (1984): The main mass of the Sudbury igneous complex. In The geology and ore deposits of the Sudbury structure. In: *Ontario Geological Survey* (Special Volume 1), S. 235–251.

- Naldrett, A. J.; Lightfoot, P. C.; Fedorenko, V.; Doherty, W.; Gorbachev, N. S. (1992): Geology and geochemistry of intrusions and flood basalts of the Noril'sk region, USSR, with implications for the origin of the Ni-Cu ores. In: *Economic Geology* 87 (4), S. 975–1004. DOI: 10.2113/gsecongeo.87.4.975.
- Naldrett, A. J.; Wilson, A.; Kinnaird, J.; Chunnett, G. (2009): PGE Tenor and Metal Ratios within and below the Merensky Reef, Bushveld Complex. Implications for its Genesis. In: *Journal of Petrology* 50 (4), S. 625–659. DOI: 10.1093/petrology/egp015.
- Naldrett, A. J.; Wilson, Allan; Kinnaird, Judith; Yudovskaya, Marina; Chunnett, Gordon (2012): The origin of chromitites and related PGE mineralization in the Bushveld Complex: new mineralogical and petrological constraints. In: *Miner Deposita* 47 (3), S. 209–232. DOI: 10.1007/s00126-011-0366-3.
- Niedermayr, G.; Auer, C.; Bernhard, F.; Bojar, H.-P.; Brandstätter, F.; Grill, J. et al. (2015): Neue Mineralfunde aus Österreich LXIV. In: *Carinthia II* 125 (205), S. 207–280.
- Pestal, G. (1983): Beitrag zur Kenntnis der Geologie in den mittleren Hohen Tauern im Bereich des Amer- und des Felbertales (Pinzgau/Salzburg).
- Pestal, Gerhard; Braunstingl, Rainer (Hg.) (2009): Geologische Karte von Salzburg. Erläuterungen ; 11 Farbtaf. Geologische Bundesanstalt. Wien, Salzburg: Geolog. Bundesanstalt; Land Salzburg (Geologie der österreichischen Bundesländer).
- Raumer, J. F.; Neubauer, F. (Hg.) (1993): Pre-Mesozoic Geology in the Alps. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-84640-3>.
- Sandmann, D.; Gutzmer, J. (2015): Nature and distribution of PGE mineralisation in gabbroic rocks of the Lusatian Block, Saxony, Germany <BR>Art und Verbreitung der PGE-Mineralisation in den gabbroiden Gesteinen des Lausitzer Blocks, Sachsen, Deutschland. In: *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften* 166 (1), S. 35–53. DOI: 10.1127/1860-1804/2014/0083.
- Schmid, S. M.; Scharf, A.; Handy, M. R.; Rosenberg, C. L. (2013): The Tauern Window (Eastern Alps, Austria). A new tectonic map, with cross-sections and a tectonometamorphic synthesis. In: *Swiss J Geosci* 106 (1), S. 1–32. DOI: 10.1007/s00015-013-0123-y.
- Seifriedsberger, J. (2015): Haidbach Bergbau an der Gaiswand im Felbertal. In: *Bramberger Montanhefte* 2015 (14).
- Sluzhenikin, S. F. (2011): Platinum-copper-nickel and platinum ores of Norilsk Region and their ore mineralization. In: *Russ J Gen Chem* 81 (6), S. 1288–1301. DOI: 10.1134/S1070363211060351.
- Stone, W. E.; Fleet, M. E.; MacRae, N. D. (1989): Two-phase nickeliferous monosulfide solid solution (mss) in megacrysts from Mount Shasta, California; a natural laboratory for nickel-copper sulfides. In: *American Mineralogist* 74 (9-10), S. 981–993.
- Thalhammer, O. A. R.; Prochaska, W.; Mühlhans, H. W. (1990): Solid inclusions in chrome-spinels and platinum group element concentrations from the hochgrößen and kraubath ultramafic massifs (Austria). In: *Contr. Mineral. and Petrol.* 105 (1), S. 66–80. DOI: 10.1007/BF00320967.
- Uhlig, S.; Kindermann, A.; Seifert, T.; Fiedler, F. & Herzig, P. (2001): Platinmetall-Führung der Ni-Cu-Sulfidmineralisationen im Bereich der Lausitzer Antiklinalzone. In: *Berichte zur Lagerstätten- und Rohstoffforschung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover* (45), S. 68ff.

- Weber, L. (Hg.) (1997): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur metallogenetischen Karte von Österreich 1 : 500000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe ; 37 Tabellen ; [in memoriam emer. Univ. Prof. Dr. mult. Walther Emil Petrascheck]. Wien: Geologische Bundesanstalt (Archiv für Lagerstättenforschung, Bd. 19).
- Weill, D. F.; Drake, M. J. (1973): Europium anomaly in plagioclase feldspar: experimental results and semiquantitative model. In: *Science (New York, N.Y.)* 180 (4090), S. 1059–1060. DOI: 10.1126/science.180.4090.1059.
- Whitford, D. J.; Nicholls, I. A.; Taylor, S. R. (1979): Spatial variations in the geochemistry of quaternary lavas across the Sunda arc in Java and Bali. In: *Contr. Mineral. and Petrol.* 70 (3), S. 341–356. DOI: 10.1007/BF00375361.
- Yu, T. H.; Lin, S. J.; Chao, P.; Fang, C. S.; Huang, C. S. (1974): A preliminary study of some new minerals of the platinum group and another associated new one in platinum-bearing intrusions in a region in China. In: *Acta Geol Sinica* (2), S. 202–218.
- Zaccarini, F.; Garuti, G.; Fiorentini, M. L.; Locmelis, M.; Kollegger, P.; Thalhammer, O. A.R. (2014): Mineralogical hosts of platinum group elements (PGE) and rhenium in the magmatic Ni-Fe-Cu sulfide deposits of the Ivrea Verbano Zone (Italy). An electron microprobe study. In: *N. Jb. Miner. Abh. (Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry)* 191 (2), S. 169–187. DOI: 10.1127/0077-7757/2014/0255.
- Zimmermann, R. & Franz, G. (1989): Die Eklogite der Unteren Schieferhülle; Frosnitztal/Südvenediger (Tauern, Österreich). In: *Mitt. österr. geol. Ges.* (81), S. 167–188.
- Znamensky, V. S.; Korzhinsky, M. A.; Steinberg, G. S.; Trachenko, S. I.; Yakushev, A. I.; Laputina, I. P. et al. (2005): Rheniite, ReS<sub>2</sub>, the natural rhenium disulphide from fumaroles of Kudryavy volcano, Iturup Island, Kurile Islands. In: *Zapiski Vserossiyskogo Mineralogicheskogo Obshchestva* 134 (5), S. 32–40.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Berghaus um 1930 (Günther 2007) .....	11
Abbildung 2: Lage des Stollens (Quelle: SAGIS, <a href="http://www.salzburg.gv.at">http://www.salzburg.gv.at</a> , 01.02.2016, 16.00) .....	12
Abbildung 3: Geologische Übersichtskarte des Tauernfensters (Günther et al. 2000) .....	14
Abbildung 4: Grünschiefer- bzw. Amphibolitfazial beeinflusster Bereich (Günther et al. 2000) .....	15
Abbildung 5: Karte der mineralischen Lagerstätten im Raum Mittersill, braun: Habach-Gruppe, Nummerierung entspricht o.a. Vorkommen (Weber 1997) .....	17
Abbildung 6: Ausschnitt der geologischen Karte Blatt 122 "Kitzbühel" und Blatt 152 "Matrei in Osttirol" ( <a href="http://gisgba.geologie.ac.at">gisgba.geologie.ac.at</a> , 25.08.2015, 09.30) .....	17
Abbildung 7: Untertage-Impressionen .....	23
Abbildung 8: Grubenplan von 1938 der Fried. Krupp AG, Abt. Schlesische Nickelwerke .....	24
Abbildung 9: Grünschiefer, teilweise (stark) Pyrit-imprägniert; links: Probe P7, rechts: Probe P1 .....	25
Abbildung 10: "grüne" und "weiße" Zonen (links, HB-4), eher "gneisiges" Gefüge (rechts, P23) .....	26
Abbildung 11: Probe HB-3 (links) und Probe P12 .....	27
Abbildung 12: Probe P8 .....	27
Abbildung 13: Großkreise und Polpunkte der Schieferung .....	28
Abbildung 14: Schieferung; Links: Ober-, Mitte: Mittel- und rechts: Unterlauf .....	29
Abbildung 15: Störungen .....	29
Abbildung 16: Einregelung der Chlorite (Durchlicht, //N), Bildbreite 4 mm, Probe P28 .....	30
Abbildung 17: Epidot (Durchlicht, #N), Bildbreite 2 mm, Probe HB-5 .....	31
Abbildung 18: Karbonatgang (Durchlicht, links //N, rechts #N), Bildbreite 2 mm, Probe HB-5 .....	31
Abbildung 19: Pyritband (links, Probe HB-6), idiomorphe Pyrite (rechts, Probe P22), Bildbreite 4 mm, Auflicht .....	32
Abbildung 20: Zonengrenze, Durchlicht, links: Bildbreite 2 mm (//N); rechts: Bildbreite 4 mm (#N), Probe HB-7 .....	32
Abbildung 21: Saussuritisierung (#N): ursprüngliches Mineral noch gut zu erkennen, Bildbreite 2 mm, Probe HB-4 .....	33
Abbildung 22: Saussuritisierung (#N): Nur noch ursprüngliche Form erkennbar, Bildbreite: 4 mm, Probe P6 .....	33
Abbildung 23: Amphibole (#N), Bildbreite 4 mm, Durchlicht, Probe HB-9 .....	34
Abbildung 24: Amphibolklassifizierung nach (Na + K)- und Si-Atomen (Deer et al. 2009) .....	35
Abbildung 25: Pyrit in Chalkopyrit, Bildbreite 1 mm, Auflicht, Probe HB-9 .....	37
Abbildung 26: Pentlandit (Pn) mit Violarit-Lamellen (Vio), Bildbreite 0,5 mm, Auflicht, Probe P9 .....	38
Abbildung 27: Sulfidverwachsung, Po Pyrrhotin, Cpy Chalkopyrit, Py Pyrit, Pn Pentlandit, Bildbreite 1 mm, Auflicht, Probe P25 .....	39
Abbildung 28: Cobaltit .....	40
Abbildung 29: Temperaturabschätzung aus der Sulfarsenid-Zusammensetzung (Klemm 1965) .....	41
Abbildung 30: Irarsit .....	42
Abbildung 31: Pd-Melonit .....	43
Abbildung 32: Darstellung der Ni- und Pd-Verteilung der (Pd-)Melonite, Kotulskite, Haxatestibiopanickelite und Sudburyite .....	44
Abbildung 33: Sperryolith, rechts stark vergrößert .....	45
Abbildung 34: Sudburyit .....	46

Abbildung 35: Testibiopalladit.....	47
Abbildung 36: Mapping einer Sperrylith (außen)/Testibiopalladit (innen) - Verwachsung.....	47
Abbildung 37: Hessit.....	48
Abbildung 38: Elektrum in Chalkopyrit.....	49
Abbildung 39: Molybdänit in Chlorit (links) und in Pyrit (rechts).....	50
Abbildung 40: Rheniit in Pyrit.....	51
Abbildung 41: Messung an der Mikrosonde .....	52
Abbildung 42: $\text{RePbS}_2$ -Phase in Cpy zwischen Titanit (Ti) und Hornblende (Hbl) .....	53
Abbildung 43: Sphalerit verwachsen mit Chalkopyrit .....	54
Abbildung 44: Galenit in Pyrit .....	55
Abbildung 45: Schmelztröpfchen in Pyrit; links: alle 3 Phasen, rechts: Pyrrhotin und Pentlandit.....	56
Abbildung 46: Schmelztröpfchen unter Auflicht, Probe P13 .....	56
Abbildung 47: Korrelation der Messergebnisse vom Lehrstuhl für Allgemeine und Analytische Chemie der Montanuniversität Leoben und der Actlabs, Kanada .....	58
Abbildung 48: Korrelation der Leobener ICP-MS und der RFA (Spectroscout) Daten der Spurenelemente .....	59
Abbildung 49: Korrelation der Leobener ICP-MS und der RFA (Spectroscout) Daten der Hauptelemente .....	59
Abbildung 50: Unkorrigierte und korrigierte $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Werte gegen V .....	60
Abbildung 51: $\text{TiO}_2$ gegen $\text{SiO}_2$ der Erzproben .....	61
Abbildung 52: Korrigierte Daten der Erzproben gegen $\text{SiO}_2$ aufgetragen.....	62
Abbildung 53: Korrelation von Bi, Sb, Te, As und Se mit Pd.....	63
Abbildung 54: Korrelation von Bi, Sb, Te, As und Se mit Pt .....	63
Abbildung 55: Hauptelemente der Nebengesteine; grün: im Stollen, blau: außerhalb .....	65
Abbildung 56: Mobile Spurenelemente Sr und Ba der Nebengesteine; grün: im Stollen, blau: außerhalb .....	65
Abbildung 57: Immobille Spurenelemente Y und Nb der Nebengesteine; grün: im Stollen, blau: außerhalb .....	65
Abbildung 58: TAS-Diagramm der Gesteine des Haidbachgrabens nach Middlemost (1994), violette: Erz, grün: unvererzt, blau: Nebengesteine .....	66
Abbildung 59: Ti/Y - Nb/Y Diskriminierungsdiagramm für Basalt mit Feldern für Intraplatten-Basalte, MORB und Vulkanbogen-Basalte (nach Pearce, 1982).....	67
Abbildung 60: Zr-Nb-Y Diskriminierungsdiagramm für Basalte (nach Meschede, 1986). AI: Intraplatten Alkali-Basalte, All: Intraplatten Alkali-Basalte und Intraplatten-Tholeiite, B: E-Typ MORB, C: Intraplatten-Tholeiite und Vulkanbogen-Basalte, D: N-Typ MORB und Vulkanbogen Basalte .....	68
Abbildung 61: SEE-Verteilung, Chondriten-normiert (nach Evensen et al. 1978).....	69
Abbildung 62: Kalkkalisierung des Inselbogens aus der Subduktionszone der Sundainseln vor Java und Bali (nach Whitford et al. 1979) .....	70
Abbildung 63: Gesteine der Habach Gruppe; x und + Felbertal (Scheelit-Lagerstätte), ■ Reißbeck, * Ankogel, Δ und o Eiserfolge (Basisschiefer (Daten von Gilg et al. 1989)) (HÖCK in Raumer und Neubauer 1993).....	70
Abbildung 64: Pd/Pt vs. Ni/Cu Diskriminierungsdiagramm nach Barnes (1990) .....	72
Abbildung 65: Diskriminierungsdiagramm nach Pearce & Cann (1973); links: Haidbachgraben, rechts: "Hochfeld"; □ = Amph.-Schiefer; ◇= Metagabbro; O = Ep-Amphibolit. WPB = Intraplatten	

Basalte, OFB = Ozeanbodenbasalte, LKT = "Low K" Tholeiite (=IAT = Inselbogen Tholeiite), CAB =  
 Kalkalkali-Basalte (Seemann et al. in Höck 1993)..... 73  
 Abbildung 66: Edelmetall-Mineralogie von Kraubath (Malitch et al. 2003) ..... 74  
 Abbildung 67: Vergleich der Mineralogie des Haidbachgrabens mit jener anderer Cu- bzw.  
 PGE-Lagerstätten..... 75

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Koordinaten des Mundlochs.....	12
Tabelle 2: Vergleich der Weltproduktion zur Produktion in der EU für Pd, Pt und Rh (World-Mining-Data 2015) .....	12
Tabelle 3: Analysatorkristalle und Standards .....	21
Tabelle 4: Auswertung der REM-Daten für die Hauptminerale, normiert auf 100 Gew.%, wasserfrei	35
Tabelle 5: Auswertung der REM-Daten für die Nebengemengteile bzw. Accessorien .....	36
Tabelle 6: Maximum und Mittelwert der eingebauten Elemente in Pyrit .....	37
Tabelle 7: Maximum und Mittelwert der eingebauten Elemente in Pyrrhotin .....	37
Tabelle 8: Maximum und Mittelwert der eingebauten Elemente in Chalkopyrit .....	38
Tabelle 9: Maximum und Mittelwert der eingebauten Elemente in Pentlandit.....	38
Tabelle 10: Maximum und Mittelwert der eingebauten Elemente in Violarit.....	38
Tabelle 11: Zusammensetzung verschiedener Cobaltite und Gersdorffite.....	40
Tabelle 12: Zusammensetzung aller gemessenen Irarsite .....	41
Tabelle 13: Zusammensetzung verschiedener (Pd-)Melonite.....	43
Tabelle 14: Zusammensetzung verschiedener Sperrylithe .....	44
Tabelle 15: Zusammensetzung verschiedener Hexatestibiopanickelite (in Schwarz) und Sudburyite (in Grün) .....	45
Tabelle 16: Zusammensetzung verschiedener Testibiopalladite .....	46
Tabelle 17: Zusammensetzung verschiedener Hessite .....	48
Tabelle 18: Zusammensetzung verschiedener Empressite .....	48
Tabelle 19: Zusammensetzung verschiedener Elektrum-Mineralen.....	49
Tabelle 20: Zusammensetzung verschiedener Molybdänite .....	50
Tabelle 21: Mikrosonden-Daten für Molybdänite in P25.....	50
Tabelle 22: EDX-Daten verschiedener Rheniite.....	51
Tabelle 23: Mikrosonden-Daten einiger Rheniite .....	51
Tabelle 24: EDX-Daten verschiedener RePbS <sub>2</sub> -Phase.....	52
Tabelle 25: Zusammensetzung verschiedener Sphalerite.....	53
Tabelle 26: Einige der nicht zugeordneten/unsicheren Minerale.....	55
Tabelle 27: PGE und PGE+Au-Gehalte der Erzproben des Haidbachgrabens .....	62

## **Anhang**

Anhang I Probenliste

Anhang II Geologische Karte des Stollens

Anhang III Geochemische Daten

Anhang IV Strukturdaten

Anhang V Sulfide und Einschlussminerale

Anhang VI Zusammengefasste Daten

Anhang VII Mineralogie Noril'sk

## **Anhang I Probenliste**

## Probenliste

Probenr	Herkunft	Geologie	DL	AL	REM	RFA	ICP-MS	Actlabs
HAID-1	genaue Herkunft unbekannt	Erz		X		X	X	X
HAID-2	genaue Herkunft unbekannt	Erz		X		X	X	
HAID-3	genaue Herkunft unbekannt	Erz		X	X	X	X	X
HAID-4	Unterlauf, westlich	Erythrinausblühung		X		X	X	
HB-1	Oberlauf, Westliche Ortsbrust	Gneis	X	X	X			
HB-2	Oberlauf, Westlich	Gneis	X	X		X		
HB-3	Oberlauf, westlich, vor Erzlager	Erz		X		X	X	X
HB-4	Oberlauf, Nordöstliche Ortsbrust	Grünschiefer	X	X		X		
HB-5	Oberlauf, Östliche Ortsbrust	Grünschiefer	X	X		X	X	
HB-6	Oberlauf, Nordwestliche Ortsbrust	Grünschiefer	X	X				
HB-7	Mittellauf, Südliche Ortsbrust	Gneis	X	X				
HB-8	Mittellauf, Zentrales Wegkreuz	Grünschiefer, Py-imprägniert	X	X				
HB-9	Mittellauf, Zentrales Wegkreuz	Erz	X	X	X	X	X	X
HB-10	Unterlauf, Westlicher Teil, Südl. Gang	Gneis	X	X				
HB-11	Unterlauf, Westlicher Teil, Nördl. Gang	karbonatisch, leuchtet grün unter UV-Licht						
HB-12	Unterlauf, Westliche Ortsbrust	Grünschiefer	X	X		X		
HB-13	Unterlauf, Mittelteil	Gneis						
HB-14	Unterlauf, Östlicher Teil, Nördl. Gang	karbonatisch, leuchtet grün unter UV-Licht						
HB-15	Unterlauf, Östlicher Teil, Nördl. Gang	Turmalingang						
HB-27	Wo Haidbach über oberen Forstweg fließt	Grünschiefer	X			X		
P1	Unterlauf, Westlicher Teil, Südliche Ortsbrust	Grünschiefer, Py-imprägniert						
P2	Unterlauf, Mittelteil	karbonatisch						
P3	Unterlauf, Westlicher Teil	Erythrinausblühung		X		X		
P4	Unterlauf, Westlicher Teil, NO Ortsbrust	Gneis	X	X				
P6	Unterlauf, Mittelteil	Gneis	X					
P7	Unterlauf, Östlicher Teil, Nördl. Gang	Grünschiefer						
P8	Unterlauf, Östlicher Teil, Nördl. Ortsbrust	Amphibolit	X					

Probenr	Herkunft	Geologie	DL	AL	REM	RFA	ICP-MS	Actlabs
P9	Unterlauf, unteres östl. Mundloch	Erz		X	X	X	X	X
P10	Unterlauf, Mittelteil, südl. Gang	Grünschiefer, Py-imprägniert	X	X				
P11	Unterlauf, Mittelteil, Aufgang zu Mittellauf	Grünschiefer						
P12	Mittellauf, Zentrales Wegkreuz	Erz						
P13	Oberlauf, Nordöstl. Gang	Erz		X	X	X	X	X
P14	Unterlauf, Mittelteil	Grünschiefer, mit rotem Überzug						
P15	Forstweg, westlichste Probe	Grünschiefer	X			X	X	
P16	Forstweg	Grünschiefer	X					
P17	Forstweg	Amphibolschiefer	X			X	X	
P18	Forstweg, bei Maurer's Hütte (Guggenastl)	Metagabbro	X			X	X	
P19	Forstweg, bei Maurer's Hütte (Guggenastl)	feinkörniger Amphibolit	X			X	X	
P20	Unterlauf, Westlicher Teil	Karbonatisch?						
P21	Unterlauf, Westliche Ortsbrust	Quarzitisch?						
P22	Mittellauf, Wegkreuz bei Aufgang zu Oberlauf	Grünschiefer	X			X	X	
P23	Mittellauf, Zentrales Wegkreuz	Gneis	X	X		X		
P25	Mittellauf, Aufgang zu Oberlauf	Erz		X	X			
P26	Oberlauf, vis-a-vis Abgang zu unterem Mundloch	Grünschiefer						
P27	Oberlauf, Östlich, Ecke zu kurzem Gang nach N	Erz		X	X	X	X	X
P28	Oberlauf, Ecke zu langem nordöstl. Gang	Grünschiefer, Py-imprägniert	X	X				

DL Durchlichtmikroskopie  
AL Auflichtmikroskopie  
REM Rasterelektronenmikroskop  
RFA Röntgenfluoreszenzanalyse  
ICP-MS ICP-MS Analysen in Leoben  
Act Labs Analysen im Act Labs Labor/Kanada

## **Anhang II Geologische Karte des Stollens**

Masterarbeit Sonja Schwabl

## Legende zur geologischen Karte "Stollen Haidbachgraben"

Kartierung 28.06.2015-30.06.2015 im Maßstab 1:100

	Karbonat
	Quarzit
	Grünschiefer, mit engständiger Schieferung
	massiger Grünschiefer, massiger Gneis
	Erz
	Amphibolit
	Qz-Gänge sf-parallel
	Qz-Gänge diskordant
	Karbonat-Gänge sf-parallel
	Pyrit-imprägniert, disseminiert
	Erzverwitterung
	Oxidationszone/Verwitterung
	Störung
	Quellaustritt
	0-5°
	5-30°
	30-60°
	60-85°
	85-90°



Peterstollen

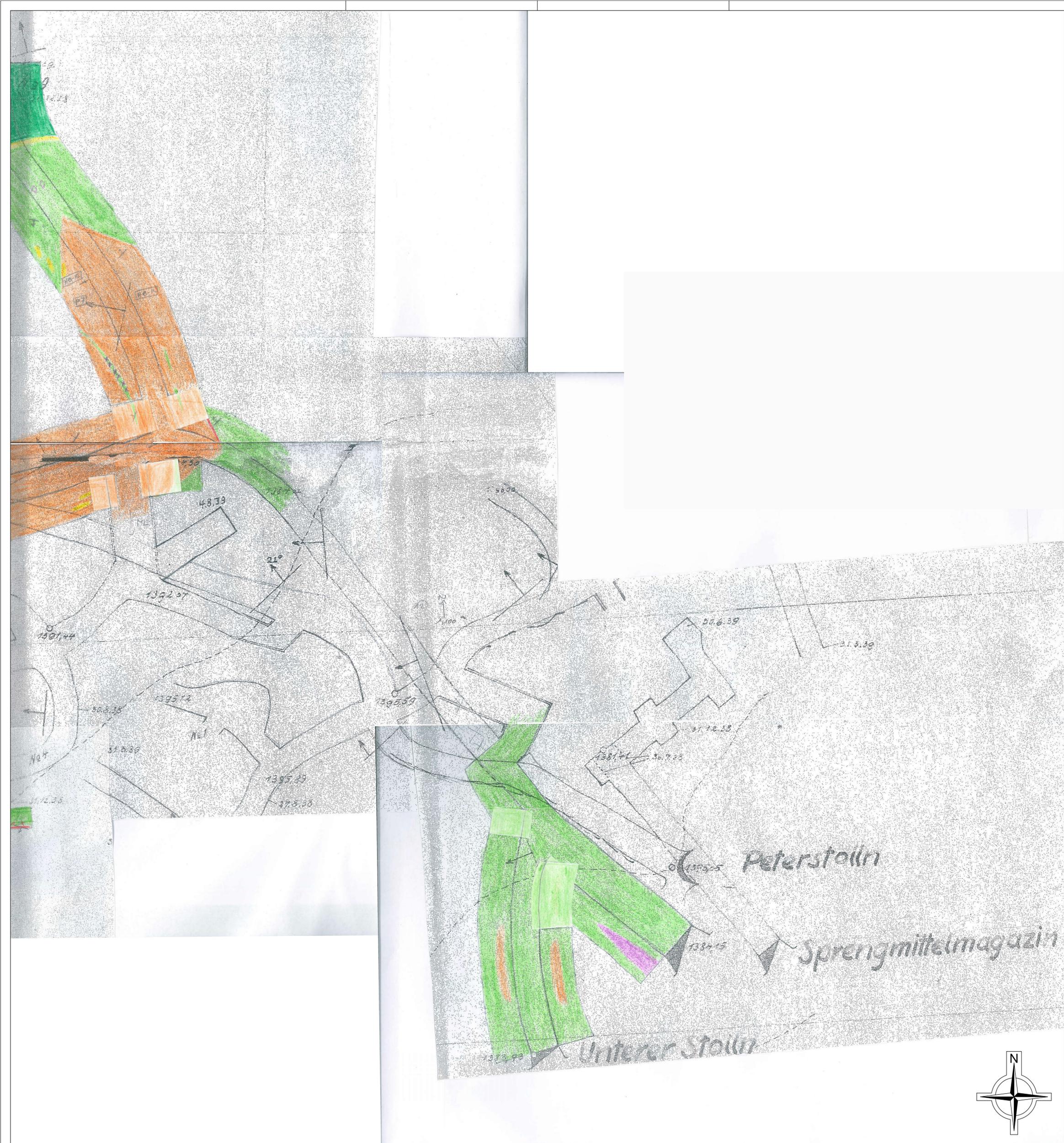


Masterarbeit Sonja Schwabl		Maßstab:
Stollen Haidbachgraben		1 : 100
Oberlauf		Kartierung:
		28.6. - 30.6.2015
Verfasser:	Betreuer:	
Sonja Schwabl, BSc	Univ.-Prof. Mag. rer. nat. Dr. mont. Frank Melcher	





Masterarbeit Sonja Schwabl Stollen Haidbachgraben Mittellauf		Maßstab: 1 : 100		
Verfasser: Sonja Schwabl, BSc		Betreuer: Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.mont. Frank Melcher		
		Kartierung: 28.6. - 30.6.2015		



Masterarbeit Sonja Schwabl		Maßstab:
Stollen Haidbachgraben		1 : 100
Unterlauf - Ost		Kartierung:
		28.6. - 30.6.2015
Verfasser:	Betreuer:	
Sonja Schwabl, BSc	Univ.-Prof. Mag. rer. nat. Dr. mont. Frank Melcher	





## **Anhang III Geochemische Daten**

Elemente	Einheit	HB-2		HB-3		HB-4		HB-5	
		Spectroscout		Act Labs		Spectroscout		Spectroscout	
		RFA	FA-MS	TD-MS	ICP-MS	RFA	RFA	ICP-MS	RFA
SiO <sub>2</sub>	%	49,705			27,781	32,900	36,700	54,524	41,700
TiO <sub>2</sub>	%	0,459		0,159	0,196	0,270	0,294	0,939	0,554
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	18,475		3,911	4,953	7,979	12,655	16,261	14,750
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	6,655		33,884	33,778	25,360	5,304	7,547	6,732
MnO	%	0,090			0,111	0,139	0,107	0,113	0,855
MgO	%	1,908		3,432	3,979	7,588	2,468	5,009	6,586
CaO	%	5,562		4,952	5,664	11,050	10,485	6,916	6,488
Na <sub>2</sub> O	%	4,045		0,013		<0,14	3,340		1,920
K <sub>2</sub> O	%	1,547		<0,01	0,007	0,045	0,463	1,242	1,213
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,436		0,034	0,024	0,099	0,234	0,312	0,264
S	%	1,551		>20		12,345	0,138		0,057
Ag	ppm	<0,8		8,86	7,21	20,40	<0,8	8,49	<0,8
As	ppm	1,7		618	619,16	457,00	2,90	9,57	5,30
Ba	ppm	1077		6	0,71	<6,5	355,70	1297,94	1182,00
Be	ppm			0,1	0,15			2,67	
Bi	ppm	<0,8		1,8		<1,7	<0,7		<0,7
Cd	ppm	<0,6		3,2	3,93	2,50	<0,6	0,23	<0,6
Ce	ppm			1,6	1,52			69,84	
Co	ppm	<4,1		> 500	1041,88	378,00	<4,1	24,92	18,00
Cr	ppm	<5,1		318	570,91	1250,00	30,40	154,31	132,00
Cs	ppm			0,18	0,19			5,88	
Cu	ppm	137		> 10000	9345,89	14950,00	26,20	39,63	49,20
Dy	ppm			0,5	0,46			3,79	
Er	ppm			0,3	0,32			1,96	
Eu	ppm			0,07	0,07			1,68	
Ga	ppm			4,4	4,33			17,12	
Gd	ppm			0,4	0,38			5,00	
Ge	ppm			< 0.1					
Hf	ppm			< 0.1	0,22			3,91	

Elemente	Einheit	HB-2		HB-3		HB-4		HB-5	
		Spectroscout		Act Labs		Spectroscout		Spectroscout	
		RFA	FA-MS	TD-MS	Leoben	ICP-MS	RFA	RFA	Leoben
Hg	ppb			2560					
Ho	ppm			< 0.1	0,10			0,71	
In	ppm	<0,6		0,1		1,50	<0,8		<0,8
La	ppm			0,8	0,66			36,94	
Li	ppm			7,9	7,79			20,28	
Lu	ppm			< 0.1	0,08			0,27	
Mn	ppm			809					
Mo	ppm	1,4		1,08		<0,5	2,60		3,90
Nb	ppm			0,9	0,79			12,16	
Nd	ppm			1	1,12			34,34	
Ni	ppm	142		3340	2441,61	3647,00	19,10	79,80	54,30
Pb	ppm	15,8		13,8	11,98	14,80	19,10	4,68	6,90
Pr	ppm			0,2	0,22			8,71	
Rb	ppm	51,9		< 0.2	0,05	<0,5	15,70	49,66	42,40
Sb	ppm	2,9		1,7	1,57	7,60	1,80	0,83	<2,3
Sc	ppm			11	11,14			26,09	
Se	ppm			57,2					
Sm	ppm			0,3	0,32			6,37	
Sn	ppm	4,6		1	0,00	7,70	2,90	0,00	4,20
Sr	ppm	630		110	114,25	129,00	575,00	274,00	255,00
Ta	ppm			< 0.1	0,00			0,52	
Tb	ppm			< 0.1	0,07			0,70	
Te	ppm	<1,5		3,8		14,20	<1,4		<1,4
Th	ppm	2,5		0,1		5,50	2,10		10,90
Tl	ppm			< 0.05	0,01			0,35	
Tm	ppm			< 0.1	0,06			0,28	
U	ppm	<1,1		0,1		<2,3	<0,9		<1,2
V	ppm			47	57,60			215,48	
W	ppm	<1,5		0,3	5,21	<2,8	<1,3	4,27	<1,4
Y	ppm			2,2	2,60			20,22	

Elemente	Einheit	HB-2		HB-3		HB-4		HB-5	
		Spectroscout		Act Labs		Spectroscout	Spectroscout	Leoben	Spectroscout
		RFA	FA-MS	TD-MS	ICP-MS	RFA	RFA	ICP-MS	RFA
Yb	ppm			0,4	0,40			1,79	
Zn	ppm	33		250	231,58	319,00	27,90	75,69	74,50
Zr	ppm	71		2	11,99	12,00	69,00	162,49	169,00
Au	ppb		205		40			60	
Ir	ppm				<0,015			<0,015	
Pd	ppb	<400	205		<50	<600	<400	<50	<400
Pt	ppb	<1600	365		280	<1400	<1600	<50	<1700
Re	ppm			0,088	0,09			0,01	
Rh	ppm				<0,02			<0,02	
Ru	ppm				<0,1			<0,1	

Elemente	Einheit	HB-9				HB-12	HB-27	P3	P9			
		Act Labs		Leoben	Spectroscout	Spectroscout	Spectroscout	Spectroscout	Act Labs		Leoben	Spectroscout
		FA-MS	TD-MS	ICP-MS	RFA	RFA	RFA	RFA	FA-MS	TD-MS	ICP-MS	RFA
SiO <sub>2</sub>	%			26,443	37,550	44,355	46,905	26,880			16,137	27,430
TiO <sub>2</sub>	%		0,095	0,107	0,127	0,545	1,054	0,153		0,173	0,213	0,272
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		2,985	3,728	6,424	18,895	13,880	11,345		2,910	3,820	7,299
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		34,456	34,517	30,075	6,263	8,809	18,040		41,461	44,386	40,565
MnO	%			0,126	0,154	0,094	0,135	0,169			0,091	0,110
MgO	%		7,329	8,029	13,345	1,581	8,146	9,541		3,764	4,446	8,565
CaO	%		4,491	4,852	7,023	6,148	7,749	11,575		2,378	2,773	5,063
Na <sub>2</sub> O	%		0,202		<0,14	1,665	3,335	<0,14		0,216		<0,14
K <sub>2</sub> O	%		0,012	0,006	0,063	3,040	0,288	0,021		0,289	0,348	0,517
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%		0,023	0,012	0,115	0,416	0,298	0,053		0,032	0,015	0,180
S	%		14,700		10,920	0,645	0,020	2,479		>20		18,370
Ag	ppm		3,9	3,54	12,20	<0,8	<0,9	3,20		6,85	7,22	22,40
As	ppm		264	291,01	194,00	33,40	<0,4	200,00		362	410,45	359,00
Ba	ppm		< 1	0,00	<6,1	815,00	120,00	<8,4		77	104,84	67,30
Be	ppm		0,4	0,40						0,5	0,56	
Bi	ppm		1,29		<1,6	<0,8	<0,7	<1,2		1,08		<2,2
Cd	ppm		1	1,08	<1	3,40	<0,8	<0,8		1	1,19	<1,1
Ce	ppm		1,2	0,96						1,8	1,86	
Co	ppm		> 500	560,99	379,00	<5,2	<7,6	63,00		> 500	908,64	664,00
Cr	ppm		682	1037,66	1886,00	<5,1	237,00	571,00		401	620,59	1301,00
Cs	ppm		0,2	0,22						10,5	11,47	
Cu	ppm		5000	3019,43	4510,00	42,00	<5,1	1012,00		> 10000	6836,12	10710,00
Dy	ppm		0,5	0,45						0,8	0,77	
Er	ppm		0,3	0,30						0,5	0,52	
Eu	ppm		0,09	0,10						0,08	0,11	
Ga	ppm		5,3	4,87						3,6	4,21	
Gd	ppm		0,4	0,36						0,6	0,63	
Ge	ppm		< 0.1							< 0.1		
Hf	ppm		< 0.1	0,15						0,1	0,23	

Elemente	Einheit	Act Labs		HB-9	HB-12		HB-27	P3	P9		Spectroscout RFA	
		FA-MS	TD-MS	Leoben	Spectroscout	Spectroscout	Spectroscout	Spectroscout	Act Labs	Leoben		
				ICP-MS	RFA	RFA	RFA	RFA		FA-MS		TD-MS
Hg	ppb		70							30		
Ho	ppm		0,1	0,10						0,2	0,17	
In	ppm		< 0.1		<0,9	0,90	1,40	<0,7		< 0.1		<1,4
La	ppm		0,5	0,44						0,7	0,84	
Li	ppm		2,8	2,60						3,3	3,35	
Lu	ppm		< 0.1	0,05						< 0.1	0,08	
Mn	ppm		1030							643		
Mo	ppm		2,03		<0,5	5,20	<0,3	4,40		2,21		<0,6
Nb	ppm		0,2	0,12						0,3	0,20	
Nd	ppm		0,9	0,88						1,4	1,68	
Ni	ppm		> 5000	14029,28	17430,00	5,10	70,50	7275,00		> 5000	14319,97	20245,00
Pb	ppm		3	1,40	7,60	90,50	2,80	11,60		6	3,54	11,00
Pr	ppm		0,2	0,17						0,3	0,33	
Rb	ppm		< 0.2	0,06	<0,7	134,60	17,40	<0,4		21,2	23,11	26,70
Sb	ppm		0,6	0,49	2,50	1,90	5,40	6,40		0,9	0,89	8,50
Sc	ppm		9	9,34						11	9,70	
Se	ppm		53,2							78,8		
Sm	ppm		0,3	0,29						0,5	0,52	
Sn	ppm		1	0,00	6,30	4,40	5,80	<4,4		1	0,00	3,40
Sr	ppm		6,3	6,41	7,10	432,00	286,00	185,00		5,6	6,11	5,10
Ta	ppm		< 0.1	0,00						< 0.1	0,00	
Tb	ppm		< 0.1	0,06						0,1	0,12	
Te	ppm		8,1		17,90	<1,4	<1,8	6,50		5,6		19,70
Th	ppm		< 0.1		3,30	3,50	3,20	4,20		0,1		8,70
Tl	ppm		< 0.05	0,02						0,53	0,51	
Tm	ppm		< 0.1	0,05						< 0.1	0,08	
U	ppm		< 0.1		<2,5	<1,3	<0,9	<1,1		0,2		4,50
V	ppm		58	75,27						63	79,92	
W	ppm		0,1	4,67	<5,1	<1,4	<1,5	<7,2		0,3	4,50	<2,5
Y	ppm		2,5	2,89						3,9	4,75	

Elemente	Einheit	Act Labs		HB-9	HB-12		HB-27	P3	P9			
		FA-MS	TD-MS	Leoben	Spectroscout	Spectroscout	Spectroscout	Spectroscout	Act Labs	Leoben	Spectroscout	
				ICP-MS	RFA	RFA	RFA	RFA	FA-MS	TD-MS	ICP-MS	RFA
Yb	ppm		0,3	0,31						0,5	0,50	
Zn	ppm		136	117,79	184,00	147,60	66,80	139,60		86,8	124,16	163,00
Zr	ppm		3	7,67	11,50	43,60	99,40	13,10		3	10,41	19,60
Au	ppb	59		30					122		30	
Ir	ppm			<0,015							<0,015	
Pd	ppb	949		<50	<600	<400	<400	<500	864		<50	<700
Pt	ppb	239		200	<1200	<1800	<1600	<1400	1010		300	<1200
Re	ppm		0,192	0,20						0,233	0,27	
Rh	ppm			<0,02							<0,02	
Ru	ppm			<0,1							<0,1	

Elemente	Einheit	P13				P15		P17		P18	
		Act Labs		Leoben	Spectroscout	Leoben	Spectroscout	Leoben	Spectroscout	Leoben	Spectroscout
		FA-MS	TD-MS	ICP-MS	RFA	ICP-MS	RFA	ICP-MS	RFA	ICP-MS	RFA
SiO <sub>2</sub>	%			23,751	37,980	47,378	44,530	46,914	43,915	48,105	43,200
TiO <sub>2</sub>	%		0,205	0,237	0,288	1,711	1,082	2,870	2,361	1,591	1,040
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		3,873	5,323	9,402	16,058	14,990	15,020	12,080	17,386	15,245
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		31,453	35,491	29,530	9,424	8,393	12,894	11,655	10,138	8,664
MnO	%			0,102	0,125	0,163	0,140	0,185	0,159	0,165	0,133
MgO	%		6,549	8,170	15,265	7,038	8,554	4,111	5,377	7,349	7,237
CaO	%		3,204	4,066	6,417	6,966	5,964	9,635	8,918	8,696	7,171
Na <sub>2</sub> O	%		0,148		<0,14		3,830		2,770		3,520
K <sub>2</sub> O	%		0,012	0,000	0,068	0,053	0,059	0,245	0,198	0,105	0,107
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%		0,034	0,028	0,097	0,222	0,258	0,436	0,565	0,176	0,208
S	%		17,300		9,548		0,038		0,032		0,020
Ag	ppm		2,37	2,49	8,90	11,31	<0,8	10,50	<0,9	9,95	<0,8
As	ppm		539	609,98	480,00	3,68	<0,8	2,71	<0,7	1,47	<0,4
Ba	ppm		1	6,70	13,90	9,02	<6,5	86,19	61,90	33,63	23,40
Be	ppm		1,1	1,25		1,65		1,27		0,49	
Bi	ppm		0,68		<1,9		<0,7		<0,8		<0,8
Cd	ppm		0,6	0,75	<1	0,14	<0,6	0,22	<0,7	0,40	<0,8
Ce	ppm		3,3	2,90		20,16		39,72		17,64	
Co	ppm		> 500	661,83	186,00	50,79	<7,2	33,54	<6,8	41,67	<7,5
Cr	ppm		588	933,16	1866,00	243,05	248,00	34,51	59,80	279,67	223,70
Cs	ppm		0,21	0,23		0,09		0,95		0,05	
Cu	ppm		2560	1756,90	2833,00	51,52	39,90	7,18	<1,6	2,14	<1,1
Dy	ppm		1	0,99		5,39		9,08		5,18	
Er	ppm		0,6	0,64		3,24		5,33		3,11	
Eu	ppm		0,13	0,14		1,31		2,23		1,29	
Ga	ppm		6,1	6,35		15,85		20,93		17,01	
Gd	ppm		0,8	0,83		4,68		8,34		4,46	
Ge	ppm		< 0.1								
Hf	ppm		0,1	0,29		2,39		4,53		2,43	

Elemente	Einheit	Act Labs		P13		P15		P17		P18	
		FA-MS	TD-MS	Leoben	Spectroscout	Leoben	Spectroscout	Leoben	Spectroscout	Leoben	Spectroscout
				ICP-MS	RFA	ICP-MS	RFA	ICP-MS	RFA	ICP-MS	RFA
Hg	ppb		20								
Ho	ppm		0,2	0,21		1,14		1,88		1,08	
In	ppm		< 0.1		1,00		<1,1		0,80		<0,6
La	ppm		1,5	1,29		9,12		17,33		7,97	
Li	ppm		2,5	2,45		20,52		10,75		15,02	
Lu	ppm		< 0.1	0,10		0,44		0,73		0,43	
Mn	ppm		682								
Mo	ppm		1,73		<0,5		<0,5		<0,4		<0,3
Nb	ppm		0,5	0,42		4,55		7,48		3,72	
Nd	ppm		2,3	2,22		13,81		25,89		12,51	
Ni	ppm		> 5000	6778,89	9143,00	106,49	66,00	17,42	7,40	121,20	80,80
Pb	ppm		5,6	3,55	11,60	2,94	4,40	1,24	2,60	3,57	4,00
Pr	ppm		0,5	0,46		2,90		5,49		2,60	
Rb	ppm		< 0.2	0,08	0,80	1,02	<0,3	5,68	4,00	1,85	1,40
Sb	ppm		0,8	0,73	4,10	0,80	4,00	1,51	5,00	0,62	3,40
Sc	ppm		14	12,58		32,11		30,34		31,94	
Se	ppm		42,2								
Sm	ppm		0,6	0,66		3,99		7,22		3,70	
Sn	ppm		1	0,00	6,50	0,00	3,90	0,02	7,20	0,00	4,60
Sr	ppm		11,9	14,48	14,40	240,00	242,60	265,00	253,10	218,18	208,40
Ta	ppm		< 0.1	0,00		0,22		0,43		0,18	
Tb	ppm		0,1	0,15		0,86		1,46		0,82	
Te	ppm		2		21,20		2,80		4,60		2,60
Th	ppm		0,3		5,30		2,00		4,50		2,00
Tl	ppm		1,6	1,45		0,01		0,04		0,01	
Tm	ppm		< 0.1	0,10		0,46		0,77		0,46	
U	ppm		0,2		4,50		<0,8		<1		<0,9
V	ppm		88	117,27		298,55		369,90		268,66	
W	ppm		0,2	4,07	<2,5	3,13	<1,5	3,12	<1,7	2,88	<1,5
Y	ppm		4,9	5,94		30,94		51,81		29,64	

Elemente	Einheit	P13				P15		P17		P18	
		Act Labs		Leoben	Spectroscout	Leoben	Spectroscout	Leoben	Spectroscout	Leoben	Spectroscout
		FA-MS	TD-MS	ICP-MS	RFA	ICP-MS	RFA	ICP-MS	RFA	ICP-MS	RFA
Yb	ppm		0,6	0,62		2,95		4,82		2,87	
Zn	ppm		57	67,44	104,30	88,58	79,10	68,27	68,20	82,88	72,00
Zr	ppm		4	12,09	23,50	99,34	114,70	186,23	187,00	97,11	97,40
Au	ppb	62		20		60		80		50	
Ir	ppm			0,02		<0,015		<0,015		<0,015	
Pd	ppb	166		<50	<600	100,00	<400	80,00	<400	<50	<400
Pt	ppb	149		70	<1200	<50	<1600	<50	<1500	<50	<1600
Re	ppm		0,206	0,23		<0,01		<0,01		<0,01	
Rh	ppm			<0,02		<0,02		<0,02		<0,02	
Ru	ppm			<0,1		<0,1		<0,1		<0,1	

Elemente	Einheit	P19		P22		P23		Act Labs		P27	
		Leoben	Spectroscout	Leoben	Spectroscout	Spectroscout		FA-MS	TD-MS	Leoben	Spectroscout
		ICP-MS	RFA	ICP-MS	RFA	RFA				ICP-MS	RFA
SiO <sub>2</sub>	%	47,178	44,860	54,392	44,275	50,640				28,559	37,335
TiO <sub>2</sub>	%	2,231	1,708	0,892	0,652	0,534		0,240		0,287	0,299
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	15,457	12,810	15,321	13,315	16,600		4,251		6,206	10,310
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	12,350	10,855	7,331	6,748	5,318		26,306		32,729	30,055
MnO	%	0,201	0,173	0,106	0,082	0,044				0,114	0,141
MgO	%	6,620	8,515	4,321	5,996	2,180		6,317		8,412	13,060
CaO	%	9,131	7,957	6,129	5,764	4,476		3,609		5,023	7,655
Na <sub>2</sub> O	%		2,230		3,425	6,905		0,094			<0,14
K <sub>2</sub> O	%	0,067	0,069	0,019	0,038	0,069		<0,01		0,000	0,062
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,224	0,271	0,290	0,288	0,548		0,037		0,029	0,115
S	%		0,038		0,038	1,870		12,900			8,514
Ag	ppm	15,41	<0,9	7,93	<0,8	<0,8		4,81		4,30	15,65
As	ppm	6,43	2,90	7,19	4,60	15,50		875		999,31	1006,00
Ba	ppm	11,01	<7,2	10,12	<5,6	13,20		2		0,00	<6
Be	ppm	1,06		0,57				0,7		0,90	
Bi	ppm		<0,8		<0,7	<0,7		1,02			<0,7
Cd	ppm	0,28	<0,7	0,25	<0,6	<0,6		1,6		2,20	2,10
Ce	ppm	24,50		71,34				2,4		2,47	
Co	ppm	39,65	<6,9	27,05	<5,9	<6,8		> 500		1333,52	699,00
Cr	ppm	43,23	57,20	135,38	158,00	14,90		667		971,21	1882,00
Cs	ppm	0,02		0,12				0,44		0,53	
Cu	ppm	25,73	23,70	22,15	10,30	324,00		6690		5022,63	7203,00
Dy	ppm	7,77		3,69				1,1		1,13	
Er	ppm	4,72		1,93				0,7		0,75	
Eu	ppm	1,90		1,37				0,22		0,25	
Ga	ppm	19,16		16,56				6,9		7,51	
Gd	ppm	6,64		4,88				0,8		0,94	
Ge	ppm							< 0.1			
Hf	ppm	3,68		4,13				0,1		0,32	

Elemente	Einheit	P19		P22		P23		P27		Spectroscout RFA
		Leoben	Spectroscout	Leoben	Spectroscout	Spectroscout	Act Labs		Leoben	
		ICP-MS	RFA	ICP-MS	RFA	RFA	FA-MS	TD-MS	ICP-MS	
Hg	ppb							20		
Ho	ppm	1,65		0,70				0,2	0,25	
In	ppm		1,40		1,10	<0,8		< 0.1		<0,8
La	ppm	10,73		37,80				1	1,06	
Li	ppm	9,05		16,32				3,9	4,14	
Lu	ppm	0,64		0,27				0,1	0,13	
Mn	ppm							749		
Mo	ppm		<0,4		2,70	<0,6		4,23		1,70
Nb	ppm	4,78		12,73				0,4	0,36	
Nd	ppm	18,02		33,93				2	2,33	
Ni	ppm	45,50	22,60	58,00	40,30	96,50		> 5000	11763,68	14770,00
Pb	ppm	2,01	3,40	10,37	10,70	26,10		4,6	2,58	6,90
Pr	ppm	3,67		8,68				0,4	0,44	
Rb	ppm	0,44	<0,4	0,27	<0,3	1,30		< 0.2	0,20	<0,3
Sb	ppm	0,79	7,50	0,64	2,60	2,70		1,4	1,33	6,75
Sc	ppm	38,66		24,25				13	13,03	
Se	ppm							41,3		
Sm	ppm	5,38		6,25				0,7	0,74	
Sn	ppm	0,00	7,90	0,00	2,70	1,50		1	0,00	5,20
Sr	ppm	276,42	260,80	357,22	344,80	430,00		32,6	45,28	45,70
Ta	ppm	0,23		0,57				< 0.1	0,00	
Tb	ppm	1,22		0,68				0,1	0,17	
Te	ppm		2,00		<1,4	<1,3		4,3		17,70
Th	ppm		1,80		11,50	2,30		0,2		2,65
Tl	ppm	0,01		0,01				0,26	0,25	
Tm	ppm	0,68		0,28				< 0.1	0,12	
U	ppm		<0,9		2,20	<0,8		0,1		1,70
V	ppm	365,97		195,63				88	131,51	
W	ppm	2,76	<2,1	2,67	<1,4	<1,3		0,3	3,78	<1,3
Y	ppm	45,25		19,71				5,2	7,04	

Elemente	Einheit	P19		P22		P23	Act Labs		P27	
		Leoben	Spectroscout	Leoben	Spectroscout	Spectroscout	FA-MS	TD-MS	Leoben	Spectroscout
		ICP-MS	RFA	ICP-MS	RFA	RFA			ICP-MS	RFA
Yb	ppm	4,31		1,77				0,7	0,77	
Zn	ppm	109,24	97,20	62,50	63,20	33,70		119	166,62	213,20
Zr	ppm	150,94	139,70	172,42	175,50	80,90		3	12,37	19,00
Au	ppb	60		40			172		30	
Ir	ppm	<0,015		<0,015					0,02	
Pd	ppb	290,00	<400	60,00	<400	<400	2470		<50	<400
Pt	ppb	<50	<1600	<50	<1700	<1700	258		280	<1700
Re	ppm	<0,01		<0,01				0,192	0,20	
Rh	ppm	<0,02		<0,02					<0,02	
Ru	ppm	<0,1		<0,1					0,10	

Elemente	Einheit	HAID-1						HAID-2			
		Act Labs		Leoben	Spectroscout	UniQuant		Leoben	Spectroscout	UniQuant	
		FA-MS	TD-MS	ICP-MS	RFA	RFA-Pressling	RFA-Schmelz	ICP-MS	RFA	RFA-Pressling	RFA-Schmelz
SiO <sub>2</sub>	%			6,800	30,800	28,690	29,290	12,000	37,840	36,110	34,490
TiO <sub>2</sub>	%		0,101	0,060	0,121	0,136	1,101	0,101	0,168	0,205	0,170
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		1,908	2,100	4,811	5,100	3,000	2,400	4,673	4,990	3,210
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		26,021	20,300	27,910	25,040	34,190	17,400	24,940	24,570	30,880
MnO	%			0,097	0,095	0,103	0,100	0,131	0,157	0,166	0,160
MgO	%		4,560	6,310	10,140	9,930	7,120	9,530	13,700	13,400	11,530
CaO	%		3,428	0,000	7,193	8,150	5,180	0,000	7,577	8,800	6,970
Na <sub>2</sub> O	%		0,108		<0,14				<0,14	0,118	
K <sub>2</sub> O	%		<0,01	0,000	0,063	0,000	0,010	0,000	0,071	0,031	0,030
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%		0,060	0,000	0,115	0,038	0,030	0,000	0,070	0,033	0,030
S	%		13,400		15,710	12,720	0,526		9,771	8,010	0,088
Ag	ppm		22,8	28,00	58,40	0,00	0,00	14,10	32,60	0,00	0,00
As	ppm		122	23,00	<0,5	231,00	0,00	8,00	21,20	0,00	0,00
Ba	ppm		< 1	0,00	6,80	0,00	89,00	0,00	<6,1	0,00	57,00
Be	ppm		0,9	0,00				0,00			
Bi	ppm		0,84		<1,6	0,00	0,00		<1,3	0,00	0,00
Cd	ppm		8,3	2,20	8,70	0,00	0,00	3,60	6,00	0,00	0,00
Ce	ppm		1,2	0,00				0,00			
Co	ppm		409	536,00	532,00	565,00	530,00	334,00	235,00	440,00	325,00
Cr	ppm		403	464,00	1019,00	1150,00	740,00	786,00	1368,00	1620,00	1133,00
Cs	ppm		0,13	0,00				0,00			
Cu	ppm		> 10000	40500,00	53660,00	82600,00	66860,00	17500,00	22670,00	35000,00	29720,00
Dy	ppm		0,5	0,00				0,00			
Er	ppm		0,3	0,00				0,00			
Eu	ppm		0,09	0,00				0,00			
Ga	ppm		3,5	0,00				0,00			
Gd	ppm		0,3	0,00				0,00			
Ge	ppm		< 0.1								
Hf	ppm		< 0.1	0,00				0,00			

Elemente	Einheit	HAID-1						HAID-2			
		Act Labs		Leoben	Spectroscout	UniQuant		Leoben	Spectroscout	UniQuant	
		FA-MS	TD-MS	ICP-MS	RFA	RFA-Pressling	RFA-Schmelz	ICP-MS	RFA	RFA-Pressling	RFA-Schmelz
Hg	ppb		< 10								
Ho	ppm		< 0.1	0,00				0,00			
In	ppm		0,2		<1	0,00	0,00		<0,9	0,00	0,00
La	ppm		0,5	0,00				0,00			
Li	ppm		2,2	2,00				0,00			
Lu	ppm		< 0.1	0,00				0,00			
Mn	ppm		605								
Mo	ppm		2,36	49,50	<1	0,00	0,00	10,50	<0,5	0,00	0,00
Nb	ppm		0,2	0,00				0,00			
Nd	ppm		0,9	0,00				0,00			
Ni	ppm		> 5000	13791,00	13350,00	19100,00	16263,00	13204,00	12940,00	18700,00	16367,00
Pb	ppm		4,4	4,30	11,20	0,00	5,00	5,30	10,30	0,00	10,00
Pr	ppm		0,2	0,00				0,00			
Rb	ppm		< 0.2	0,00	<0,7	0,00	118,00	0,00	<0,6	0,00	89,00
Sb	ppm		0,5	0,00	8,70	0,00	0,00	0,00	6,30	0,00	0,00
Sc	ppm		6	0,00				0,00			
Se	ppm		48	62,50				51,50			
Sm	ppm		0,3	0,00				0,00			
Sn	ppm		2	0,00	4,60	0,00	0,00	0,00	7,50	0,00	0,00
Sr	ppm		28,9	0,00	42,90	0,00	19,00	0,00	9,70	0,00	0,00
Ta	ppm		< 0.1	0,00				0,00			
Tb	ppm		< 0.1	0,00				0,00			
Te	ppm		3,8		25,10	0,00	0,00		17,60	0,00	0,00
Th	ppm		< 0.1		5,40	0,00	31,00		3,40	0,00	29,00
Tl	ppm		< 0.05	0,00				0,00			
Tm	ppm		< 0.1	0,00				0,00			
U	ppm		0,1		3,50	0,00	0,00		2,60	0,00	0,00
V	ppm		43	0,00				0,00			
W	ppm		0,4	3,20	<3,9	0,00	0,00	2,00	<2,8	0,00	0,00
Y	ppm		2,2	0,00				0,00			



Elemente	Einheit	HAID-3						HAID-4			
		Act Labs		Leoben	Spectroscout	UniQuant	Leoben	Spectroscout	UniQuant		
		FA-MS	TD-MS	ICP-MS	RFA	RFA-Pressling	RFA-Schmelz	ICP-MS	RFA	RFA-Pressling	RFA-Schmelz
SiO <sub>2</sub>	%			28,500	45,750	45,470	48,420	4,800	34,250	34,620	23,780
TiO <sub>2</sub>	%		0,074	0,030	0,088	0,110	0,080	0,221	0,265	0,349	0,300
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		1,285	1,100	2,940	3,390	1,800	7,300	10,470	11,740	7,490
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		21,874	15,500	21,980	22,530	29,130	13,800	17,260	18,620	25,010
MnO	%			0,069	0,083	0,101	0,080	0,118	0,145	0,183	0,230
MgO	%		3,814	4,820	7,744	8,250	5,340	12,920	21,910	20,800	14,390
CaO	%		2,532	0,000	4,814	6,010	3,320	0,000	8,816	10,880	6,890
Na <sub>2</sub> O	%		0,135		<0,14	0,106			<0,14		0,010
K <sub>2</sub> O	%		<0,01	0,000	0,062	0,016	0,015	0,000	0,022	0,000	0,000
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%		0,032	0,000	0,148	0,054	0,025	0,000	0,019	0,022	0,030
S	%		13,200		12,110	10,670	0,036		3,012	2,330	2,076
Ag	ppm		7,11	7,60	24,80	0,00	0,00	4,30	8,50	0,00	0,00
As	ppm		264	75,00	144,30	240,00	0,00	4264,00	5137,00	6210,00	0,00
Ba	ppm		1	0,00	<6,1	0,00	31,00	0,00	11,10	0,00	9,00
Be	ppm		0,2	0,00				0,00			
Bi	ppm		0,91		<1,4	0,00	0,00		11,70	0,00	0,00
Cd	ppm		1,9	1,20	2,50	0,00	0,00	6,60	2,10	0,00	0,00
Ce	ppm		1	0,00				0,00			
Co	ppm		> 500	682,00	270,00	550,00	699,00	2863,00	742,00	2030,00	2829,00
Cr	ppm		317	229,00	663,00	831,00	445,00	1249,00	2386,00	3360,00	1596,00
Cs	ppm		0,09	0,00				0,00			
Cu	ppm		9820	8000,00	12820,00	22100,00	14091,00	2500,00	3232,00	4860,00	4050,00
Dy	ppm		0,3	0,00				0,00			
Er	ppm		0,2	0,00				0,00			
Eu	ppm		0,07	0,00				0,00			
Ga	ppm		2,3	0,00				0,00			
Gd	ppm		0,3	0,00				0,00			
Ge	ppm		< 0.1								
Hf	ppm		< 0.1	0,00				0,00			

Elemente	Einheit	HAID-3						HAID-4			
		Act Labs		Leoben	Spectroscout	UniQuant		Leoben	Spectroscout	UniQuant	
		FA-MS	TD-MS	ICP-MS	RFA	RFA-Pressling	RFA-Schmelz	ICP-MS	RFA	RFA-Pressling	RFA-Schmelz
Hg	ppb		1430								
Ho	ppm		< 0.1	0,00				0,00			
In	ppm		< 0.1		<0,8	0,00	0,00		<0,7	0,00	0,00
La	ppm		0,5	0,00				0,00			
Li	ppm		1,4	0,00				3,00			
Lu	ppm		< 0.1	0,00				0,00			
Mn	ppm		533								
Mo	ppm		1,32	5,50	<0,4	0,00	0,00	3,50	<0,4	0,00	0,00
Nb	ppm		0,2	0,00				0,00			
Nd	ppm		0,7	0,00				0,00			
Ni	ppm		> 5000	11603,00	12360,00	20200,00	13738,00	4967,00	4883,00	7360,00	5981,00
Pb	ppm		2,9	2,70	6,90	0,00	7,00	36,20	25,30	0,00	41,00
Pr	ppm		0,2	0,00				0,00			
Rb	ppm		< 0.2	0,00	<0,5	0,00	74,00	0,00	<0,4	0,00	70,00
Sb	ppm		0,5	0,00	8,20	0,00	0,00	0,00	1,70	0,00	0,00
Sc	ppm		5	0,00				0,00			
Se	ppm		48,3	63,50				109,00			
Sm	ppm		0,2	0,00				0,00			
Sn	ppm		1	0,00	5,10	0,00	0,00	0,00	6,90	0,00	0,00
Sr	ppm		4,7	0,00	5,60	0,00	0,00	0,00	120,30	0,00	80,00
Ta	ppm		< 0.1	0,00				0,00			
Tb	ppm		< 0.1	0,00				0,00			
Te	ppm		4,9		19,40	0,00	0,00		10,30	0,00	0,00
Th	ppm		0,1		4,80	0,00	25,00		<1,1	0,00	22,00
Tl	ppm		< 0.05	0,00				0,00			
Tm	ppm		< 0.1	0,00				0,00			
U	ppm		< 0.1		3,60	0,00	0,00		<1,1	0,00	0,00
V	ppm		33	0,00				0,00			
W	ppm		0,1	1,50	<2,1	0,00	0,00	1,65	<2,2	0,00	0,00
Y	ppm		1,8	0,00				0,00			



## **Anhang IV Strukturdaten**

## Clar-Werte

### Schieferung

Laufmeter	Seite(r/l)	Einfallrichtung	Einfallswinkel	Lokalisierung	Anmerkungen	Lithologie
26	r	340	32	Oberlauf gerade über 1. Kreuzung		grün
19-20	l	212	29	Oberlauf gerade über 1. Kreuzung	über Erzband	grün
19-20	l	328	20	Oberlauf gerade über 1. Kreuzung	unter Erzband	grün
1,5	l	303	29	Oberlauf gerade über 1. Kreuzung		grün
0	l	334	34	Oberlauf links bei 1. Kreuzung		grün
4	l	213	19	Oberlauf links bei 1. Kreuzung		orange
12	r	343	38	Oberlauf links bei 1. Kreuzung		orange
9	l	327	21	Oberlauf links bei 1. Kreuzung	Ende der Bucht	grün
14	l	314	38	Oberlauf links bei 1. Kreuzung		orange
6	r	315	37	Oberlauf ganz westlich		orange
9		316	45	Oberlauf ganz westlich	Ortsbruch	orange
9		320	42	Oberlauf ganz westlich	Ortsbruch	orange
		272	32	Oberlauf, Erzlager	Ortsbruch	grün
3,5	r	298	28	Oberlauf, Erzlager		grün
1,3	r	268	28	Oberlauf, Erzlager	Kontakt zu Erzgang	grün
2	l	303	32	Oberlauf, rechts		grün
8	l	348	50	Oberlauf, rechts		grün
13	l	345	40	Oberlauf, rechts		grün
14	l	300	54	Oberlauf, rechts		grün
16	l	333	40	Oberlauf, rechts		grün
18	l	344	49	Oberlauf, rechts		grün
21	l	336	34	Oberlauf, rechts		grün
32,5	l	284	44	Oberlauf, rechts		grün
33	l	167	45	Oberlauf, rechts		grün
5	l	316	14	Oberlauf, rechts, 1. Seitengang nach N		grün
8		258	20	Oberlauf, rechts, 1. Seitengang nach N	Ortsbruch	grün
4	l	233	26	Oberlauf, rechts, 2. Seitengang nach N		grün

Laufmeter	Seite(r/l)	Einfallrichtung	Einfallswinkel	Lokalisierung	Anmerkungen	Lithologie
9	l	246	19	Oberlauf, rechts, 2. Seitengang nach N		grün
17	l	198	35	Oberlauf, rechts, 2. Seitengang nach N		grün
19	r	217	16	Oberlauf, rechts, 2. Seitengang nach N		grün
22	r	312	18	Oberlauf, rechts, 2. Seitengang nach N	kleiner Gang rechts rein	grün
22	r	284	18	Oberlauf, rechts, 2. Seitengang nach N	kleiner Gang rechts rein	grün
28,4		329	37	Oberlauf, rechts, 2. Seitengang nach N	Ortsbrust	grün
28,4		329	33	Oberlauf, rechts, 2. Seitengang nach N	Ortsbrust	grün
6		318	40	Oberlauf, rechts, 3. Seitengang nach S		grün
7		325	46	Oberlauf, rechts, 3. Seitengang nach S		grün
10		355	42	Oberlauf, rechts, 3. Seitengang nach S		grün
4	r	302	42	Oberlauf, zwischen Mundloche und 1. Kreuzung		grün
9,5	r	265	20	Oberlauf, zwischen Mundloch und 1. Kreuzung		grün
13,5	r	338	56	Oberlauf, zwischen Mundloch und 1. Kreuzung		grün
15	r	218	20	Oberlauf, zwischen Mundloch und 1. Kreuzung		grün
2	l	325	20	Mittellauf, kurzer Gang nach O		orange
4,5	r	117	15	Mittellauf, Gang nach N von 2. Kreuzung	Erz	lila
4,5	r	315	45	Mittellauf, Gang nach N von 2. Kreuzung		grün
5	l	215	15	Mittellauf, Gang nach N von 2. Kreuzung		grün
4	r	340	35	Mittellauf, Ecke zu Wendel in Unterlauf		orange
4,5	r	320	25	Mittellauf, Ecke zu Wendel in Unterlauf		orange
1	r	340	30	Ecke Oberlauf zu Abgang Mittellauf		grün
1	r	205	20	Ecke Oberlauf zu Abgang Mittellauf		grün
4,5	r	280	35	Mittellauf Ecke zu kurzem Gang nach O		grün
5	r	310	35	Abgang zu Unterlauf		orange
3	r	295	35	Abgang zu Unterlauf		orange
2	l	190	30	Abgang zu Unterlauf, links kurzer Gang	WL Chl-Sch/härtere Lagen	grün
3		190	35	Abgang zu Unterlauf, links kurzer Gang Ortsbrust	stark zerrütteter Bereich	grün
8	l	300	15	Abgang zu Unterlauf		grün
9	l	300	25	Abgang zu Unterlauf		orange
9	l	330	25	Abgang zu Unterlauf		orange
9	l	315	25	Abgang zu Unterlauf		orange
13	l	265	25	Abgang zu Unterlauf		orange

Laufmeter	Seite(r/l)	Einfallrichtung	Einfallswinkel	Lokalisierung	Anmerkungen	Lithologie
15	l	210	15	Abgang zu Unterlauf		grün
17,5	l	285	40	Abgang zu Unterlauf		grün
7	r	165	35	Unterlauf nach W		grün
18	r	160	35	Unterlauf nach W		grün
22	r	160	35	Unterlauf nach W an Ecke zu kurzem Gang nach N		grün
5		330	40	Unterlauf nach W, kurzer Gang nach N, Ortsbrust	neben Scherzone	grün
5	l	350	75	Unterlauf nach W, kurzer Gang nach N	neben Scherzone	grün
23,5	r	325	30	Unterlauf nach W an Ecke zu kurzem Gang nach N		grün
23,5	r	005	75	Unterlauf nach W an Ecke zu kurzem Gang nach N	Scherzone mit Erythrin+Sulf	grün
4	l	195	25	Unterlauf nach W, längerer Gang nach N		orange
5	l	195	40	Unterlauf nach W, längerer Gang nach N		orange
9	r	300	50	Unterlauf nach W, längerer Gang nach N		grün
31	l	300	50	Unterlauf nach W		grün
33		345	75	Unterlauf nach W	in Firste	orange
34	r	005	60	Unterlauf nach W	verfaltet	orange
38,5	r	350	55	Unterlauf nach W, Nische nach N, Ortsbrust		orange
44,5	l	345	50	Unterlauf nach W		orange
45	r	240	25	Unterlauf nach W		orange
3	l	250	20	Unterlauf Mitte nach N		grün
6		330	50	Unterlauf Mitte nach N, Ortsbrust		orange
15	l	340	30	Unterlauf nach O		orange
17		350	50	Unterlauf nach O	in Firste	orange
0	l	290	25	Unterlauf Gang nach N	Chl-sch.band in mass. Gest.	grün
9	r	350	40	Unterlauf Gang nach N		orange
9,5	l	355	85	Unterlauf Gang nach N		orange
13	l	220	45	Unterlauf Gang nach N		grün

WL Wechsellagerung  
 Chl-Sch Chloritschiefer  
 Sulf Sulfide

## Störung

Laufmeter	Seite(r/l)	Einfallrichtung	Einfallswinkel	Lokalisierung	Anmerkungen	Lithologie
1		355	80	Mittellauf, 1. Kreuzung, Firste	Scherfläche	grün
0		290	85	Kreuzung Unterlauf	Störung in Firste	
19,5		330	45	Unterlauf nach O	Scherfläche	grün
3		320	15	Mittellauf, kurzer Gang nach O		grün

## **Anhang V Sulfide und Einschlussminerale**

## Sulfide

Mineral	Formel	Anzahl gemessener Körner
Pyrit	FeS <sub>2</sub>	52
Pyrrhotin	FeS	40
Chalkopyrit	CuFeS <sub>2</sub>	32
Pentlandit	(Fe,Ni) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>	35
Violarit	Fe <sup>2+</sup> Ni <sub>2</sub> <sup>3+</sup> S <sub>4</sub>	12

## Einschlussminerale

Mineral	Formel	Wirtsmineeral	max. Größe	Anzahl gemessener Körner
Sulfarsenide	(Co,Ni,Fe)AsS	in Py, zwischen Cpy und Py, in Cpy, zwischen Vio und Py, in Sph, in Amph- bzw. Silikatzonen	80*71µm	68
Irarsit	(Ir,Ru,Rh,Pt)AsS	in Amph und Py	3,5*2µm	5
Pd-Melonit/ Merenskyit	(Pd,Ni)Te <sub>2</sub>	Py, in Cpy, zwischen den Korngrenzen sowohl von Sulfiden, als auch seltener von Silikaten, in Gersdorffit/Cobaltit und sehr selten in Pn	27*20µm	67
Sperryolith	PtAs <sub>2</sub>	in Py, in Po, in Amph- bzw. Silikatzonen, an Korngrenzen zwischen Sulfiden und Silikaten	16*14,5	17
Hexatestibiopanickelit	(Pd,Ni)(Sb,Te)	in Py oder Cpy bzw. zwischen diesen Mineralen	3,3*1,4µm	5
Sudburyit	PdSb	in Py oder Cpy bzw. zwischen diesen Mineralen	25,3*5,4µm	4
Testibiopalladit	PdTe(Sb,Bi)	in Py, Cpy und Pn sowie zwischen Sulfiden	10*4µm	10
Hessit	Ag <sub>2</sub> Te	in Py, Po, Cpy und Pn sowie zwischen den Sulfidkörnern, in Gersdorffit/Cobaltit, verwachsen mit z.B. Merenskyit	19*13µm	30
Elektrum	AuAg	zwischen Py, in Cpy	2*1µm	3
Molybdänit	MoS <sub>2</sub>	in Py und Cpy, in Silikaten bzw. zwischen Silikaten und Sulfiden	20,64*2µm	12
Rhenit	ReS <sub>2</sub>	in Py und Amph	3,6*2,4µm	27
Rhenium-Blei-Sulfid	PbReS <sub>2</sub>	In Cpy, Py und zwischen diesen beiden Sulfiden, in Pn	18*14,5µm	13
Sphalerit	ZnS	verwachsen mit bzw. zwischen anderen Sulfiden	20*14µm	12
Galenit	PbS	in Py, in Amph, zwischen Sulfiden oder verwachsen mit Cpy	10*9µm	9
Empressit	AgTe	zwischen Py bzw. Cpy und Py	14*4µm	4
Kotulskit	Pd(Te,Bi)	Zwischen Sulfiden	3*3µm	2

Legende	
Py	Pyrit
Cpy	Chalkopyrit

Po	Pyrrhotin
Pn	Pentlandit

Vio	Violarit
Amph	Amphibol

## **Anhang VI Zusammengefasste Daten**

Elemente	Einheit	HB-3	HB-9	P3	P9	P13	P27	HAID-1	HAID-2	HAID-3	HAID-4	HB-4	HB-5	HB-12	P22	HB-2	P23
Au	ppb	205	59			122	62	172	356		105		60		40		
Pt	ppb	365	239	<1400		1010	149	258	510	535		<1600	<50	<1800	<50	<1600	<1700
Pd	ppb	205	949	<500		864	166	2470	1110	1010		<400	<50	<400	60,00	<400	<400
Re	ppm	0,088	0,20			0,27	0,23	0,192	0,134	0,075			0,01		<0,01		
Ir	ppm		<0,015			<0,015	0,02	0,02					<0,015		<0,015		
Rh	ppm		<0,02			<0,02	<0,02	<0,02					<0,02		<0,02		
Ru	ppm		<0,1			<0,1	<0,1	0,10					<0,1		<0,1		
Li	ppm	7,9	2,8			3,3	2,45	3,9	2,2	1,4	3,00		20,28		16,32		
Na	%	0,01	0,15			0,16	0,11	0,07	0,08	0,1							
Mg	%	2,07	4,42			2,27	3,95	3,81	2,75	2,3							
Al	%	2,07	1,58			1,54	2,05	2,25	1,01	0,68							
K	%	<0,01	0,01			0,24	0,01	<0,01	<0,01	<0,01							
Ca	%	3,54	3,21			1,7	2,29	2,58	2,45	1,81							
Cd	ppm	3,2	1,0827	<0,8		1,19	0,6	2,20	8,3	3,60	6,60	<0,6	0,23	3,40	0,25	<0,6	<0,6
V	ppm	47	75,2665			79,92	88	131,51	43	33			215,48		195,63		
Cr	ppm	570,91	1037,66	571,00		620,59	588	971,21	403	317	2386,00	30,40	154,31	<5,1	135,38	<5,1	14,90
Mn	ppm	809	1030			643	682	749	605	533							
Fe	%	23,7	24,1			29	22	18,4	18,2	15,3							
Hf	ppm		0,15			0,23	0,1	0,32					3,91		4,13		
Hg	ppb	2560	70			30	20	20	<10	1430							
Ni	ppm	3647	17430	7275,00		20245	9143	14770	16263	12360	4967,00	19,10	79,80	5,10	58,00	142	96,50
Er	ppm	0,31597	0,3			0,52	0,6	0,7	0,3	0,2	0,00	0,00	1,96		1,93		
Be	ppm	0,15088	0,4			0,56	1,1	0,7	0,9	0,2	0,00	0,00	2,67		0,57		
Ho	ppm	0,1025	0,1			0,17	0,2	0,2					0,71		0,70		
Ag	ppm	7,21388	3,9	3,20		7,22	2,37	4,81	22,8	7,11	4,30	<0,8	8,49	<0,8	7,93	<0,8	<0,8
Cs	ppm	0,1944	0,2			11,47	0,21	0,44	0,13	0,09	0,00		5,88		0,12		
Co	ppm	378	379	63,00		664	186	699	565	682	2863,00	<4,1	24,92	<5,2	27,05	<4,1	<6,8
Eu	ppm	0,07	0,09			0,08	0,13	0,22	0,09	0,07	0,00		1,68		1,37		
Bi	ppm	1,8	1,29	<1,2		1,08	0,68	1,02	0,84	0,91		<0,7	<0,7	<0,8	<0,7	<0,8	<0,7
Se	ppm	57,2	53,2			78,8	42,2	41,3	48	48,3							
Zn	ppm	250	136	139,60		124,16	57	166,62	245	104	109,00	27,90	75,69	147,60	62,50	33	33,70

	HB-3	HB-9	P3	P9	P13	P27	HAID-1	HAID-2	HAID-3	HAID-4	HB-4	HB-5	HB-12	P22	HB-2	P23
Ga	ppm	4,4	5,3		4,21	6,1	7,51	3,5	0,00	2,3	0,00	17,12	16,56			
As	ppm	618	264	200,00	410,45	539	999,31	122	8,00	264	4264,00	2,90	9,57	33,40	7,19	15,50
Rb	ppm	<0,2	0,06	<0,4	23,11	0,08	0,20	<0,2	0,00	<0,2	0,00	15,70	49,66	134,60	0,27	1,30
Y	ppm	2,2	2,89		4,75	5,94	7,04	2,2		1,8		20,22	19,71			
Sr	ppm	110	6,41	185,00	6,11	14,48	45,28	28,9	0,00	4,7	0,00	575,00	274,00	432,00	630	430,00
Zr	ppm	2	7,67	13,10	10,41	12,09	12,37	2	2	2		69,00	162,49	43,60	71	80,90
Nb	ppm	0,9	0,2		0,20	0,42	0,4	0,2	0,2	0,2		12,16	12,73			
Mo	ppm	1,08	2,03	4,40	2,21	1,73	4,23	2,36	10,50	1,32	3,50	2,60	3,90	5,20	2,70	<0,6
In	ppm	0,1	<0,1	<0,7		<0,1	<0,1	0,2		<0,1	0,00	<0,8	<0,8	0,90	1,10	<0,8
Sn	ppm	1	1	<4,4	1	1	1	2	0,00	1	0,00	2,90	4,20	4,40	4,6	1,50
Sb	ppm	1,7	0,6	6,40	0,9	0,8	1,4	0,5	0,00	0,5	0,00	1,80	0,83	1,90	2,9	2,70
Te	ppm	3,8	8,1	6,50	5,6	2	4,3	3,8	4,9	4,9	0,00	<1,4	<1,4	<1,4	<1,5	<1,3
Ba	ppm	6	<1	<8,4	77	6,7	2	<1	0,00	1	0,00	355,70	1297,94	815,00	1077	13,20
La	ppm	0,8	0,5		0,84	1,5	1	0,5	0,00	0,5	0,00	36,94	37,80			
Ce	ppm	1,6	1,2		1,86	3,3	2,4	1,2	0,00	1	0,00	69,84	71,34			
Pr	ppm	0,2	0,2		0,33	0,5	0,4	0,2	0,00	0,2	0,00	8,71	8,68			
Nd	ppm	1	0,9		1,68	2,3	2	0,9	0,00	0,7	0,00	34,34	33,93			
Sm	ppm	0,3	0,3		0,52	0,6	0,7	0,3	0,00	0,2	0,00	6,37	6,25			
Gd	ppm	0,4	0,4		0,63	0,8	0,8	0,3	0,00	0,3	0,00	5,00	4,88			
Tb	ppm	<0,1	0,06		0,12	0,1	0,1	<0,1	0,00	<0,1	0,00	0,70	0,68			
Dy	ppm	0,5	0,5		0,77	1	1,1	0,5	0,00	0,3	0,00	3,79	3,69			
Cu	ppm	14950	4510	1012,00	10710,00	2833	7203	53660	29720,00	12820	3232,00	26,20	39,63	42,00	137	324,00
Ge	ppm	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		<0,1						
Tm	ppm	0,06	0,05		0,08	0,10	0,12	<0,1	0,00	<0,1	0,00	0,28	0,28			
Yb	ppm	0,40	0,31		0,50	0,62	0,77	0,3	0,00	0,2	0,00	1,79	1,77			
Lu	ppm	0,08	0,05		0,08	0,10	0,13	<0,1	0,00	<0,1	0,00	0,27	0,27			
Ta	ppm											0,52	0,57			
W	ppm	5,21	4,67	<7,2	0,3	0,2	3,78	0,4	2,00	0,1	1,65	<1,3	4,27	<1,4	<1,5	<1,3
Tl	ppm	0,01	0,02		0,53	1,6	0,25	<0,05	0,00	<0,05	0,00	0,35	0,01			
Pb	ppm	11,98	3	11,60	6	5,6	2,58	4,4	5,30	2,9	36,20	19,10	4,68	90,50	15,8	26,10
Sc	ppm	11,14	9		11	14	13,03	6	0,00	5	0,00	26,09	24,25			
Th	ppm	5,5	3,30	4,20	0,1	0,3	0,2	<0,1	3,40	0,1	<1,1	2,10	10,90	3,50	2,5	2,30

	HB-3	HB-9	P3	P9	P13	P27	HAID-1	HAID-2	HAID-3	HAID-4	HB-4	HB-5	HB-12	P22	HB-2	P23
U	ppm	0,1	<2,5	<1,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,00	<0,1	<1,1	<0,9	<1,2	<1,3	<1,1	<0,8
Ti	%	0,16	0,08	0,09	0,104	0,123	0,144	0,0605	0,10	0,0441	0,16	0,18	0,33	0,33	0,2749	0,32
P	%	0,015	0,01	0,014	0,014	0,015	0,016	0,026	0,014							
S	%	12,35	14,7	2,48	18,37	17,3	12,9	13,4	9,77	12,11	2,33	0,14	0,06	0,64	1,5505	1,87
MgO	%	7,588	13,35	9,54	8,565	15,265	13,06	10,14	13,70	7,74	21,91	2,47	6,59	6,00	1,9075	2,18
Al2O3	%	7,9785	6,42	11,35	7,299	9,4015	10,31	4,811	4,67	2,94	10,47	12,66	14,75	18,90	18,475	16,60
SiO2	%	32,9	37,55	26,88	27,43	37,98	37,335	30,8	37,84	45,47	34,25	36,70	41,70	44,36	44,28	50,64
P2O5	%	0,0989	0,11	0,05	0,1799	0,0971	0,1147	0,1152	0,07	0,15	0,02	0,23	0,26	0,42	0,4359	0,55
K2O	%	0,0452	0,06	0,02	0,5171	0,068	0,0615	0,0627	0,07	0,06	0,02	0,46	1,21	3,04	1,547	0,07
CaO	%	11,05	7,02	11,58	5,063	6,417	7,655	7,193	7,58	4,81	8,82	10,49	6,49	6,15	5,562	4,48
TiO2	%	0,2	0,11	0,15	0,21	0,24	0,29	0,06	0,10	0,03	0,22	0,29	0,94	0,54	0,89	0,53
MnO	%	0,1385	0,15	0,17	0,1102	0,1252	0,141	0,0949	0,16	0,08	0,14	0,11	0,86	0,09	0,0896	0,04
Fe2O3	%	25,36	30,08	18,04	40,565	29,53	30,055	27,91	24,94	21,98	17,26	5,30	6,73	6,26	6,655	5,32
Na2O	%	0,01348	0,2022		0,21568	0,14828	0,09436	0,10784	0,1348			3,34	1,92	1,67	4,045	6,91
Fe	%	17,7367	21,03	12,62	28,37	20,65	21,02	19,52	17,44	15,37	12,07	3,71	4,71	4,38	4,65	3,72
Fe_neu	%															
FeO_neu	%															
S at%	%	0,38522	0,45852	0,0773238	0,572988	0,53961	0,40237	0,41797	0,3047411	0,37773	0,0726762	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06
Fe at%	%	0,3181	0,3773	0,2262817	0,50882	0,3704	0,37699	0,35008	0,3128307	0,2757	0,2164979	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07
Cu at%	%	0,02352	0,0071	0,0015924	0,016853	0,00446	0,01133	0,08444	0,0467663	0,02017	0,0050858	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni at%	%	0,00621	0,0297	0,0123956	0,034495	0,01558	0,02517	0,02771	0,0278872	0,02106	0,0084631	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S rest	%	0,35548	0,42172	0,0633357	0,52164	0,51958	0,36587	0,30582	0,2300876	0,3365	0,0591274	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06
Fe äq	%	0,26661	0,31629	0,0475018	0,39123	0,31175	0,2744	0,22936	0,1725657	0,25237	0,0443455	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04
Fe rest	%	0,05149	0,06101	0,1787799	0,11759	0,05866	0,10259	0,12072	0,140265	0,02333	0,1721524	0,06	0,08	0,06	0,05	0,02
Fe2O3 neu	%	4,10669	4,8661	14,258528	9,378337	4,67828	8,18181	9,628	11,186783	1,86069	13,72995	5,05	6,64	5,07	3,79	1,87
total neu	%	64,1193	69,8442	73,995326	58,96822	74,4177	77,2434	63,0126	75,375283	63,2865	89,58165	71,80	81,35	81,80	86,02	83,87
MgO	%	11,8342	19,1068	12,893382	14,52477	20,5126	16,9076	16,092	18,175719	12,2364	24,458134	3,44	8,09	1,93	2,22	2,60
Al2O3	%	12,4432	9,19762	15,332049	12,37785	12,6334	13,3474	7,63498	6,199645	4,64554	11,687662	17,63	18,13	23,10	21,48	19,79
SiO2	%	51,3106	53,7626	36,326619	46,51658	51,0363	48,3342	48,8791	50,202133	71,8479	38,233277	51,11	51,26	54,22	57,78	60,38
P2O5	%	0,15424	0,16394	0,0712207	0,30508	0,13048	0,14849	0,18282	0,0926033	0,23354	0,0206516	0,33	0,32	0,51	0,36	0,65
K2O	%	0,07049	0,08991	0,0289207	0,876913	0,09138	0,07962	0,0995	0,0940627	0,09813	0,0242237	0,65	1,49	3,72	1,80	0,08
CaO	%	17,2335	10,0545	15,64288	8,585981	8,62295	9,91024	11,4152	10,052367	7,60668	9,8413012	14,60	7,98	7,51	6,47	5,34

	HB-3	HB-9	P3	P9	P13	P27	HAIID-1	HAIID-2	HAIID-3	HAIID-4	HB-4	HB-5	HB-12	P22	HB-2	P23	
TiO2	%	0,31192	0,15328	0,2064968	0,356124	0,31892	0,37544	0,09522	0,1339962	0,0474	0,2467023	0,41	1,15	0,67	1,10	0,53	0,64
MnO	%	0,216	0,21476	0,2289334	0,18688	0,16824	0,18254	0,1506	0,2080258	0,13131	0,1613054	0,15	1,05	0,11	0,10	0,10	0,05
Fe2O3	%	6,40477	6,96708	19,269498	15,90405	6,28652	10,5922	15,2795	14,841447	2,9401	15,326744	7,04	8,16	6,19	8,28	4,41	2,23
Na2O	%	0,02102	0,2895		0,365756	0,19925	0,12216	0,17114		0,213		4,65	2,36	2,04	4,24	4,70	8,23
		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
#Mg		64,8842	73,2795	40,087771	47,7336	76,5421	61,4825	51,295	55,049301	80,6273	61,475956	32,81	49,80	23,77	47,27	33,47	53,81

Elemente	Einheit	HB-27	P15	P17	P18	P19
Au	ppb		60	80	50	60
Pt	ppb	<1600	<50	<50	<50	<50
Pd	ppb	<400	100,00	80,00	<50	290,00
Re	ppm		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ir	ppm		<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
Rh	ppm		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ru	ppm		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Li	ppm		20,52	10,75	15,02	9,05
Na	%					
Mg	%					
Al	%					
K	%					
Ca	%					
Cd	ppm	<0,8	0,14	0,22	0,40	0,28
V	ppm		298,55	369,90	268,66	365,97
Cr	ppm	237,00	243,05	34,51	279,67	43,23
Mn	ppm					
Fe	%					
Hf	ppm		2,39	4,53	2,43	3,68
Hg	ppb					
Ni	ppm	70,50	106,49	17,42	121,20	45,50
Er	ppm		3,24	5,33	3,11	4,72
Be	ppm		1,65	1,27	0,49	1,06
Ho	ppm		1,14	1,88	1,08	1,65
Ag	ppm	<0,9	11,31	10,50	9,95	15,41
Cs	ppm		0,09	0,95	0,05	0,02
Co	ppm	<7,6	50,79	33,54	41,67	39,65
Eu	ppm		1,31	2,23	1,29	1,90
Bi	ppm	<0,7	<0,7	<0,8	<0,8	<0,8
Se	ppm					
Zn	ppm	66,80	88,58	68,27	82,88	109,24

	HB-27	P15	P17	P18	P19
Ga		15,85	20,93	17,01	19,16
As	<0,4	3,68	2,71	1,47	6,43
Rb	17,40	1,02	5,68	1,85	0,44
Y		30,94	51,81	29,64	45,25
Sr	286,00	240,00	265,00	218,18	276,42
Zr	99,40	99,34	186,23	97,11	150,94
Nb		4,55	7,48	3,72	4,78
Mo	<0,3	<0,5	<0,4	<0,3	<0,4
In	1,40	<1,1	0,80	<0,6	1,40
Sn	5,80	0,00	0,02	0,00	0,00
Sb	5,40	0,80	1,51	0,62	0,79
Te	<1,8	2,80	4,60	2,60	2,00
Ba	120,00	9,02	86,19	33,63	11,01
La		9,12	17,33	7,97	10,73
Ce		20,16	39,72	17,64	24,50
Pr		2,90	5,49	2,60	3,67
Nd		13,81	25,89	12,51	18,02
Sm		3,99	7,22	3,70	5,38
Gd		4,68	8,34	4,46	6,64
Tb		0,86	1,46	0,82	1,22
Dy		5,39	9,08	5,18	7,77
Cu		51,52	7,18	2,14	25,73
Ge					
Tm		0,46	0,77	0,46	0,68
Yb		2,95	4,82	2,87	4,31
Lu		0,44	0,73	0,43	0,64
Ta		0,22	0,43	0,18	0,23
W	<1,5	3,13	3,12	2,88	2,76
Tl		0,01	0,04	0,01	0,01
Pb	2,80	2,94	1,24	3,57	2,01
Sc		32,11	30,34	31,94	38,66
Th	3,20	2,00	4,50	2,00	1,80

	HB-27	P15	P17	P18	P19
U	<0,9	<0,8	<1	<0,9	<0,9
Ti	0,63	0,65	1,42	0,62	1,02
P					
S	0,02	0,04	0,03	0,02	0,04
MgO	8,15	8,55	5,38	7,24	8,51
Al2O3	13,88	14,99	12,08	15,25	12,81
SiO2	46,91	44,53	43,92	43,20	44,86
P2O5	0,30	0,26	0,56	0,21	0,27
K2O	0,29	0,06	0,20	0,11	0,07
CaO	7,75	5,96	8,92	7,17	7,96
TiO2	1,05	1,71	2,87	1,59	2,23
MnO	0,14	0,14	0,16	0,13	0,17
Fe2O3	8,81	8,39	11,66	8,66	10,86
Na2O	3,34	3,83	2,77	3,52	2,23
Fe	8,80	8,37	11,64	8,65	10,84
Fe_neu	11,32	10,77	14,97	11,13	13,94
FeO_neu					
S at%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe at%	0,11	0,11	0,15	0,11	0,14
Cu at%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni at%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S rest	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe äq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe rest	0,11	0,10	0,15	0,11	0,14
Fe2O3 neu	8,78	8,34	11,60	8,64	10,79
total neu	90,57	88,38	88,45	87,05	89,91
MgO	8,99	9,68	6,08	8,31	9,47
Al2O3	15,32	16,96	13,66	17,51	14,25
SiO2	51,79	50,39	49,65	49,62	49,89
P2O5	0,33	0,29	0,64	0,24	0,30
K2O	0,32	0,07	0,22	0,12	0,08
CaO	8,56	6,75	10,08	8,24	8,85

	HB-27	P15	P17	P18	P19
TiO2	1,16	1,94	3,24	1,83	2,48
MnO	0,15	0,16	0,18	0,15	0,19
Fe2O3	9,70	9,44	13,12	9,93	12,01
Na2O	3,68	4,33	3,13	4,04	2,48
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
#Mg	48,12	50,63	31,66	45,57	44,10

## **Anhang VII Mineralogie Noril'sk**

## Mineralogie der Noril'sk Vererzungen

(nach Sluzhenikin 2011)

### Haupt-, Neben und akzessorische Minerale:

M <sub>ss</sub>	(Fe,Ni) <sub>1-x</sub> S
Cp <sub>ss</sub>	(Fe,Cu,Ni) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>
Cub <sub>ss</sub>	(Fe,Cu,Ni) <sub>3</sub> S <sub>3</sub>
Troilite	FeS
Hexagonal pyrrhotite	Fe <sub>1-x</sub> S
Monoclinic pyrrhotite	Fe <sub>1-x</sub> S
Pentlandite	(Fe,Ni,Co) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>
Chalcopyrite	CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Talnakhite	Cu <sub>9</sub> (Fe,Ni) <sub>8</sub> S <sub>16</sub>
Mooihoekite	Cu <sub>9</sub> (Fe,Ni) <sub>9</sub> S <sub>16</sub>
Putoranite	Cu <sub>9</sub> (Fe,Ni) <sub>9</sub> S <sub>16</sub>
Ni-putoranite	Cu <sub>16</sub> (Fe,Ni) <sub>19</sub> S <sub>32</sub>
Fe-chalcopyrite	(Fe,Cu,Ni) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>
Cubanite	CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Titanomagnetite	(Fe,Ti) <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Magnetite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Ilmenite	FeTiO <sub>3</sub>
Chromite	(Fe,Mg)(Cr,Fe,Al) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Al-Mg-Fe spinel	(Fe,Mg,Al) <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Perovskite	CaTiO <sub>3</sub>
Millerite	NiS
Pyrite	FeS <sub>2</sub>
Marcasite	FeS <sub>2</sub>
Heazlewoodite	Ni <sub>3</sub> S <sub>2</sub>
Violarite	(Ni,Fe,Co) <sub>3</sub> S <sub>4</sub>
Polydimite	Ni <sub>3</sub> S <sub>4</sub>
Siegenite	(Ni,Co,Cu) <sub>3</sub> S <sub>4</sub>
Bornite	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>
Chalcocite	Cu <sub>2</sub> S
Digenite	Cu <sub>2-x</sub> S
Sphalerite	ZnS
Hawleyite	CdS
Mackinawite	(Fe,Ni,Co) <sub>1+x</sub> S
Galena	PbS
Clausthalite	PbSe
Alabandine	MnS
Djerfisherite	(K,Te,Pb,Ba) <sub>2</sub> (Fe,Cu,Ni) <sub>25</sub> S <sub>26</sub> Cl <sub>0-1</sub>
Talfenisite	Tl <sub>6</sub> (Fe,Ni,Cu) <sub>25</sub> S <sub>26</sub> Cl
Rasvumite	KFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Tochilinite	2FeS.1,67{[Mg,Fe,Al][OH] <sub>2</sub> }
Valleriite	2(Cu,Fe)S.n{[Mg,Fe,Al][OH] <sub>2</sub> }
Vyalsovite	FeS.Ca(OH) <sub>2</sub> .Al(OH) <sub>3</sub>
Godlevskite	Ni <sub>9</sub> S <sub>8</sub>
Parkerite	Ni <sub>3</sub> (Bi,Pb) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>
Shandite	Ni <sub>3</sub> Pb <sub>2</sub> S <sub>2</sub>
Hauchecornite	Ni <sub>9</sub> Bi <sub>2</sub> S <sub>8</sub>
Shadlunite	(Cu,Fe) <sub>8</sub> (Pb,Cd) <sub>8</sub> S <sub>8</sub>
Manganshadlunite	(Cu,Fe) <sub>8</sub> (Mn,Pb,Cd) <sub>8</sub> S <sub>8</sub>
Thalcosite	Cu <sub>3</sub> Tl <sub>2</sub> FeS <sub>4</sub>
Molybdenite	MoS <sub>2</sub>
Stannite	Cu <sub>2</sub> FeSnS <sub>4</sub>
Tilleyite	(Sn,Pb)S
Cassiterite	SnO <sub>2</sub>
Altaite	PbTe
Hedleyite	Bi <sub>7</sub> Te <sub>3</sub>
Native bismuth	Bi
Nickeline	NiAs
Maucherite	Ni <sub>11</sub> As <sub>8</sub>

Lollingite	FeAs <sub>2</sub>
Safflorite	CoAs <sub>2</sub>
Rammelsbergite	NiAs <sub>2</sub>
Nikelskutterudite	NiAs <sub>3</sub>
Skutterudite	CoAs <sub>3</sub>
Ferroskutterudite	FeAs <sub>3</sub>
Gersdorffite	NiAsS
Cobaltite	CoAsS
Breithauptite	NiSb
Ullmannite	NiSbS
Native arsenic	As

### Edelmetall-Mineralogie:

Auricupride	Cu <sub>3</sub> Au
Pt-Pd tetraauricupride	(Au,Pd,Pt)Cu
Argentoauricupride	(Ag,Au,Pd,Pt)Cu
	Cu <sub>3</sub> (Pt,Au)
Au, Cu, Ag, Pt, Pd alloys	
Native gold	Au <sub>75-100</sub> wt % Ag <sub>0-25</sub> wt %
Electrum	Au <sub>25-75</sub> wt % Ag <sub>25-75</sub> wt %
Kustelite	Ag <sub>75-95</sub> wt % Au <sub>5-25</sub> wt %
Native silver	Ag <sub>95-100</sub> wt % Au <sub>0-5</sub> wt %
Acanthite	Ag <sub>2</sub> S
Naumanite	Ag <sub>2</sub> Se
	(Ag,Au,Cu,Pt,Pd) <sub>2</sub> S
	Ag <sub>2</sub> PdS
	(Pd,Ag) <sub>5</sub> BiS <sub>2</sub>
	(Pd,Cu) <sub>7</sub> Ag <sub>4</sub> Pb(Te,Se,S) <sub>4</sub>
Telargpalite	(Pd,Ag) <sub>3</sub> Te
Sopcheite	Ag <sub>4</sub> Pd <sub>3</sub> Te <sub>4</sub>
Stromeyerite	CuAgS
Hessite	Ag <sub>2</sub> Te
Argentopentlandite	(Fe,Ni,Ag) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>
Ni-argentopentlandite	(Ni,Fe,Ag) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>
	(PdAg) <sub>2</sub> Pb
Kerargirite	AgCl
Native platinum	Pt
Isoferroplatinum	Pt <sub>3</sub> Fe
Fe-Pt alloy	Pt <sub>2</sub> Fe
Tetraferroplatinum	PtFe
Tulameenite	Pt <sub>2</sub> FeCu
Pd-Cu alloys	Pd <sub>5-10</sub> Cu <sub>90-95</sub>
Pt-Pd alloys	Pt <sub>10-20</sub> Pd <sub>80-90</sub>
Rustenburgerite	Pt <sub>3</sub> Sn
Atokite	Pd <sub>3</sub> Sn
Zvyagintsevite	Pd <sub>3</sub> Pb
Guanglinite	Pd <sub>3</sub> As
	Pd <sub>3</sub> Sb
Vincentite	Pd <sub>3</sub> (As,Te)
	Pd <sub>3</sub> (Sn,As,Sb,Pb)
	Pd <sub>5</sub> (Sn,As,Sb,Pb) <sub>2</sub>
Arsenopalladinite	Pd <sub>5</sub> As <sub>2</sub>
Arsenopalladinite	(Pd,Ni) <sub>5</sub> As <sub>2</sub>
	Pd <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub> As <sub>3</sub>
Majakite	PdNiAs
Palladoarsenide	Pd <sub>2</sub> As
Paolovite	Pd <sub>2</sub> Sn
	Pd <sub>2</sub> (Sn,Sb)
	Pd <sub>4</sub> SnSb
	Pd <sub>2</sub> (Sn,As)
	Pd <sub>2</sub> (As,Sb)

	(Pd,Ni) <sub>2</sub> As
	(Pd,Ni) <sub>2</sub> (Sn,As)
	(Pd,Ni) <sub>2</sub> (As,Sb)
Pd-orcelite	(Ni,Pd) <sub>2</sub> As
Pd-melonite	(Ni,Pd)Te <sub>2</sub>
Stannopalladinite	Pd <sub>5</sub> Sn <sub>2</sub> Cu
Taimyrite	(Pd,Cu,Pt) <sub>3</sub> Sn
Tatyanite	(Pd,Pt,Cu) <sub>3</sub> Sn
Cabriite	Pd <sub>2</sub> SnCu
Palarstanide	Pd <sub>8</sub> (Sn,As) <sub>3</sub>
Mertieite-II	Pd <sub>8</sub> (Sb,As) <sub>3</sub>
Stibiopalladinite	Pd <sub>5</sub> Sb <sub>2</sub>
Sobolevskite	PdBi
Kotulskite	PdTe
	Pd(Bi,Te,Pb)
Sudburyite	PdSb
Polarite	Pd(Bi,Pb)
Plumbopalladinite	Pd <sub>3</sub> Pb <sub>2</sub>
Niggliite	PtSn
Insizwaite	PtBi <sub>2</sub>
Maslovite	PtBiTe
Michenerite	PdBiTe
Geversite	PtSb <sub>2</sub>
Moncheite	PtTe <sub>2</sub>
Merenskyite	PdTe <sub>2</sub>
Froodite	PdBi <sub>2</sub>
Urvantsevite	Pd(Bi,Pb) <sub>2</sub>
Cooperite	PtS
Braggite	(Pt,Pd,Ni)S
Vysotskite	(Pd,Ni)S
Kharaelakhite	(Pt,Cu,Pb,Fe,Ni) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>
Laflammeite	Pd <sub>3</sub> Pb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Sperrylite	PtAs <sub>2</sub>
Hollingworthite	RhAsS
Platarsite	PtAsS
Irarsite	IrAsS
Laurite	RuS <sub>2</sub>
	Pd <sub>4</sub> Bi <sub>5</sub> Cl <sub>3</sub>
	PdBiO