Hans-Ulrich Aust

VHMS-Lagerstätten auf Zypern

Genese, Mineralogie und regional-geochemischer Vergleich mit dem Iberischen Pyritgürtel

Kapitel 6: Gesteine und Minerale

6.1: Eisenminerale

Version 2.0

3.11.2026

© Photos und Abbildungen der vorliegenden Ausarbeitung dürfen unter der CC-Lizenz "CC BY NC" weiterverwendet werden.

Inhaltsverzeichnis

6.1 Eisenminerale im Überblick....4
6.1.1 Limonit....7
6.1.2 Hämatit....13
6.1.3 Goethit....16
6.1.4 Jarosit....24
6.1.5 Vergleich Zypern vs. IPB (Tendenzen)....26

Hinweise:

1. Charakterisierung von Lagerstätten

die Minen der in diesem Unterkapitel gezeigten Handstücke werden bezüglich ihres Lagerstättentyps folgendermaßen charakterisiert, nähere Erläuterungen zu den Bezeichnungen finden sich in Teil I:

IPB:

São Domingos: Hybrider VHMS-Typ (Sub-seafloor Replacement + Brine Pool / Mound)

San Telmo: Sediment-geprägter VHMS-Typ (Dominantes Sub-seafloor Replacement / VSC-Verdrängung)

Troodos:

alle VHMS-Lagerstätten: Zypern-Typ (oder mafic-type VMS)

2. Photos von Handstücken aus Zypern sind schwarz hinterlegt, die aus dem IPB grau.

6.1 Eisenminerale im Überblick

Merkmal	**Goethit**	**Hämatit**	**Limonit**	**Jarosit**	**Magnetit**
Chemische Formel	FeO(OH)	Fe_2O_3	Gemenge aus Fe-Oxidhydroxiden	$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$	Fe_3O_4
Farbe	gelb- bis dunkelbraun	rotbraun bis schwarz	ockergelb bis braun	schwefelgelb	schwarz
Makroskopische Erscheinungsformen	nierenförmig, traubig (botryoidal), faserig, erdig	massig, spiegelnd („Eisenglanz“), botryoidal, erdig	porös, erdig, rostig, schwammartig	pulverig, krustig, feinkörnig	massig, körnig, oktaedrische Kristalle
Typische Oberfläche	samtig bis seidig	metallisch oder matt	rau, porös	matt, pulverig	metallisch glänzend
Magnetisch	nein	nein	nein	nein	ja (stark)
Typische Begleitminerale	Jarosit, Hämatit, Malachit, Chrysokoll	Goethit, Magnetit	Goethit, Jarosit	Goethit, Gips	Pyrit, Chlorit
Häufige Verwechslung	Limonit, Jarosit	Magnetit	Goethit	Goethit	Hämatit
Makroskopische Unterscheidung	braune, häufig traubige Überzüge	meist dunkler und kompakter als Goethit	sehr porös und rostig	intensiv gelb, oft pulverig	sofort mit Magnet erkennbar
Typische VHMS-Zone	Gossan, Oxidationszone	Gossan	Gossan	saure Oxidationszone	primäre Erzkörper oder mafische Nebengesteine
Häufigkeit Troodos	★★★★★	★★★★☆	★★★★☆	★★☆☆☆	★☆☆☆☆
Häufigkeit IPB	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★☆☆☆
Bedeutung	wichtigstes Eisenmineral der Verwitterung	fortgeschrittene Oxidation	Sammelbegriff für Verwitterungsprodukte	Hinweis auf stark saure Verwitterung	primäres Hochtemperaturmineral

In der Landschaft sind die roten und gelben eisenhaltigen Gesteine des Eisernen Huts (Gossan) sofort auffällig. Die leuchtenden Farben müssen schon im Altertum ein erstes Indiz für eine mögliche Lagerstätte gewesen sein, zumal wenn sie hoch oben auf einem Hügel auszumachen waren.



Gossan einer verlassenen (historischen?) Abbaustätte auf Zypern, dominiert von rotem/gelbem Limonit.

Der „Eiserne Hut“ (Gossan) als oberste Zone der Lagerstätten war dem direkten Einfluss der Atmosphäre ausgesetzt und wird im Wesentlichen dominiert durch:

- Eisenhydroxide (z.B. Limonit $Fe(OH)_3$, Goethit α-$Fe^{3+}O(OH)$, Lepidokrokit (γ-$Fe^{3+}O(OH)$)
- Eisenoxide (Hämatit Fe_2O_3, Magnetit Fe_3O_4)
- Pyrit FeS_2
- Quarz SiO_2.

Für das Farbenspiel verantwortlich sind die genannten Eisenhydroxide und -Oxide, sie prägen das äußere, farbliche Bild der Minen, kommen aber auch in allen anderen Zonen der Lagerstätten vor.



Oben: Mitsero Mine auf Zypern;
dunkelbraun: angewitterte Pillow-Laven;
gelb: Jarosit/Goethit/Limonit (Jarosit spielt dabei die Hauptrolle für den gelben Farbton);

Unten: Mine São Domingos im IPB;
intensiv rote Wände: Hämatit; braun-rostbraun: Goethit / Limonit (klassischer Eiserner Hut);
hellgelb-grauweiß (untere linke Wand): Jarosit (Indikator für stark saure Sulfidoxidation)



6.1.1 Limonit

Um den Begriff Limonit gibt es einige Verwirrung. Limonit ist kein eigenständiges Mineral, sondern ein generischer Begriff für Gemenge verschiedener Eisenhydroxide und Eisenoxide, darunter hauptsächlich Goethit und andere oxidische Eisenverbindungen. In der Literatur findet sich häufig die generelle chemische Formel $FeO(OH)\cdot nH_2O$, obwohl dies nicht ganz richtig ist, da Limonit sowohl in seinem Hydrat-(H_2O)-, Hydroxyl-(OH)- und in seinem Kationengehalt variabel ist. D.h.: es gibt für Limonit keine genau festgelegte Stöchiometrie.

Ein wichtiges Indiz für Limonit: bei hoher Temperatur dehydratisiert Limonit, es setzt Wasser frei. Um festzustellen, ob ein ockerfarbiges Gestein Limonit enthält, wird eine Probe solange über eine Gasflamme verbracht, bis sie rot zu glühen beginnt. Hat sie sich nach dem Abkühlen ins Rote oder Purpurne verfärbt, handelte es sich um Limonit. Damit erklärt sich auch, dass viele gelbe Tone nach dem Brennen rötliche Töpfer- oder Ziegeleiwaren (z. B. Terrakotta) ergeben. Auf demselben Effekt beruhen die Pigmente gebrannter Ocker, gebrannte Siena oder Umbra, die auf Zypern hochrein produziert werden.

Ocker ist eine pulverartige Verwitterungsform des kristallinen Limonits, die als Farberde auch als Umbra gehandelt wird. Ocker besteht in der Regel aus einem Gemisch von verschiedenen wasserhaltigen Eisen(III)-oxiden, vor allem Goethit ($Fe_2O_3\cdot H_2O$). Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzungen kommen verschiedene Ockertöne zustande, ein geringerer Wassergehalt führt z.B. vermehrt zu einem Rotstich (Hämatitanteil). Beim Erhitzen nehmen die Ocker infolge Bildung von Fe_2O_3 ähnlich wie Backsteine und Ziegel eine rote Farbe an (≡ Übergang von Goethit zu Hämatit durch Wasserentzug).

Fazit: es gibt mit makroskopischen Mitteln keine Chance, die Bestandteile einer Limonitstufe z. B. aus dem Gossan exakt zu bestimmen. Auch die Farbe des Gesteins gibt lediglich Hinweise auf mögliche Bestandteile, da sie auch stark von der lokalen Temperaturhistorie und dem Grad der Verwitterung abhängt. Selbst im geologischen Museum auf Zypern wird es eher unspezifisch als

„Σιδηρούν Καλυμμα“

bezeichnet, was übersetzt soviel wie „eisenhaltiges Gestein“ bedeutet.

Belegstufe 6.1.1 Limonit A (Z)

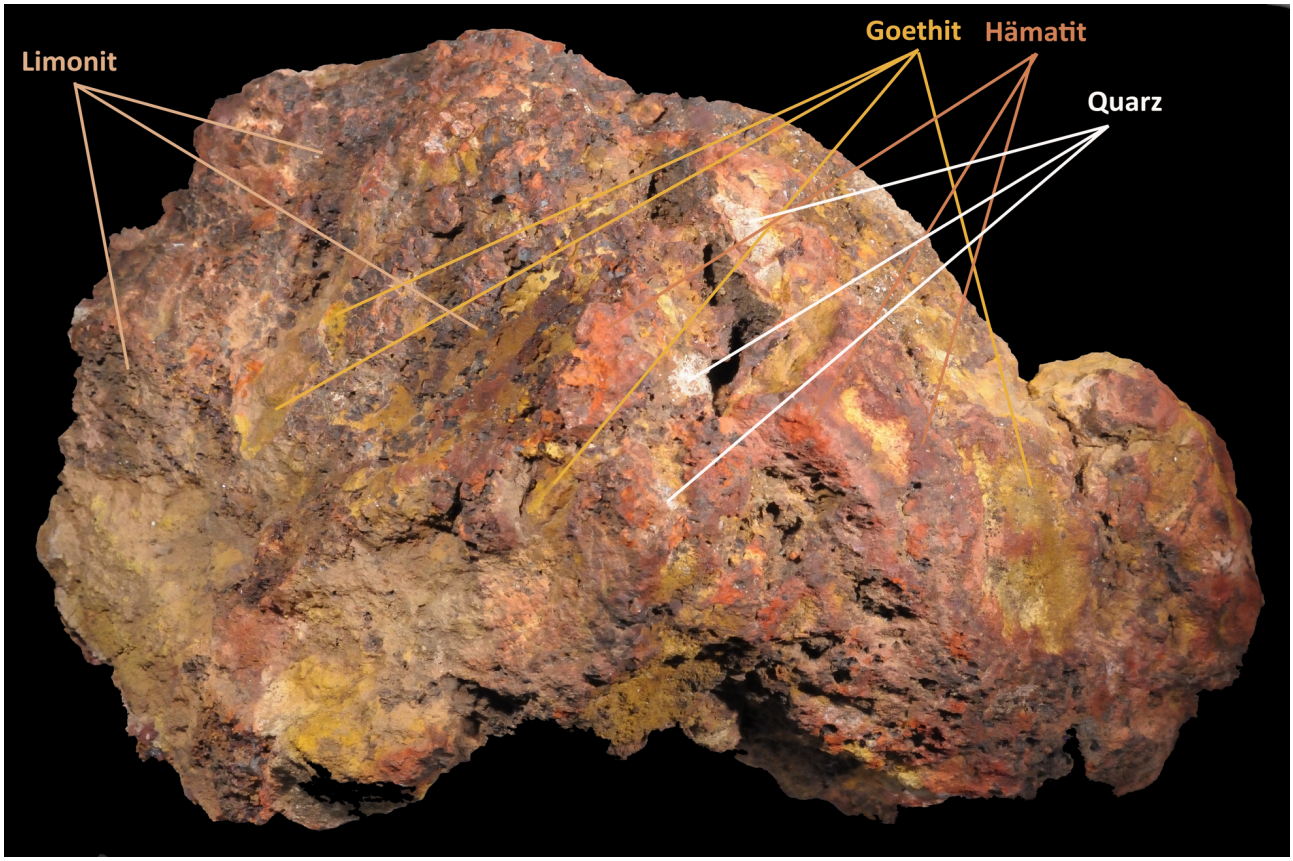
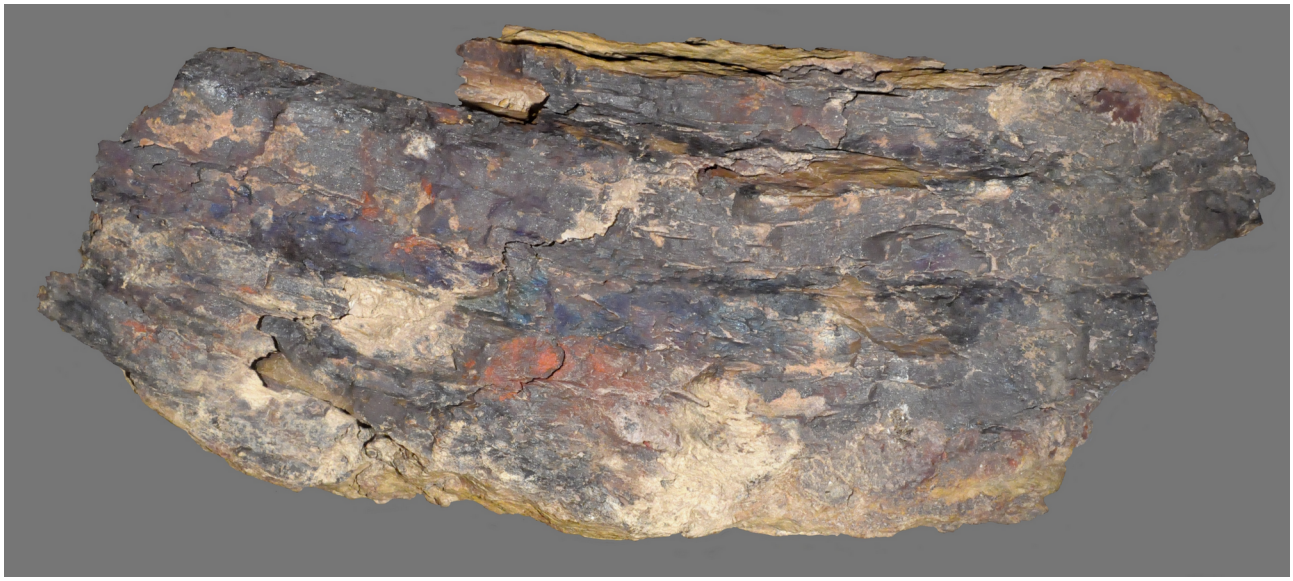


Abbildung Belegprobe „Limonit A“: Stufe aus dem oberen Bereich der Matthiatis Mine (Z), Breite der Stufe rd. 20 cm;

Hier die Interpretation für die Belegstufe

- Mineralbestand: die Stufe zeigt an der Oberfläche neben dem „Verwitterungsschrott“ Limonit noch intakte kristalline Komponenten von Goethit, Hämatit, Quarz und Jarosit (?);
- Gesteinstyp: das Handstück ist somit ein klassisches Beispiel für einen Gossan („Eiserner Hut“) aus der Oxidationszone einer zyprischen VHMS-Lagerstätte;
- dominante Paragenese: die Oberfläche besteht fast vollständig aus sekundären Eisenoxiden und -hydroxiden, primär Hämatit (ziegelrote Arealbereiche) und Goethit (ocker- bis gelbbraune Massen);
- Textur / Gefüge: die Stufe zeigt eine poröse, zelluläre Skelettstruktur (*Boxwork*-Gefüge), die durch die vollständige Auflösung der ursprünglichen Sulfide unter sauren Bedingungen entstanden ist;
- Genetischer Prozess: intensiv verwittertes Produkt; der ursprüngliche primäre Sulfidkörper (Pyrit und Chalkopyrit) wurde durch die Einwirkung von Sauerstoff und zirkulierendem Wasser superfiziel (oberflächennah) oxidiert und zersetzt;
- Hinweis zum Kernbereich: während die Außenhülle vollständig in dichte und erdige Eisenoxide umgewandelt ist, dürften im unverwitterten Kern des Handstücks noch Relikte von primärem Pyrit/Chalkopyrit oder weiterem unlöslichen Quarz-Kieselzinder vorliegen („schlackenartiger, löchriger Quarz“).

Belegstufe 6.1.1 Limonit B (IPB)





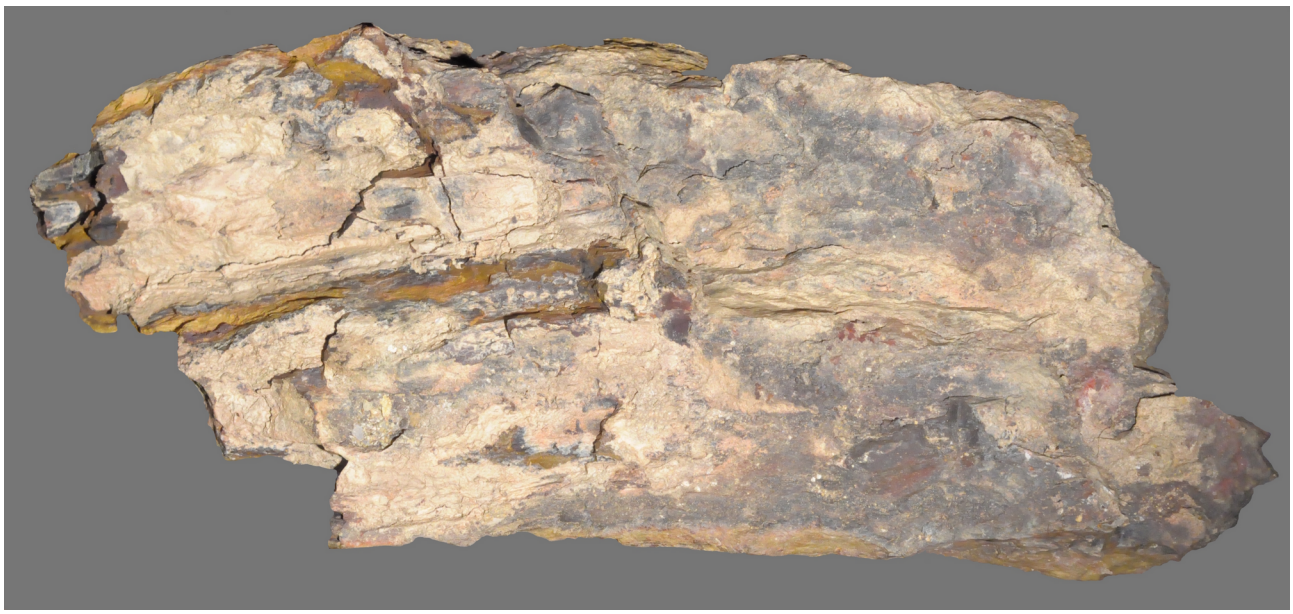
„Limonit B“: Breite 27 cm, São Domingos (IPB);

typischer Gossan aus dem Iberischen Pyritgürtel: plattenförmige Stufe mit dunkler Goethitoberfläche auf porösem Jarosit-Limonit-Gerüst, sowie roten Hämatit- und bläulich-grünen Chrysokoll-Überzügen.

Oben: Atmosphärenseite

Mitte: Ausschnitt „Atmosphärenseite“; ~ Bb rd. 8 cm

Unten: Haldenseite



1. Makroskopischer Gesamtaufbau

1.1 Befund (makroskopische Merkmale)

- Farbe*:* heterogen antrazitschwarz bis dunkelgrau auf der Atmosphärenseite, einzelne Bereiche rostbraun bis blutrot;
  ockergelb auf der Rückseite;
- Textur: plattenförmig / planar zonierter Aufbau senkrecht zur jeweiligen Bildoberfläche; parallele Gefügebänder;

1.2 Interpretation

reliktische Stockwork-/Aderstruktur bzw. tektonisch vorgegebene Fugen- und Schieferungstextur des IPB-Erzkörpers, entlang derer die Verwitterung (Supergenese) zoniert fortgeschritten ist;

Aussagesicherheit: gesichert

Begründung: das syn-hydrothermale Adernetzwerks-Gefüge in Kombination mit der regionalen VHMS-Tektonik des IPB gibt diese planaren Verwitterungsebenen makroskopisch vor;

1.3 Genese

Aufstieg hydrothermaler Erzfluide entlang tektonischer Klüfte/Schieferungsflächen (Stockwork-Zone), deren schichtparallele Geometrie bei der späteren Oxidation zu Gossan als stabiles Gefügeskelett erhalten blieb; das Grundgerüst der Stufe besteht nicht aus hartem Goethit, sondern aus einer porösen, in-situ zersetzten Restmatrix aus Jarosit und erdigem Limonit.

1.4 Differentialdiagnose (Abgrenzung)

Abgrenzung zu fluvialer Einregelung/Sedimentstrukturen:

keine abgerundeten Komponenten, Korngrößensortierung oder Kreuzschichtung zu beobachten;

2. Vorderseite (dunkle Oberflächenkruste)

2.1 Befund (makroskopische Merkmale)

- Farbe: tief dunkelgrau bis antrazitschwarz, stellenweise mit mattem Metallglanz.
- Textur: dichte, hart zusammengewachsene, schützende Panzerkruste (Sinterhaut); schließt die Vorderseite der Platte weitgehend ab;

2.2 Interpretation

Dichte Goethit-Oberflächenkruste (Sinterhaut), evtl. mit feinstverteilten Manganoxid-Beimischungen;

Aussagesicherheit: sehr hoch

Begründung: die dunkle, fast schwarze Färbung ist primär auf kompakten, mikrokristallinen Goethit zurückzuführen; der tiefe Schwarzton deutet auf eine kapillare Verdunstungsanreicherung an der frei bewitterten Oberseite hin, bei der sich (erfahrungsgemäß) auch Spuren von Manganoxiden niederschlagen können;

2.3 Genese

Verdunstung aufsteigender Porenwässer unter direkter Lufteinwirkung (Sonne, Wind); Bildung unlöslicher, dichter Eisen- (und untergeordnet Mangan-) Hydroxid-Häute, während feine Sulfatanteile wahrscheinlich durch Regen kontinuierlich abgespült wurden;

2.4 Differentialdiagnose

Abgrenzung zu Manganoxiden:

Manganoxide können makroskopisch sehr ähnliche, tiefschwarze bis matte Überzüge bilden; da kein Strichtest durchgeführt wurde, lässt sich Mangan als feinstverteilte Beimischung in der Kruste nicht ausschließen; der Hauptanteil wird jedoch aufgrund der typischen Gossan-Paragenese von kompaktem Goethit gestellt werden;

Abgrenzung zu Magnetit / Ilmenit:

das Fehlen von Ferromagnetismus (Test mit Magneten: negativ) sowie die rein supergene Krustenform auf poröser Gossan-Substanz schließen primäre Magmatite oder metamorphe Magnetiterze aus;

Abgrenzung zu reliktischem Sulfid-Ruß (Chalkosin/Covellin):

diese Kupfer-Verbindungen treten meist fettig-metallisch oder bläulich-schwarz auf und würden an ei-

ner über Jahrzehnte freigelegten Haldenoberfläche rasch verwittern.

3. Rückseite und Flanken

3.1 Befund (makroskopische Merkmale)

- Farbe: durchgehend hell-ocker, senfgelb bis knallgelb;
- Textur: offenes, poröses Grundgerüst (Skelett); auf den rauen ungeschützten Flächen und an den seitlichen Kanten von erdigen, pulverigen Krusten und Ausblühungen überzogen;

3.2 Interpretation

Freiliegendes, poröses Matrix-Grundgerüst mit flächigen Jarosit- / Limonit-Ausblühungen (Eisen-Kalium-Sulfate und feinteilige Eisenhydroxide);

Aussagesicherheit: sehr hoch

Begründung: die Rückseite und die Flanken repräsentieren das ursprünliche, poröse Gefügeskelett der Stufe; die senfgelbe, pulverige Überprägung an den Flanken und Auflageflächen ist die klassische Signatur saurer Porenwässer (*Acid Mine Drainage*).

3.3 Genese

Da das Handstück auf der Halde nicht flach auflag, konnten an den freigestellten Flanken und der Unterseite saure Sickerwässer und Kapillarfeuchtigkeit frei zirkulieren. Beim Verdampfen diese Lösungen fällten sich flächig Jarosit und erdiges Limonit als flächige Ausblühungen auf dem porösen, verwitterten Grundgerüst aus.

3.4 Differentialdiagnose

Abgrenzung zu Tonmineralen:

Tonminerale zeigen gräuliche bis weißliche Töne und ein fettiges Gefühl; Jarosit ist erdig-pudrig und chemisch an die Sulfat-Verwitterung gekoppelt;

Abgrenzung zu dunklem Goethit-Boxwork:

das Fehlen harter, dunkler Stege belegt, dass das Gerüst hier im sauren, sulfatreichen Milieu verblieben ist, ohne zu dichten Goethit-Phasen zu dehydratisieren;

4. Rote Überzüge und Pigmente

4.1 Befund (makroskopische Merkmale)

- Farbe: ziegelrot, blutrot bis feuerrot;
- Textur: erdige, pulverige Flecken und dünne Häute in den Matrixporen.

4.2 Interpretation

Feinstverteilter, wasserfreier Hämatit (Fe_2O_3);

Aussagesicherheit: sehr hoch

Begründung: die blutrote Farbwirkung grenzt Hämatit eindeutig von den braunen Goethit-Phasen ab.

4.3 Genese:

Sekundäre Entwässerung/Alterung instabiler Eisenhydroxide unter trockenen, warmen Klimabedingungen des IPB.

4.4 Differentialdiagnose

Abgrenzung zu Goethit:

Goethit zeigt ocker- bis schokoladenbraune Töne; Hämatit zieht klar ins Blut- bzw. Ziegelrote.

5. Grüne/blaue Hohlraumfüllungen im Zentrum

5.1 Befund (makroskopische Merkmale)

- Farbe: smaragdgrün bis azurblau;
- Textur: traubig-kugelig (botryoidal),
- Laborbefund:
  - geschlossene Überzüge ohne erkennbare Einzelkristalle (mit 10-fach Lupe);
  - Nachzeichnen der Goethit-Untergrundstruktur (molding);
  - Verzicht auf HCl-Test; wegen versiegelter Oberfläche kann solch ein Test nicht zerstörungsfrei durchgeführt werden;

5.2 Interpretation

Chrysokoll (kryptokristallines Kupfersilikat-Gel) oder extrem dichte, feinstkollomorphe Überzüge von Malachit; klassischer, makrokristalliner Azurit scheidet

wegen der langen Expositionszeit in der Atmosphäre aus.

Aussagesicherheit

- „hoch“ für Chrysokoll / feinstkollomorphes Kupfersilikat-Gel;
- „gering“ für dichten Glaskopf-Malachit;

  Begründung: die strikt botryoidale, kristalllose Wuchsform, das Nachzeichnen des Untergrundes sowie die lange Haldenlagerung sprechen für das amorphe Kupfersilikat Chrysokoll.

5.3 Genese

Sekundäre Mobilisation von Kupfer aus Chalkopyrit und Ausfällung als kolloidales Gel in den Lösungs- und Verwitterungshohlräumen des Gossan.

5.4 Differentialdiagnose

Abgrenzung zu Azurit-/Malachit-Kristallrasen:

das Fehlen von Prismen, Nadeln oder Faserstrukturen unter 10-facher Lupe unterscheidet die Schicht klar vom typischen Karbonat-Kristallrasen.

6.1.2 Hämatit

In VHMS-Lagerstätten bildet Hämatit (Fe_2O_3) das mineralogische Endprodukt von intensiver Entwässerung und Oxidation primärer Eisen-Sulfide in der oberflächennahen Oxidationszone, vor allem im Gossan. Die Umwandlung des primären Pyrit-Sulfids (FeS_2) über die Zwischenstufe Goethit (FeO(OH)) hin zum dehydratisierten Hämatit (FeS_2) lässt sich in folgenden Schritten darstellen:

Sulfid-Oxidation → Hydroxid-Fällung → Dehydration

1. Stufe: Oxidation des Pyrits zu Goethit:

$$4\ FeS_2 + 15\ O_2 + 10\ H_2O \rightarrow 4\ FeO(OH) + 8\ H_2SO_4$$

2.Stufe: Entwässerung von Goethit zu Hämatit:

$$2\ FeO(OH) \rightarrow Fe_2O_3 + H_2O$$

Zusammen mit Quarz bildet Hämatit die charakteristisch ziegelrote, säure- und verwitterungsbeständige Kruste über dem Erzkörper.

Darüber hinaus kann feinstverteilter Hämatit auch synsedimentär („zeitgleich“) in den hangenden Umbra- und Jasper-Horizonten ausfallen und dient als wichtiger Indikator für oxidative Bedingungen während oder nach der submarinen Sulfidbildung, was aber für die vorliegenden Handstücke nicht zutrifft. Dessen Entstehung erfolgte mit hoher Sicherheit durch Verwitterung und nicht durch sedimentäre Reaktionen im Umfeld des Black Smokers noch auf dem Meeresboden.

Belegstufe 6.1.2 Hämatit A (Z)

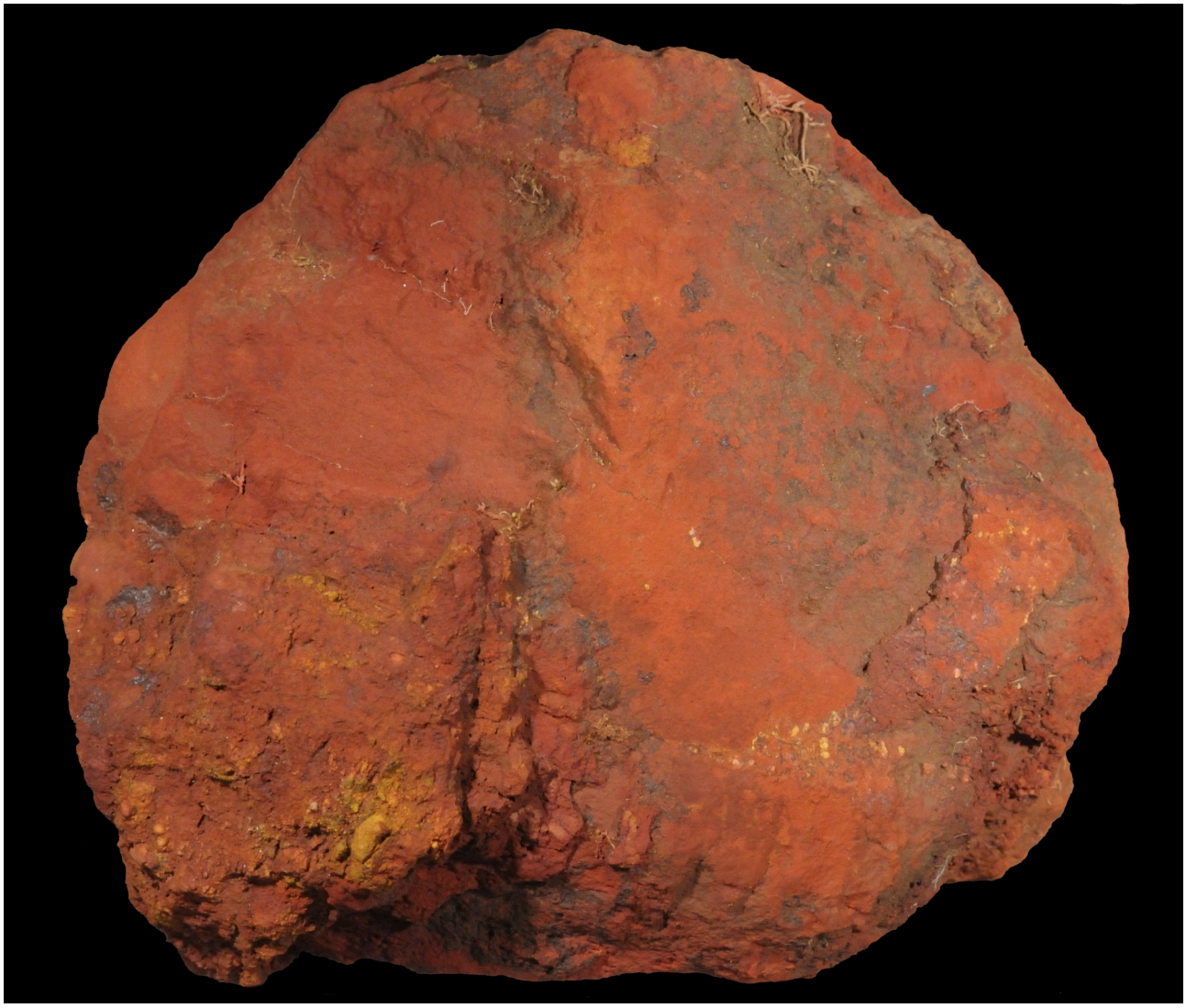


Abb. „Hämatit A“: die Stufe repräsentiert ein fortgeschritteneres Dehydrationsstadium oder eine höhere Oxidationsreife z. B ggü. „Limonit A“; wenn feuchtes Eisenhydroxid (Limonit/Goethit) austrocknet oder über längere geologische Zeiträume altert, verliert es Wasser und wandelt sich vollständig in das wasserfreie Eisenoxid Hämatit um; Breite der Stufe: ~ 12 cm ;

1. Befund (makroskopische Merkmale)

- Farbe: es dominiert fast monochromatisch ein sehr kräftiges, tiefes Ziegelrot bis Terrakottarot; ocker- bis gelbbraune Farbnuancen treten nur sehr untergeordnet auf (z. B. im unteren Randbereich);
- Textur / Gefüge: mittig bis oben zeigt die Stufe ein glatteres/dichteres Gefüge und wirkt feinkörnig bis fast klastisch/sedimentär bis dicht, die Oberfläche erscheint weicher und ebenmäßiger;
- rauer/bröckeliger Bereich (unten links und rechts): hier ist das Gefüge poröser, erdiger und zeigt unregelmäßige Abbruchkanten;
- Glanz: vollkommen matt bis erdig; es fehlen sämtliche kristallinen oder metallischen Glanzlichter an der Oberfläche;

2. Mineralgehalt und Interpretation der Zonen

- dominantes Mineral: Hämatit (α-Fe_2O_3)

  Aussagesicherheit: gesichert

  Begründung: die tiefrote, homogene Färbung deutet auf eine fast vollständige Anreicherung von feinstkörnigem bis amorphem Hämatit hin;

  das Fehlen von größeren gelben Abschnitten zeigt, dass der hydrierte Eisenanteil (Goethit/ Limonit) weitestgehend entwässert ist oder der Verwitterungsprozess unter Bedingungen stattfand, die die direkte Hämatitbildung begünstigten;

- untergeordnet Sulfate/gelbe Phasen (Jarosit / Limonit)

  Aussagesicherheit: hoch

  nur im unteren linken Bereich sind punktuell gelblich-ockerfarbene Beläge sichtbar, die auf untergeordnete Reste von Limonit und/ oder feinsten Jarosit-Spuren in den Poren hinweisen;

- Matrix:

  das Handstück wirkt wie eine sehr intensiv verwitterte, feinkörnige Oxidmasse – entweder wie aus einer absolut reifen, rotgebänderten Zone eines Gossan oder eine roterzartige Umbra-Sedimentlinse (Fe-Mn-reiches Tiefsee-Sediment), die direkt auf den VHMS-Sulfiden im Troodos-Ophiolith aufliegen;

3. Genetische Interpretation

- Verwitterungsstadium: Stufe „Hämatit A“ repräsentiert ein fortgeschritteneres Dehydrationsstadium oder eine höhere Oxidationsreife ggü. z. B der Belegstufe „Limonit A“; wenn feuchtes Eisenhydroxid (Limonit/Goethit) austrocknet oder über längere geologische Zeiträume altert z.B. auf einer Halde unter aridem Klima, verliert es Wasser und wandelt sich vollständig in das wasserfreie Eisenoxid Hämatit um;

- Ablagerungsmilieu: solch intensiv rote, feine Massen bilden sich bevorzugt im äußersten, am stärksten durchlüfteten Teil des Eisernen Huts (Oberflächennähe) oder direkt an der Kontaktzone zum Hangenden, wo eisenhaltige Ausfällungen sedimentär mit kieseligem Material (Umbra/ Chert) verbacken wurden.

6.1.3 Goethit

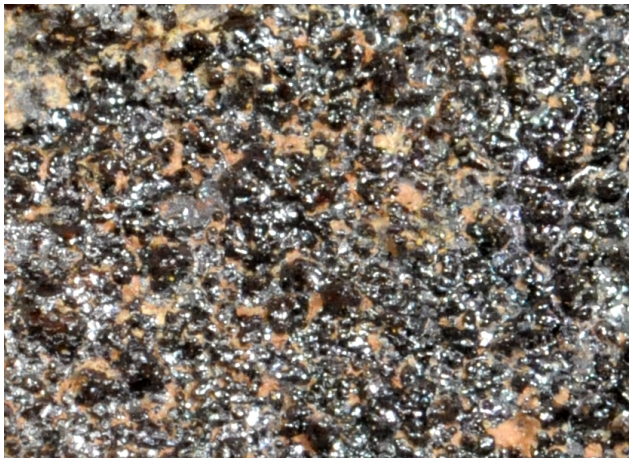
Belegstufe 6.1.3 Goethit A (Z)



Links: Handstück aus der supergenen Oxidationszone der Mathiatis-Mine (Z), typische Vergesellschaftung von Eisenmineralen: ein poröses Limonit-Jarosit-Grundgerüst mit roten Hämatit-Einschlüssen, das von einer dünnen, strukturgetreuen Goethit-Sinterhaut (als mikrokristalliner Rasen) überzogen wird; Bildbreite 10 cm;

Links unten: Ausschnittvergrößerung; Bildbreite 8 mm;

Unten: Ausschnittvergößerung; Bildbreite 6 mm;





1. Makroskopischer Gesamtaufbau

1.1 Befund

- Farbe: heterogen; dunkelbraun bis anthrazitschwarz auf der glänzenden Oberschicht;
- ocker- bis senfgelbes poröses Gerüst, stellenweise ziegelrote und lila eingefärbte Bereiche;

Textur: plattenförmig, parallel-gebankter Aderrest mit unregelmäßigen Halden-Anlösungsspuren an den Flanken und der Rückseite.

1.2 Interpretation

reliktisches hydrothermales Adergefüge aus dem zypischen Ophiolith-Komplex, bei dem saure supergene Lösungen das Primärerz zoniert umgewandelt haben.

Aussagesicherheit: gesichert

Begründung: das typische syn-tektonische Adernetzwerk und die erzspezifische Zonierung entsprechen exakt den klassischen Gossan-Ausbildungen der VHMS-Lagerstätten im Troodos.

1.3 Genese

Hydrothermale Rissfüllungen eines VHMS-Systems, die durch anschließende oberflächennahe Verwitterung (Supergenese) oxidiert und in stabile Eisenoxid-Hydroxid-Phasen überführt wurden.

1.4 Differentialdiagnose

Abgrenzung zu sedimentären Bändererzen:

keine synsedimentäre Schichtung oder klastische Sortierung feststellbar; es liegt eine rein hydrothermale Kluftgeometrie vor.

2. Goethit-Überzug (dunkle Sinter- und Rasenhaut)

2.1 Makroskopischer Befund

- Farbe: dunkelbraun bis anthrazitschwarz, stellenweise mit seidigem bis submetallischem Glanz;
- Textur: dünner, mikrokristalliner Goethit-Rasen bzw. feine Sinterhaut, die das darunterliegende Porenrelief konturscharf nachzeichnet (*Molding-Effekt* – die Matrix-Struktur drückt sich durch);
-

2.2 Interpretation

Kristalliner bis mikrokristalliner Goethit (FeO(OH)) als dünne, formgetreue Rasenhaut über dem porösen Gerüst;

Aussagesicherheit: sehr hoch

Begründung: der seidig-submetallische Glanz, die Paragenese im oxidierten VHMS-Gossan sowie die strukturgetreue Überwucherung (*Molding*) sprechen sehr stark für mikrokristallinen Goethit; da jedoch kein Strichtest (gelbbraun für Goethit vs. tiefschwarz für Mangan) durchgeführt werden konnte, bleibt eine geringe Restunsicherheit bezüglich akzessorischer Manganoxide.

2.3 Genese

Ausfällung von Eisen(III)-Hydroxiden aus verdunstenden Oberflächenwässern als dünner, geschlossener Kristallrasen direkt auf der freiliegenden Topografie des Gossans.

2.4 Differentialdiagnose

Abgrenzung zu Manganoxiden

Manganoxide bilden makroskopisch sehr ähnliche, samtig-schwarze bis submetallische Überzüge. Ein fehlender gelbbrauner Strichtest lässt Mangan als Spurenkomponente nicht völlig ausschließen; Manganoxide zeigen jedoch meist eine abfärbend-rußige Textur oder deutlich baumartige (dendritische) Formen, was hier zugunsten der dichten Goethit-Haut zurücktritt;

Abgrenzung zu reliktischem Sulfid-Ruß (Chalkosin/Covellin)

Feinstkörnige Kupfer-Chalkogenide können dunkle, mürbe Bänder bilden, verhitzen/verwittern auf Haldenoberflächen jedoch rasch und besitzen keinen seidigen Goethit-Glanz;

Abgrenzung zu Hämatit (Roteisenstein)

Hämatit-Krusten zeigen in Dünnschichten meist einen charakteristischen Rotstich, während die vorliegende Panzerhaut rein braunschwarz dominiert ist.

3. Poröses Grundgerüst (Matrix Rückseite/Flanken)

3.1 Befund

- Farbe: ockergelb bis senfgelb;
- Textur: poröses, offenes, erdig-mürbes Hohlraum- und Skelettvolumen mit sichtbaren Halden-Verwitterungsspuren.

3.2 Interpretation:

Limonit-Jarosit-Gemisch als verbliebene Restmatrix

Aussagesicherheit : sehr hoch

Begründung: die typische senfgelbe Farbsignatur und die poröse, feinkörnige Textur

sind der klassische makroskopische Indikator für ein von sauren Sulfatlösungen (Acid Mine Drainage) geprägtes Matrix-Grundgerüst.

3.3 Genese:

Zersetzung der primären Fe-Sulfide in den weniger versiegelten Bereichen der Stufe, wodurch Jarosit und feinteiliges Limonit als stabiles, poröses Innengerüst erhalten blieben.

3.3 Differentialdiagnose

Abgrenzung zu massivem Goethit

Das Fehlen harter, kompakter Goethit-Stege im Volumen zeigt, dass hier kein hohles Goethit-Boxwork vorliegt, sondern eine durchgehend feinteilige, sulfathaltige Limonit-Matrix.

Bemerkung:
wenn Pyrit in einem sauren, wässrigen Milieu oxidiert, bildet sich nicht sofort rein wasserfreies Eisenoxid, sondern eine saure „Lösungssuppe“ (Acid Mine Drainage). Aus dieser stark sauren, sulfatreichen Lösung fällt als charakteristisches Zwischenprodukt Jarosit ($KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) aus. Jarosit ist ein eisenhaltiges Sulfatmineral und der Hauptträger der auffälligen senf- bis knallgelben Farbe der Matrix. Er bindet das Sulfat chemisch direkt in seiner Kristallstruktur.

4. Rote Pigmentzonen

4.1 Befund

- Farbe: ziegelrot bis blutrot;
- Textur: fleckige, erdige bis pulverige Einlagerungen im inneren Gefüge.

4.2 Interpretation

Feinstverteilter Hämatit (Fe_2O_3)

Aussagesicherheit: sehr hoch

Begründung: die markante Rotfärbung unterscheidet diese Nester visuell klar von den gelben Jarosit- und den braunen Goethit-Phasen.

4.3 Genese

Diese ziegelroten Bereiche sind Relikte eines primären, hydrothermalen Ablagerungsgesteins (Exhalit), das zeitgleich mit der VHMS-Lagerstätte am Meeresboden entstand (Black Smoker). Der feine Hämatit ist darin fest an eine mikrokristalline Kieselsäure-Matrix (SiO_2) gebunden. Durch diese silikatische Schutzhülle erwies sich das Material als extrem verwitterungsresistent und überstand die spätere Auslaugung als stabiles Relikt.

4.4 Differentialdiagnose

Abgrenzung zu Limonit

Das reine Ziegelrot schließt allein schon aufgrund der unterschiedlichen Färbung die gelblich-braunen Hydroxidphasen aus.



Makroaufnahme „Goethit A“ (linker oberer Bereich der Stufe); Bildbreite rd 3,5 cm

5. lila- bis lavendelfarbene Zone

5.1 Befund

Matt-erdige, lavendel- bis grauviolette Areale im linken unteren Bereich, die ohne Trennungsfugen fließend in das ziegelrote Hämatit-Jaspis-Material übergehen.

5.2 Interpretation / Genese

Nano-Hämatit

Aussagesicherheit: gesichert

Begründung: die Färbung rührt von einem primär-sedimentären Reifungs- und Entmischungseffekt innerhalb der Kieselsäure-Matrix. Der Farbton resultiert aus optischer Lichtstreuung an nanoskaligen, noch unvollständig kristallisierten Eisenoxid-Vorläufern, die sich nahtlos in das kristallinere, rote Hämatit-Endstadium überleiten. Eine sekundäre Fremdimprägnierung (z. B. durch Kupfer) ist aufgrund der fließenden, homogenen Übergänge ausgeschlossen.

Fazit

Das Handstück aus der Mitsero-Mine ist ein typisches Beispiel für das komplexe Zusammenwirken von primärer submariner Erzbildung und sekundärer Verwitterung (Supergenese) in einem VHMS-System. Das Makrophoto der vorherigen Seite zeigt die komplette paragenetische Abfolge der Supergenese aller 4 Phasen:

Phase 1: lila-graues Relikt (unten links, mattschimmernd)

- Mineral/Gefüge: sub-mikroskopischer Nanohämatit in Kieselmatrix („Exhalit-Vorläufer“);
- Bedeutung: noch nicht vollständig auskristallisiertes, feinstdispergiertes Kolloidmaterial mit optischer Lichtstreuung (Lavendelton).

Phase 2: ziegelroter Jaspis (Mitte unten / oben links, direkt an die lila Zone angrenzend)

- Mineral/Gefüge: rekristallisierter, feinkristalliner Hämatit (Fe_2O_3), fest eingebettet in eine SiO_2-Matrix;
- Bedeutung: primäres, extrem verwitterungsresistentes hydrothermales Meeresboden-Sediment (Exhalit).

Phase 3: senfgelber Jarosit (links oben, mittig und rechts am Rand)

- Mineral/Gefüge: erdiger, mürber Jarosit ($KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) gemischt mit feinteiligem Limonit;
- Bedeutung: Produkt der sauren Initial-Verwitterung (pH < 3) während der Pyrit-Zersetzung.

1. Phase 4: dunkle Goethit-Sinterhaut (zentrales Band)
    - Mineral/Gefüge: mikrokristalliner Goethit (FeO(OH)) mit seidigem bis submetallischem Glanz;
    - Bedeutung: späte, neutrale Ausfällungsphase, die als strukturgetreuer Überzug das Relief der darunterliegenden Phasen konturscharf nachzeichnet.

Die Stufe „ Goethit A“ demonstriert weiterhin, dass Eisenoxide in Gossan-Lagerstätten selten isoliert auftreten (s. z.B. Makroaufnahme zu Stufe „Goethit A“).

Belegstufe 6.1.3 Goethit B (IPB)



Belegstufe „Goethit B“: „Vorderseite“ São Domingos (IPB); Haldenfund, Breite: 24 cm);



Ausschnittsvergrößerung (zentral, im Bereich der großen Bruchlinie SW bis Zentrum);

Bildbreite rd. 2,5 cm

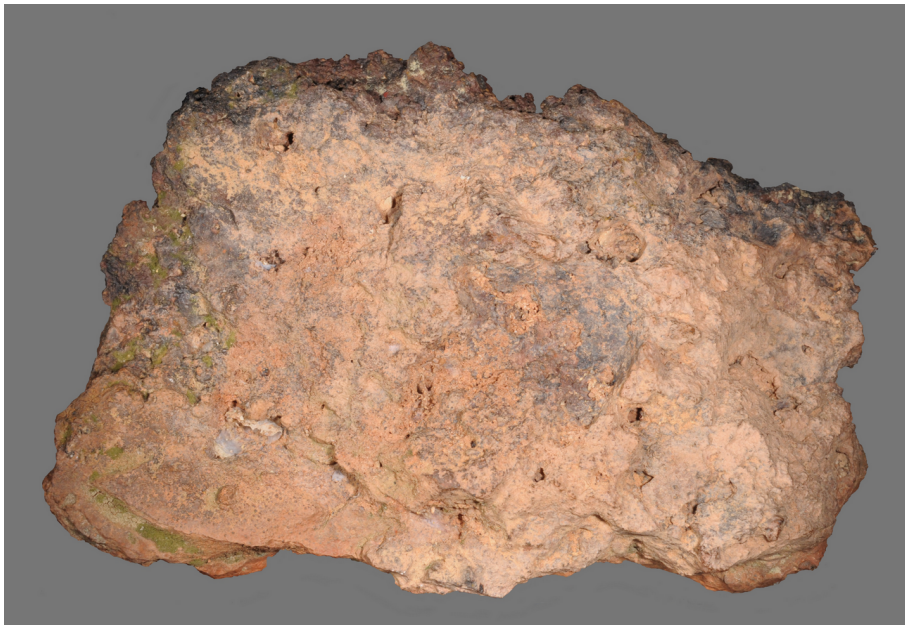
1. Makroskopischer Befund

- Vorderseite: massive, dunkelbraune bis schwarz anlaufende, botryoidale (traubige bis knollige) Goethit-Kruste mit submetallischem bis seidigem Glanz, die abrupt in eine erdig-poröse, ockerfarbene Zone übergeht;
- Rückseite: flächig ausgebildete, natürlich entstandene (unkonturierte) Basisfläche aus poröser, ocker- bis rotbrauner, erdig-jarosithaltiger Matrix mit feinen Laugungsporen (*Boxwork*-Relikte).

2. Interpretation und Genese

- Primäre Entstehung (Sub-seafloor/Halden-Kontext):
  das Handstück stammt aus einem massiven, von Schiefern und Vulkanoklastika über-

6.1.3 Goethit



Belegstufe „Goethit B“:
„Rückseiteseite“
São Domingos (IPB);
Haldenfund, Breite: 24 cm);

deckten Riesenlagerstättensystem des IPB (São Domingos); die poröse ockerfarbene Matrix repräsentiert den klassischen Gossan (Eisenhut), der durch die vollständige supergene Auslaugung von Primärsulfiden (Pyrit) in einer sauren Pufferzone entstand.

- Sekundäre Abscheidung: die glänzende, traubige Goethit-Kruste auf der Vorderseite bezeugt eine nachträgliche Bildung durch das Einwandern und Auskristallisieren feiner Eisenoxid-Vorstufen in Hohlräumen unter den geschützten, feuchten Bedingungen des IPB-Deckgebirges;
- Natürliche Trennfläche (Rückseite): die flache Rückseite bildete sich als natürliche Kluft-, Schicht- oder Kontaktfläche zwischen verschiedenen Steinen („Salbandfläche“) im Ausbiss bzw. auf der Halde, an der das Handstück aufgrund der durch Auslaugung geschwächten Struktur mechanisch prädisponiert abbrach.

3. Aussagesicherheiten

Zuordnung Verwitterungs-Sequenz: gesichert

Begründung: die Kombination aus mächtiger, botryoidaler Goethit-Kruste, ockerfarbener Jarosit/Limonit-Matrix und der typischen Halden-Morphologie des IPB ist absolut charakteristisch für die Bergbaureviere der iberischen Pyritprovinz.

Zuordnung zu natürlicher Kluft-/Kanten-Ablösung vs. künstlichem Schnitt: gesichert

Begründung: die Textur der Rückseite zeigt unregelmäßige Unebenheiten und mikroskopische Porenanschnitte ohne Sägespuren, was typisch für natürliche, durch Frost- oder Haldenverwitterung freigelegte Bank- oder Kluftflächen ist.

4. Differentialdiagnostik

Abgrenzung zu frischen Primärerzen:

Ausschluss: keine Erhaltung von Primärsulfiden (kein frischer Pyrit oder Chalkopyrit sichtbar); das gesamte Gestein ist vollständig in Oxide und Sulfate (Goethit, Jarosit) umgewandelt (Gossan-Endstadium).

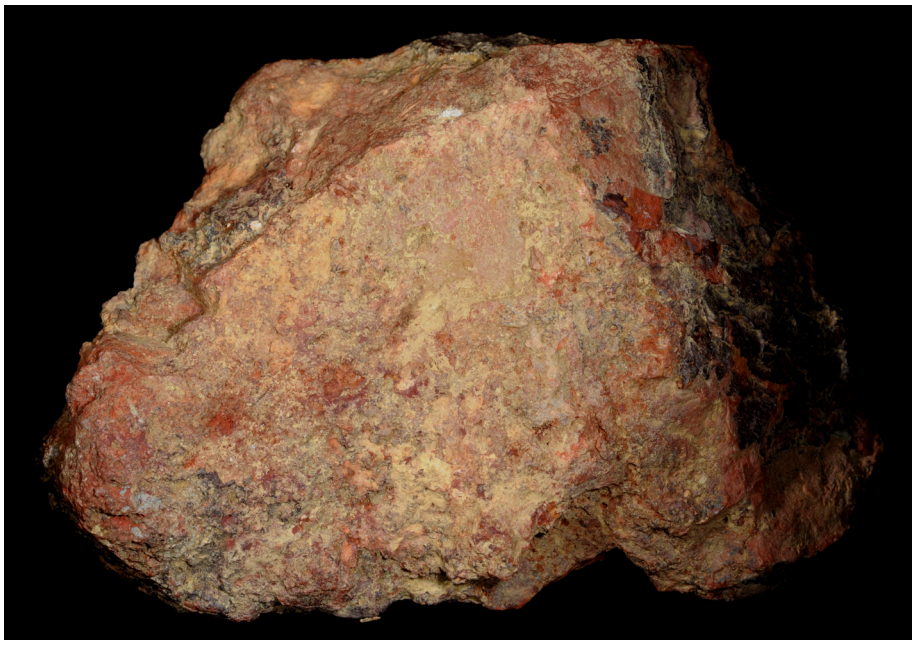
5. Vergleich mit zyprischen VHMS-Stufen

Zyprische Proben zeigen in der Regel keine flächigen, porös/erdigen Jarosit-Rückseiten, sondern sind meist direkt an kieselverbackene Kissenlaven oder feine Jaspis-Mischungen gebunden.

Belegstufe 6.1.3 Goethit C (Z)



Belegstufe „Goethit C“:
„Vorderseite“
(Atmosphärenseite)
Mitsero-Mine (Z);
Haldenfund, Breite: 13 cm);



„Rückseite“ (Haldenseite)

1. Makroskopischer Befund

- Vorderseite (Atmosphärenseite):

  Dominanz von knollig-traubigen, nierenförmigen bis botryoidalen Krusten („Glaskopf“). Glatte, kompakte Oberflächen, die durch colloidale Gel-Fällung entstanden sind. Schokoladenbraune, dunkelrotbraune bis feuerrote Anlauffarben und Fe-Oxid-Patinas; in kleinen Vertiefungen vereinzelt hellere, erdige Reste.

- Rückseite (Haldenseite):

poröse, feinzellig-boxwork-artige bis ebene gebrochene Grundmasse. Fehlen von traubigen Glaskopf-Formen; stattdessen mehlige, erdige bis mikrokristalline Beläge. Flächige Dominanz von leuchtend gelben, ockerfarbenen bis orange-braunen Tönen (Jarosit und erdiger Limonit/Goethit) über einer rotbraunen Matrix.

2. Interpretation und Genese

- Vorderseite (Atmosphärenseite):

  Aufgrund der freiliegende Oberfläche an der Luft und dem dadurch ausgesetzten Wechsel von Benetzung (Regen/Tau) und Austrocknung lagerten sich Fe-Hydroxid-Gele kontinuierlich in Schichten ab. Im Laufe der Zeit erfolgte die Reifung der Gele zu stabilen, dichten Eisenoxid-Phasen (Hämatit Fe_2O_3 und Goethit FeO(OH)). Leicht lösliche Sulfate wurden durch atmosphärische Niederschläge kontinuierlich ausgewaschen.

- Rückseite (Haldenseite):

  die dem Schutt zugewandte Liegendseite im inneren Haldengefüge wurde dauerhaft dem feuchten, geschützten und stark sauren Porenmikroklima (pH < 3) ausgesetzt, was zur Auskristallisation und Konservierung sulfathaltiger Verwitterungsphasen wie Jarosit $KFe_3(SO_4)_2\ (OH)_6$ führte, die an der freien Luft rasch verwittern oder abgespült würden.

3. Aussagesicherheiten

Vorderseite (Atmosphärenseite):

- Klassische, optisch und morphologisch eindeutige Ausbildung eines botryoidalen „Roten/Braunen Glaskopfs“ als Endprodukt der supergenen Eisen-Oxidation;

  Aussagesicherheit gesichert

- Vollständige und sekundäre Umwandlung der ursprünglichen Primärsulfide in stabile Eisenoxide und -hydroxide an der freien, bewitterten Oberfläche.

  Aussagesicherheit: sehr hoch

Rückseite (Haldenseite):

- Zuordnung zum typischen, sauren Verwitterungs- und Porenraummilieu einer VHMS-Erzhalde;

  Aussagesicherheit: sehr hoch

- Makroskopische Unterscheidung bzw. Ansprache als reiner Jarosit im Vergleich zu feinkörnigem Goethit/Limonit (ohne zerstörungsfreie Röntgendiffraktometrie – XRD – oder chem. Analyse bleibt hier eine Restunsicherheit bestehen);

  Aussagesicherheit: hoch

4. Differentialdiagnostik

Vorderseite (Atmosphärenseite)

- Abgrenzung zu Manganomelan (Mangan-Glaskopf):
  Mangan-Glasköpfe zeigen metallisch-graue bis tiefschwarze Farben; die Vorderseite ist eindeutig rotbraun/schokoladenbraun;
- Abgrenzung zu Verhüttungsschlacke:
  keine Entgasungsblasen, Glasphasen oder Fließstrukturen einer Schmelze erkennbar; rein natürliche, colloidal-gelartige Wuchsformen.

Rückseite (Haldenseite):

- Abgrenzung zu syngenetischem Umbra-Sediment:
  Umbra-Horizont-Sedimente des Troodos sind weich, rußend-braun, deutlich geschichtet und manganreich; die Rückseite zeigt hingegen ein zelligeres, brekziös-kieseliges Verwitterungsgefüge (Gossan);
- Abgrenzung zu Hydrothermal-Jasper:
  reiner hydrothermaler Jasper ist sehr dicht, muschelig brechend und frei von mehligen, sauren Verwitterungskrusten wie Jarosit-Belägen.

6.1.4 Jarosit

Jarosit ($KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) ist das klassische Schlüsselmineral der sauren Supergenese. Im Gegensatz zu makroskopisch gut auskristallisierten Sekundärmineralen tritt Jarosit in oxidierten Sulfidlagerstätten wie den VHMS-Vorkommen auf Zypern oder im Iberischen Pyritgürtel fast nie in Form freiliegender, großer Einzelkristalle auf. Stattdessen liegt es überwiegend als feinstkörniges, erdig-mürbes bis pulveriges Pigment vor, das eng mit feinteiligen Eisenhydroxiden (Limonit) verwachsen ist. Es ist also nicht davon auszugehen, dass reine Jarositstufen zu finden sein werden, weder auf Zypern noch im IPB.

Obwohl Jarosit meist nur als Gemengebestandteil auftritt, besitzt er für die Interpretation einer Stufe einen hohen geochemischen Aussagewert:

- Saurer pH-Wert (pH < 3)

  Jarosit kann nur unter extrem sauren Verwitterungsbedingungen ausfallen, wie sie bei der Oxidation von Pyrit und Chalkopyrit durch die Bildung von Schwefelsäure entstehen (*Acid Mine Drainage*);
- Konservierung von Schwefel

  im Gegensatz zu reinen Hydroxiden wie Goethit bindet Jarosit das Sulfat-Ion (SO_4^{2-}) direkt in seinem Kristallgitter;
- Indikator für frühe/geschützte Verwitterung

  Jarosit ist unter neutraleren Bedingungen (z. B. durch einfließendes Süßwasser) thermodynamisch instabil und wandelt sich langfristig unter Sulfatverlust in Goethit um; ein hoher Jarosit-Anteil im Gemenge belegt daher ein geschütztes, stark saures Mikroklima oder ein geologisch vergleichsweise kurzes Verwitterungsstadium.

Makroskopische Erkennung

- Farbsignatur

  Typisch ist eine charakteristische senf- bis buttergelbe (gelegentlich ocker- bis zitronengelbe) Farbnote, die sich visuell deutlich von den rotbraunen bis dunkelbraunen Goethit-Phasen und den ziegelroten Hämatit-Arealen abhebt;
- Haptik und Gefüge

  Im Handstück bildet Jarosit meist eine mürbe, poröse Matrix oder mehligen Beläge in Hohlräumen und auf Kluftflächen.

Differentialdiagnose zu ähnlichen gelben Phasen

- Abgrenzung ggü. freiem Schwefel

  Schwefel zeigt Harz- bis Fettglanz, schmilzt leicht und brennt; Jarosit ist erdig-matt, unschmelzbar und bildet feste Verwachsungen;
- Abgrenzung ggü. Uran-Glimmern (z. B. Autunit / Tyuyamunit)

  Jarosit zeigt keine UV-Fluoreszenz und keine Radioaktivität;
- Abgrenzung ggü. reinem Goethit

  Goethit ist deutlich härter, schwerer und zeigt wärmere, braunere Farbtöne.

Da eine messtechnische Trennung von mikrokristallinem Jarosit und erdigem Limonit makroskopisch nicht möglich ist, werden bei Besprechung der entsprechenden Handstücke Formulierungen wie „poröse Limonit-Jarosit-Matrix“ oder „jarositisch-limonitisches Grundgerüst“ gewählt.

Verwitterungsstufen

Es folgt ein kurzer Abriss zum Thema „Verwitterungsstufen (Paragenesen-Abfolge bei der Supergenese)“; es hilft beim Verständnis, die Reife eines Gossans abzuschätzen und wie sich das Verhältnis von Jarosit zu Goethit im Laufe der Zeit verändert.

Die Umwandlung eines massiven VHMS-Erzkörpers an der Erdoberfläche verläuft nicht sprunghaft, sondern in einer zeitlich gestaffelten Abfolge. Dabei wandern die Lösungsfronten von oben nach unten durch das Gestein, während sich die mineralogischen Phasen je nach pH-Wert und chemischem Milieu sukzessive umwandeln:

Stufe 1: Initialstadium (Primär-Oxidation/saure Phase):

- Prozess: frische Sulfide, wie Pyrit und Chalkopyrit geraten in Kontakt mit oxygenem Oberflächenwasser; durch bakterielle und chemische Oxidation entsteht massenhaft Schwefelsäure;
- Mineral-Marker: es herrscht ein extrem saures Milieu (pH < 3); in dieser Phase dominiert die Ausfällung von Jarosit als primäres Sulfat-Hydroxid, da hier reichlich Kalium, Sulfat und Eisen in Lösung vorliegen.

Stufe 2: Übergangsstadium (Pufferung und In-situ-Alterung):

- Prozess: sobald die saure Lösung durch den Kontakt mit dem Nebengestein oder durch Verdünnung neutralisiert wird (pH-Wert steigt auf > 4), verliert Jarosit seine thermodynamische Stabilität;
- das Sulfat-Ion (SO_4^{2-}) wird schrittweise aus dem Kristallgitter herausgelöst und ausgewaschen; der gebundene Schwefel geht verloren, und der Jarosit wandelt sich in-situ in hydratisierte Eisenoxide wie Limonit und mikrokristallinen Goethit um.

Stufe 3: Endstadium (Reife Phase/Dehydratisierung)

- Prozess: langfristige Auswaschung und eventuell trockenere Klimaphasen führen zur vollständigen Entwässerung und Umkristallisation der metastabilen Vorläufer;
- es entstehen kompakte, harte Goethit-Krusten (Sinterhäute, wie der z.B. bei der Analyse von Stufe „Limonit B“ besprochene dunkle Rasen) oder bei starker Dehydratisierung lokal Hämatit-Nester.

einem früheren, reaktiven oder gegen Auswaschung ge-schützten Stadium „eingefroren“ befindet.

Wenn die gelbe Matrix hingegen komplett verschwunden ist und nur noch harter, dunkler Goethit oder roter Hämatit vorliegt, ist der Verwitterungs- und Auswaschungszyklus schon weit fortgeschritten.

Ein weiterer Hinweis betrifft die enorme Leuchtkraft von Jarosit. Kleinste Mengen können die Farbgebung sehr stark beeinflussen, obwohl systembedingt nur wenig von dem zur Bildung von Jarosit benötigten Kalium zur Verfügung steht, wie z.B. die Einfärbung des Mitsero-Bruchs in kaliumarmen Milieu (s. Kapitel „Einführung Eisenminerale“, Übersichtsaufnahme der Mitsero-Mine).

Aus den genannten Gründen werden keine gesonderten Stufen „Jarosit“ gezeigt; in fast allen Stufen des Kapitels „Eisenminerale“ ist ein Einfluss von Jarosit zu sehen und entsprechend benannt, aber mengenmäßig makroskopisch nicht quantifizierbar.

Bemerkungen zu Jarosit im Troodos:

1. Natrojarosit vs. Jarosit: in Troodos-Tagebauen wie Mitsero oder Skouriotissa findet man chemisch oft Mischphasen zwischen Jarosit (Kalium-Endglied) und Natrojarosit ($NaFe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$), da Natrium aus der Spilitisierung der Laven im Überfluss vorhanden, Kalium hingegen rar ist. Reines Jarosit tritt daher nur in geringen Mengen auf.

2. Jarosit ist ein extrem „farbstarkes“ Mineral. Selbst winzige Mengen auskristallisiertes Jarosits reichen aus, um riesige Wandbereiche leuchtend gelb einzufärben – es braucht dafür keine massive Kalium-Lagerstätte.

6.1.5 Vergleich Zypern vs. IPB (Tendenzen)

1. Methodischer Vorbehalt

Die folgenden Aussagen basieren ausschließlich auf der makroskopischen Analyse vorliegender Handstücke aus dem Troodos (Zypern) und São Domingos (IPB). Eine Verallgemeinerung auf die gesamten Lagerstätten wird vermieden, da Beprobungsort, lokale Aufschlussverhältnisse und vor allen Dingen die geringe Anzahl der untersuchten Stufen das folgende makroskopische Bild stark prägen. Zwar wurden viele Stufen noch nicht präsentabel aufgearbeitet, trotzdem scheinen Tendenzen schon jetzt absehbar.

2. Gemeinsamkeiten

2.1 Supergene Grundabfolge (Chemisches System):

- *Befund:* die Stufen beider Herkunft zeigen die klassische Abfolge von primärem Sulfid über saure Zwischenprodukte (Jarosit) hin zu stabilen Endoxiden (Goethit, Hämatit);
- *Ursache:* die physikochemischen Gesetze der Verwitterung von sulfidischen Erzen unter atmosphärischen Bedingungen sind universell; sobald Pyrit mit Sauerstoff und Wasser in Kontakt gerät, entsteht unweigerlich ein saures sulfatische Milieu, das zwangsläufig zur Abfolge Sulfid → Jarosit → Goethit/Hämatit führt.

2.2 Auslaugungs-Relikte:

- *Befund:* in den verwitterten Bereichen der Stufen sind keinerlei frische, primäre Sulfide mehr erhalten; das Gefüge besteht aus porösen Oxid- und Sulfat-Skeletten;
- *Ursache:* vollständige supergene Auslaugung mobiler Komponenten wie Sulfate im sauren Milieu und Anreicherung stabiler Restphasen.

2.3 Goethit-Morphologie:

- *Befund:* sowohl in den Gossans des Troodos als auch in denen des IPB kommen sowohl dicke, massive Botryoide/Glasköpfe als auch hauchdünne, filigrane Bänderungen/Überzüge vor.
- *Ursache:* die Mächtigkeit und Morphologie von Goethit-Lagen hängt primär von lokalen thermodynamischen und mikroklimatischen Parametern und nicht vom Lagerstättentyp ab wie
    - Sättigung der Porenlösung und pH-Wert-Gradienten: hohe Übersättigung führt zu raschem, massif-kollomorphem Gel-Wachstum (dicke Krusten);
    - Hohlraumgeometrie und Strömungsgeschwindigkeit: in offenen Klüften/Kavernen wachsen Zentimeter-dicke Glasköpfe; in engen Poren oder feinen Rissen entstehen Millimeter- bzw. Mikrometerdünne Lamellen;
    - Verwitterungsdauer und Durchfeuchtungszyklen: langzeitlich stabiles, feuchtes Mikroklima begünstigt die stetige Anlagerung dickerer Eisenhydroxid-Schichten.

3. Differenzen

Beschaffenheit der Rückseiten / Bruchverhalten

- *Befund:* die Stufen aus São-Domingos besitzen mürbe, erdig-gelbe Jarosit-Rückseiten als mechanische Sollbruchstellen. Zyprische Stufen zeigen dagegen ein hartes, kompaktes, silikatisch-sprödes Bruchverhalten ohne bzw. geringfügig ausgeprägte, weiche Sulfat-Rückseiten.
- *Ursachen:* dies spiegelt das unterschiedliche Ausgangs- und Nebengestein sowie die chemischen Pufferzonen wider. Im IPB (São Domingos) traf die Verwitterung auf toniges, reaktives Nebengestein, wodurch massenhaft mürber Jarosit als Pufferzone gebildet wurde. Auf Zypern hingegen dominiert eine harte, kieselreiche, magmatische Matrix

(Jaspis und silifizierte Kissenlaven), die extrem dicht und stabil verbacken ist.

Fazit

Die makroskopische Morphologie der Stufen liefert kein tragfähiges Unterscheidungskriterium zwischen Troodos und IPB. Einzig die Beschaffenheit der „Rückseiten“ (Haldenseiten) und Bruchkanten können aufgrund der Dicke der Jarosit/Limonit-Schichten Hinweise auf den Herkunftsort geben, wobei im Troodos (K-arm und damit arm an Jarosit) aber auch mit lokal begrenzten Häufungen gerechnet werden muß.

Eine weitere Ursache für die auch durch persönliche Haldenbegehung beobachteten Unterschiede in der Dicke der Jarosit/Limosit Schichten kann trivialerweise in dem fortgeschritteneren Verwitterungs- und Auswaschzyklus der Minen auf Zypern gesehen werden.