Hans-Ulrich Aust

VHMS-Lagerstätten auf Zypern

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

Kapitel 6: Gesteine und Minerale

6.4: Gang- und Alterationsminerale

Version 2.1
25.11.2026

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

Inhaltsverzeichnis

6.4 Gang- und Alterationsminerale....1
6.4 Teil I: Silikatische und Karbonatische Gang- und Hohlraumfüllungen....3
Quarz....5
6.4 Teil II: Alterationsminerale und Metasomatite....8
Teil IIa: Mafische Alterationsfazies (Schwerpunkt Troodos)....8
Chlorit-Gruppe....10
Teil IIb: Felsische und Pelitische Alterationsfazies (Schwerpunkt: IPB)....17
Serizit....19
Teil IIc: Metasomatische Verkieselung (Troodos und IPB)....26
Jaspis....27

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 der Einführung:

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.

6.4 Gang- und Alterationsminerale

Die Systematik zu diesem Thema ist erklärungsbedürftig. Einerseits gibt es im Zentrum von VHMS-Lagerstätten und im direkten Umfeld eine große Anzahl unterschiedlicher Gang- und Alterationsminerale, so daß hier schon aufgrund der hohen Anzahl vorkommender Minerale eine weitere Differenzierung in der Systematik eingeschoben werden muß. Andererseits zeigen sich aufgrund entsprechender Wechselwirkungen mit den unterschiedlichen Wirtsgesteinen im mafischen Troodos und dem felsisch-pelitisch geprägten Iberischen Pyritgürtel deutliche, fundamentale Unterschiede, so daß dies bei der Systematik mit berücksichtigt werden muß. Es folgt eine Erläuterung der im Aufbau (hoffentlich) klaren und verständlichen Systematik:

6.4 Teil I: Silikatische und Karbonatische Gang- und Hohlraumfüllungen

Ausfällungen in offenen Klüften, Spalten, Drusen oder Brekzien-Zementen (ohne reine Erz- und Sekundärkupferphasen):

Primär-hydrothermale Adern / Brekzien-Zemente

- Gangquarz / Chalcedon: feinkristallines bis massives SiO_2 als Matrix oder spätes Adernetzwerk;
- Calcit / Ankerit / Siderit: hydrothermale Karbonatgänge und Spätfüllungen;
- Baryt: Schwerspat-Adern im Umfeld der Erzkörper.

Spät-hydrothermale bis amorphe Silikat-Gel-Krusten

- Opal-AN (Hyalit): amorphe, traubige oder glasklare Kieselgel-Ausfällungen auf Rissen und Hohlräumen.

6.4 Teil II: Alterationsminerale / Metasomatite (Gesteinsumwandlungen)

Hier steht die chemische Reaktion des Lösungsfluids mit dem Wirtsgestein im Vordergrund:

Teil II a: Mafische Alterationsfazies

(Schwerpunkt: Troodos / Pillow-Basalte / Spilite)

Petrologischer Treiber: Mg- und Fe-reiches, K-armes Ausgangsgestein:

- Chlorit: Hauptmineral bei der Vergrünung des Gesteins; bildet grün-matte Krusten und Pockentexturen;

  Propylitisierung / Autometamorphose: während die Lava abkühlt, leitet ihre eigene Restwärme die Autometamorphose ein, wobei Poren, Vesikel und Pillow-Ränder mit eingeschlossenen Gasen/Flüssigkeiten reagieren; gleichzeitig führt das im Spaltensystem zirkulierende Meerwasser zur flächenhaften Propylitisierung (Gesteinsgrünung), wodurch das Gestein im typischen Erscheinungsbild von Chlorit umgewandelt wird;
- Celadunit: niedrigtemperierter (< 150 -250 °C), grün-grauer Glimmer an den Rändern von Kissenlaven und in Blasenhohlräumen;
- Epidot: Indikator für hochtemperierte Zufuhrzonen (Plagioklas → Epidot + Quarz bei > 230 °C); pistaziengrün, stahlhart;
- Albit: Produkt der Spilitisierung (Plagioklas-Umwandlung im Basalt); bei der Spilitisierung nimmt die heiße Lava unter Wasser Natrium aus dem Meerwasser auf; dabei wandelt sich der ursprüngliche Ca-Feldspat (Plagioklas) im Basalt schrittweise in Na-Feldspat (Albit) um;
- *Optionale Nebenphasen:* Prehnit, Pumpellyit, Aktinolith.

Teil IIb: Felsische / Pelitische Alterationsfazies

(Schwerpunkt: IPB / Rhyolithe und Schiefer)

Petrologischer Treiber: K- und Al-reiches, saures Ausgangsgestein:

- Serizit (Illit / Muskovit): feinkörniger Kaliumglimmer als Hauptmineral der sauren *Phyllic Alteration* (Umwandlung von Feldspäten in

hellen Feinglimmer durch saure, heiße Lösungen); hell, seidenmatt, weich;

- Pyrophyllit / Kaolinit: Produkt intensiver, saurer argillitischer Umwandlung im unmittelbaren Nebengestein (*argilla*=Ton); die ursprünglichen Minerale z. B. Feldspäte wandeln sich durch heiße, saure Wässer in Tonminerale wie Kaolinit um, dem Hauptbestandteil von Porzellanerde;
- Mg-Chlorit: spezifischer Indikator im zentralen Zufuhrschlot unterhalb des Massiverzkörpers des IPB;
- *Optionale Nebenphasen:* Paragonit (Na-Glimmer), Adular (K-Feldspat).

Teil IIc: Metasomatische* Verkieselung

(Beide Systeme)

Petrologischer Treiber: vollständige Verdrängung des jeweiligen Wirtsgesteins durch Kiesel-Gel.

- Jaspis / Jaspopal / Ferruginous Chert: dichte Kiesel-Matrix (SiO_2) mit mikroskopisch feinstdispersem Hämatit/Goethit; ziegelrot bis leberbraun, muscheliger Bruch.

* Metasomatose: im Gegensatz zur reinen Metamorphose, bei der Minerale nur durch Druck und Temperatur umkristallisieren, aber die chemische Bausteine des Gesteins gleich bleiben, werden bei der Metasomatose Stoffe von außen zugeführt und andere abtransportiert.

6.4 Teil I: Silikatische und Karbonatische Gang- und Hohlraumfüllungen

Merkmale	Gangquarz, Chalcedon	Karbonate (Calcit, Ankerit, Siderit)	Baryt (Schwerspat)	Opal-AN (Hyalit)
Chemische Formel	SiO_2	Calcit: $CaCO_3$ Ankerit: $Ca\{Fe,Mg,Mn\}(CO_3)_2$ Siderit: $FeCO_3$	$BaSO_4$	$SiO_2 \cdot n\ H_2O$
Farbe	farblos, milchig-weiß, grau, rötlich/gelblich durch Fe-Infiltrationen	Calcit: weiß bis farblos Ankerit/Siderit: beige, gelblich-braun, verwittert dunkelbraun bis schwarz	farblos, schneeweiß, leicht rötlich, gräulich oder gelblich	farblos-glasklar, milchig-weiß, z. T. schwach grünlich/gelblich
Makroskopische Erscheinungsform	massig-kristallin (Gangquarz) bis feinfaserig-kryptokristallin, kollomorph oder bändrig (Chalcedon)	spatig, rhomboedrische Spaltflächen, rhomboedrische/skalenoedrische Kristallaggregate, gangförmig	dicktafelige bis blättrige Kristalle („Barytrosetten"), rosettenartige bis dichte spatige Massen	traubig, nierenförmig, glasartige Krusten, tropfsteinartige oder kollomorphe Überzüge
Typische Oberfläche	glatt bis rau, fettig glänzend (Chalcedon), stark glasglänzend (Quarz); muscheliger Bruch	Glasglanz auf Spaltflächen, verwittert matt-erdig bis limonitisch überkrustet	Glasglanz, auf Spaltflächen oft Perlmuttglanz; vollkommene Spaltbarkeit in 2 Richtungen	starker Glasglanz, vollkommen glatt bis botryoidal (traubig); muscheliger bis spröder Bruch
Magnetisch	Nein	Nein (bei RT)	Nein	Nein
Typische Begleitminerale	Troodos: Pyrit, Chalkopyrit, Jaspis, Calcit, Epidot IPB: Serizit	Troodos: Pyrit, Gangquarz, Chalcedon, Zeolithe IPB: Baryt	Pyrit, Galenit, Sphalerit, Chalcedon, Jarosit, Malachit	Chrysokoll, Chalcedon, Malachit, Celadunit, Limonit
Häufige Verwechslung	Opal-AN, Calcit (bei roher Betrachtung), Baryt	Baryt, Fluorit, Feldspat, Dolomit	Calcit, Gips, Schwerspat-ähnlicher Gangquarz	Hyalit-Glas, Glaskopf, Chrysokoll (wenn blau/grün gefärbt)
Makroskopische Unterscheidung	Mohs-Härte 7 (ritzt Glas & Stahl mühelos), absolut träge gegenüber 30%-iger HCl	Vollkommene rhomboedrische Spaltbarkeit (Mohs 3–4); HCl-Test: Calcit braust stark auf, Ankerit/Siderit erst warm/pulverisiert	Auffallend hohe Dichte (~4,5 g/cm³), (wirkt spürbar schwer); Mohs 3–3,5; säureunlöslich (kein HCl-Aufschäumen)	Mohs-Härte 5,5–6; amorph (keine Spaltbarkeit); unter UV-Licht teils grün fluoreszierend; säurefest

6.4 Teil I: Silikatische und Karbonatische Gang- und Hohlraumfüllungen

Merkmale	Gangquarz, Chalcedon	Karbonate (Calcit, Ankerit, Siderit)	Baryt (Schwerspat)	Opal-AN (Hyalit)
Typische VHMS-Zone	Zufuhrzonen/ Stockwerk, spät-hydrothermale Klüfte und Gänge	spät-hydrothermale Ausfällungen, post-vulkanische Kluftfüllungen, peripheres Nebengestein	stratiforme Erz-Top-Zonen (Exhalative Übergänge), späte Barium-reiche Adernetzwerke	spät-hydrothermale Niedrigtemperatur-Nachtragsphase; Hohlraum- /Kluftauskleidungen nahe der Oberfläche
Häufigkeit Troodos	★★★★★ sehr häufig, Haupt-Brekzienzement	★★★★☆ häufig (Vesikel- und Spaltenfüllungen)	★☆☆☆☆ selten bis sehr untergeordnet	★★★☆☆ mäßig bis häufig, späte Spalten
Häufigkeit IPB	★★★★★ extrem häufig, Hauptgangmasse der sauren Systeme	★★★☆☆ mäßig bis häufig überwiegend Ankerit/Siderit	★★★★★ charakteristische Hangend- & Gangphase	★★☆☆☆ mäßig, oft mit supergenen Cu-/Fe-Phasen verwachsen
Bedeutung	Hauptträger der primären hydrothermalen Brekziierung und Spalten-Zementation	Indikatoren für späte, abkühlende, CO_2-reiche hydrothermale Lösungsphasen	Schlüsselleitmineral für den Barium-Reichtum felsischer VHMS-Systeme (IPB) gegenüber Ophiolithen	Zeiger für sehr niedertemperierte, gelartige Kiesel-Ausfällungen in Spätphasen hydrothermaler Aktivität

Quarz

Kieselzinder (engl. *siliceous boxwork* oder *chert-like gossan*) ist das direkte Produkt einer extrem sauren Auslaugung im Eisernen Hut (Gossan) von VHMS-Lagerstätten. Wenn das primäre Massivsulfid oxidiert, bildet sich hochkonzentrierte Schwefelsäure (H_2SO_4), die nahezu alle ursprünglichen Erz- und Nebengesteinsminerale (wie Silikate, Carbonate und Sulfide) auflöst und abtransportiert. Zurück bleibt lediglich die chemisch hochresistente Kieselsäure (SiO_2), die das ursprüngliche Erzgefüge als poröses, schwamm bis zellenartiges Gerüst konserviert und teilweise die feinsten Texturen, Klüfte und Hohlraumnetzwerke (*Boxworks*) des ursprünglichen Erzgesteins nachzeichnet. Dieser Kieselzinder dient in der Rohstoffgeologie als wichtiger Indikator, da die Form und Geometrie der Hohlräume oft Rückschlüsse auf die ursprünglich vorhandenen Sulfidminerale erlaubt.

- Quarz (SiO_2) bildet in Form des porösen Kieselzinders und des alterierten Nebengesteins das tragende, säurebeständige Skelett der gesamten Stufe und stellt damit die volumenseitige Hauptphase der Gang- und Alterationsminerale dar;
- neben den beobachteten drusigen Eisenkiesel-Varietäten tritt Quarz in VHMS-Systemen primär als dichte, serizitisch-chloritische Stockwerk-Quarzgänge (*Feeder Zones*), als kryptokristalliner Jaspis in den Hangendschichten sowie als glasiger Chalzedon in Spaltenfüllungen auf;
- aufgrund des teils intensiven Hämatit- und Goethit-Überzugs besteht visuell eine Verwechslungsgefahr der roten Quarzdrusen mit sekundären Eisenoxiden oder rotgefärbten Sulfaten;
- eine Verwechslung mit anderen trigonalen oder orthorhombischen Sekundärmineralkristallen in den Hohlräumen (wie farbigem Kalzit, Schwerspat oder Zinkblende-Relikten) ist bei starker Pigmentierung makroskopisch möglich;
- die eindeutige Differentialdiagnose gelingt primär über die physikalischen Eigenschaften: Quarz zeigt die Ritzhärte 7 nach Mohs (ritzt Glas problemlos und ist unritzbar für Messer), besitzt keinen Spaltbarkeitssinn und reagiert im Gegensatz zu Carbonaten völlig inert auf verdünnte Salzsäure (HCl);
- charakteristische idiomorphe, hexagonale Prismen mit ihren Pyramidenflächen bestätigen unter der Lupe zweifelsfrei das kristalline Quarzgerüst der Eisenkiesel-Varietät.

Wesentliche Unterschiede Troodos vs.IPB:

Gesteinsassoziation (Geotektonik):

- Troodos (Zypern): Ophiolith-Komplex mit vorwiegend mafischem/basaltischem Nebengestein (Pillow-Laven); Quarz entsteht primär durch die Säure bedingte Auslaugung der Basalte und hydrothermalen Fällungen;
- IPB: bimodaler VHMS-Typ mit mächtigen felsischen Vulkaniten (Rhyolithe, Dazite) und Schiefern); durch den primär hohen SiO_2-Gehalt des felsischen Magmatismus ist die Quarz-Anreicherung im IPB regional noch großflächiger ausgeprägt.

Belegprobe Quarz A (Z)

Einordnung des Handstücks (s. Tabelle 6.4.1A)

- Gesteinstyp: hydrothermal alterierter Basalt /Kieselzinder mit einer Hohlraumauskleidung aus Eisenkiesel-Drusen;
- Genese: Superfizielle Verwitterungszone (Gossan) über der VHMS-Lagerstätte Mathiatis.

Einschätzung der Gesamtdiagnose

Die Zuordnung zum Kieselzinder-Gossan mit Eisenkiesel-Aufwachsungen auf alteriertem Pillow-Basalt erreicht insgesamt eine „sehr hohe“ Analysesicherheit. Die verbleibende Unsicherheit zu „gesichert“ betrifft lediglich die genaue tonmineralogische Zusammensetzung des grauen Grundgesteins sowie das exakte Mengenverhältnis von Goethit zu Jarosit in den gelben Belägen.

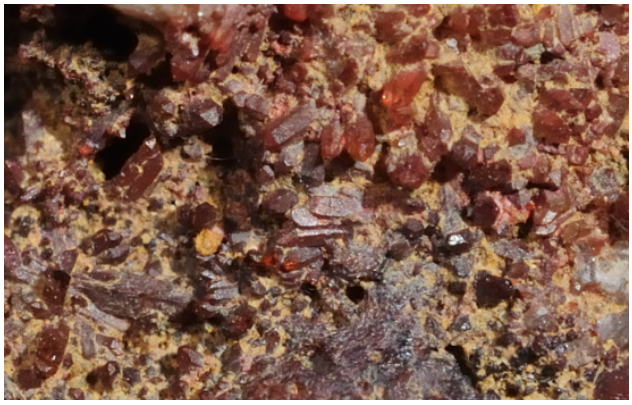
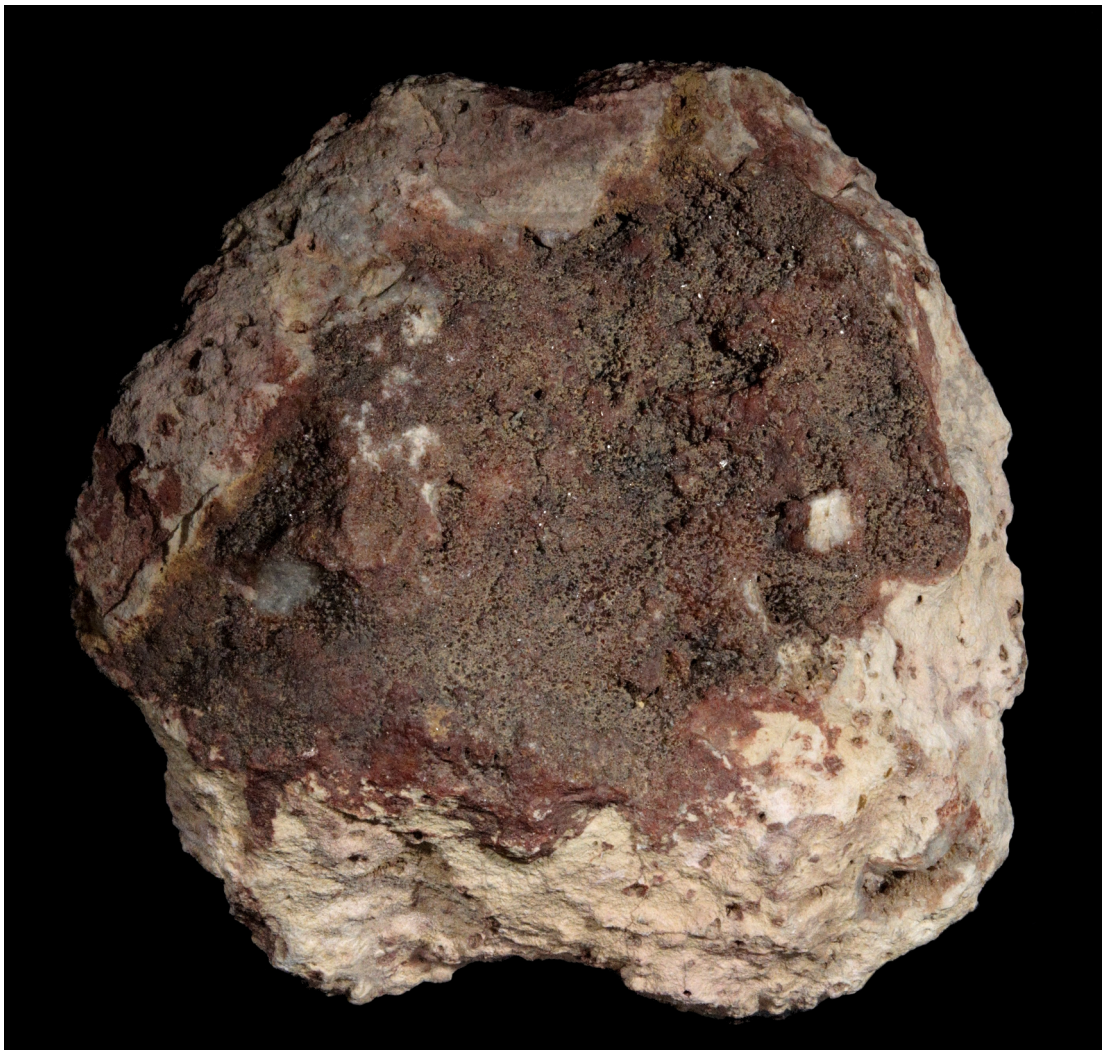


Abb. „Quarz A oben: Vergrößerungen der Stufe aus „Abb. „Quarz A unten“; Bildbreite rd. 6 mm; kristalline Kruste aus Eisenkiesel (Quarz-Varietät);

Abb. Quarz A unten: Eisenkiesel-Aufwachsungen auf alteriertem Pillow-Basalt;

Mathiatis-Mine (Z); Bildbreite rd. 13 cm.



Komponente / Bereich	Beobachtung	Petrologische / Geochemische Interpretation	Klassifikation	Visuelle Sichtungssicherheit
graues Grundgestein	helles, grau-beiges, mattes und feinkörniges Matrixgestein	hydrothermal stark alterierter und säureausgelaugter Pillow-Basalt (Nebengestein). Feldspäte und Pyroxene wurden zu Kieselsäure und Tonmineralen (Chlorit/ Illit) umgewandelt und entfärbt	Gang- und Alterationsminerale	sehr hoch *(sicher als alterierter Vulkanit, exakte Tonmineral-Anteile benötigen Labor)*
helle Porenzone (Matrix)	schwammartiges, poröses Gerüst („Kieselzinder").	säurebeständiger Restquarz (SiO_2), der nach der vollständigen Auslaugung primärer Sulfide (Pyrit) durch H_2SO_4 im Gossan zurückblieb	Gang- und Alterationsminerale	gesichert *(typisches Auslaugungsgefüge im Gossan)*
rote Druse / Kristalle	idiomorphe, hexagonal-prismatische Kristalle; transparent-rot bis rubinrot mit Glasglanz	Eisenkiesel (Quarz-Varietät): hydrothermaler/sekundärer Quarz, der durch mikroskopisch feine, eingeschlossene Hämatit-Schüppchen kräftig rot pigmentiert ist	*Gang- und Alterationsminerale (Hauptmineral der Druse)*	gesichert *(Kristallform und Glasglanz/Transparenz eindeutig Quarz)*
dunkelrote Beläge	feinkristalline bis erdige Überzüge auf Gestein und Kristallflächen	Hämatit α-Fe_2O_3: sekundäres Eisenoxid, entstanden durch Entwässerung (Dehydration) von intermediärem Goethit in der Oxidationszone	Eisenminerale *(akzessorisch / Pigment)*	sehr hoch *(Gossan-Kontext sicher, Abgrenzung zu amorphem Fe-Oxid visuell 90%)*
gelblich-ockerfarbene Säume	feine gelbe Porenfüllungen und Anflüge an Hohlraumwänden	Goethit / Jarosit: frühe, saure Oxidationsprodukte des Pyrits bei niedrigen pH-Werten vor der vollständigen Dehydration zu Hämatit	Eisenminerale *(untergeordnet)*	sehr hoch *(Fe-Hydroxid-Gemenge sicher; Differenzierung Goethit vs. Jarosit unsicher)*

Visuelle Bestimmung und Interpretation der Stufe „Quarz A"

6.4 Teil II: Alterationsminerale und Metasomatite

Teil IIa: Mafische Alterationsfazies (Schwerpunkt Troodos)

Merkmale	Chlorit	Celadunit	Epidot	Albit
Chemische Formel	$(Fe,Mg,Al)_6$ $(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$	$K(Mg,Fe^{2+})(Fe^{3+},Al)$ $[Si_4O_{10}](OH)_2$	$Ca_2(Al_2Fe^{3+})[O\|OH\|$ $SiO_4\|Si_2O_7]$	$NaAlSi_3O_8$
Farbe	dunkelgrün, olivgrün, schwarzgrün	blaugrün, apfelgrün, graugrün	pistaziengrün, gelbgrün, traubengrün	weiß, gräulich, rosa bis blassrot
Makroskopische Erscheinungsform	schuppige, feinkörnige oder erdige Aggregate, oft Überzüge oder Flecken	feinkörnige, matte Häute, Imprägnierungen in Vesikeln und Pillow-Rändern	prismatische, stängelige Kristalle, dichte radiale Aggregate	körnige bis leistenförmige Aggregate (Plagioklas-Pseudomorphosen)
Typische Oberfläche	erdige bis leicht fettige, matte Oberfläche; weich	matt, erdig, wachsartig; samtige Anmutung in Hohlräumen	glasglänzend bis fettig; saubere Bruchkanten, harte Krusten	glasglänzend, auf Spaltflächen Perlmuttglanz; zwei Spaltrichtungen
Magnetisch	nein (Ausnahmen)	nein	nein	nein
Typische Begleitminerale	Pyrit, Chalkopyrit, Quarz, Epidot, Celadunit	Opal, Chalcedon, Smektit, Calcit, Zeolithe	Quarz, Chlorit, Pyrit, Aktinolith	Chlorit, Quarz, Epidot, Pyrit
Häufige Verwechslung	Celadunit, Serizit (grünlich), Verwitterungston	Chlorit, Malachit, Chrysokoll	Olivin, Aktinolith, Chrysolith, Malachit	Calcit, Baryt, Quarz (bei dichten Massen)
Makroskopische Unterscheidung	Mohs-Härte 2–2,5, keine Säurereaktion; blättrig-weich	Mohs-Härte 2; typisch blaugrüner Farbton; extrem feinkörnig/ erdig; säureunlöslich	Mohs-Härte 6–7 (stahlhart, ritzt Glas); charakteristisches „Pistaziengrün“	Mohs-Härte 6–6,5; deutliche Spaltbarkeit (90°); säureresistent
Typische VHMS-Zone	Zufuhrzonen, breite Propylitisierungssäume im Nebengestein	niedrigtemperierter, peripherer Vulkanit-Alterationssaum (Oberflächennahe Zirkulation)	Hochtemperatur-Zone, >230°C)	großräumige Spilitisierungszone (Meerwasser-Metamorphose des basaltischen Ophioliths)

Merkmale	Chlorit	Celadunit	Epidot	Albit
Häufigkeit Troodos	★★★★★ extrem häufig *(Hauptmineral der Basalt-Alteration)*	★★★★★ sehr häufig *(charakteristisch für Pillow-Laven)*	★★★★★ sehr häufig *(Leitmineral der tiefen Troodos-Zufuhrzonen)*	★★★★★ sehr häufig *(flächenhaft in den Spiliten verarbeitet)*
Häufigkeit IPB	★★★☆☆ mäßig - lokal häufig *(nur in zentralen Footwall Alteration Pipes , > 300 °C)*	★☆☆☆☆ sehr selten -fehlend *(Kaliummangel in Mafiten)*	★☆☆☆☆ selten *(aufgrund des felsischen/peliti-schen Nebengesteins)*	★★★☆☆ mäßig *(meist durch K-Feldspat/Serizit überprägt)*
Bedeutung	Hauptindikator für propylitische Hydrothermal-Metasomatose mafischer Wirtsgesteine	Schlüsselleitmineral für niedertemperierte Meerwasser-Zirkulation an der Vulkanit-Oberfläche	Schlüsselindikator für hochtemperierte, fokussierte Hydrothermal-Zufuhrkanäle (>230°C)	Indikator für Na-Metasomatose (Spilitisierung) bei der Reaktion von basaltischem Magma/ Gestein mit Meerwasser

Chlorit-Gruppe

Die Bedeutung der Chlorit-Gruppe besteht in der Nutzung als primäres Indexmineral zur Rekonstruktion von hydrothermalen Zirkulationssystemen.

1. Entstehung und Rolle im Hydrothermalsystem

Chlorite sind wasserhaltige Magnesium-Eisen-Aluminium-Schichtsilikate. In submarinen VHMS-Systemen entstehen sie durch die intensivste Form der hydrothermalen Alteration (Chloritisierung):

- Meerwasser-Basalt-Reaktion: kalte Meerwasser-Kationen treffen nahe magmatischer Wärmequellen auf basaltisches Wirtsgestein; mafische Primärminerale wie Pyroxene, Olivin oder basaltische Glasanteile, werden instabil und wandeln sich metasomatisch in Chlorit um;
- Footwall Alteration Pipes (Zufuhrzonen): direkt unter den Massivsulfid-Linsen (im Liegenden / *Footwall*) bilden sich vertikale Kanäle, durch die 200–350 °C heiße Fluide aufsteigen; in diesem Kernbereich wird das Nebengestein oft vollständig zu Chloritschiefer (Chloritit) umgewandelt.

2. Chemische Variabilität und "Chlorit-Zonierungs-Vektor"

Das Besondere an Chloriten in VHMS-Lagerstätten ist ihre extrem variable Chemie, die als natürliches Thermometer und Indikator zur Erzsuche dient:

2.1 Magnesium-Chlorit (z. B. Clinochlor):
bildet sich bevorzugt in den äußeren Bereichen des Hydrothermalsystems oder im primären Einstiegsbereich von kaltem Meerwasser, wo viel Mg^{2+} vorhanden ist und markiert oft die entfernteren Alterationshöfe um die Erzkörper herum;

2.2 Eisen-Chlorit (z. B. Chamosit):
dominiert im Zentrum / Kern der Zufuhrzone direkt unter dem Erzkörper; die aufsteigenden sauren Fluide sind extrem angereichert an gelöstem Eisen (Fe^{2+}); ein stark steigendes Fe/(Fe+Mg)-Verhältnis im Chlorit zeigt die unmittelbare Nähe zum hydrothermalen Schlot (Black Smoker) an.

3. Wichtige Vertreter nach Lagerstättentyp:

Die chemische Ausprägung der Chlorite hängt stark von der Natur des primären Wirtsgesteins ab:

- Troodos: Wirtsgestein rein mafisch (Basalte / Pillow-Laven)
  Trioktaedrische, Fe- und Mg-reiche Chlorite (Chamosit-Clinochlor-Mischkristalle);
- IPB: Wirtsgestein bimodal-felsisch (Subvulkanische Rhyolithe, Dazite und Vulkanoklastika gekoppelt mit Schwarzschiefern)

  Riphidolith / Chamosit (Fe-reich): bildet den inneren Kern der Alterationsschläuche (*Stockwork-Zonen*) direkt unter den riesigen Massivsulfidkörpern, das Verhältnis von Fe zu Mg ist im zentralen Pipe-Bereich des IPB extrem hoch;
- Glimmer-Kopplung (Chlorit-Serizit-Koexistenz):
  wegen des aluminium- und kaliumreichen, felsischen Nebengesteins tritt Chlorit im IPB fast immer eng vergesellschaftet mit Serizit und Kieselsäure (Chert/Quarz) auf;

4. Typische, makroskopische Erkennungsmerkmale

- Physikalisch:
  Härte: weich (Mohs-Härte 2–2,5, mit dem Fingernagel ritzbar);
  Habitus: blättrig-schuppig oder feinkörnig;
  Farbe: dunkelgrün bis blassgrün;
- Säurereaktion (30 %-ige HCl): Chlorite zeigen kein Karbonat-Sprudeln, zersetzen sich aber unter starken Säuren träge; Eisen/Magnesium gehen in Lösung (Säure färbt sich gelb-grün) und hinterlassen das unlösliche, weiße Kieselsäure-Gerüst der Kristallschichten.

Belegprobe Chlorit (Z)



Abb. Belegprobe „Chlorit A“: blassgrüner Chlorit in roter Hämatit-Chert Matrix und Calcit-Fällung; Breite der Stufe rd. 8,5 cm; Matthiatis-Mine (Z)

Es handelt sich bei dem Handstück Chlorit A um ein hydrothermal überprägtes und geklüftetes Gesteinsfragment aus dem Umfeld der VHMS-Lagerstätte Mathiatis auf Zypern. Das Handstück zeigt einen prägnanten Farb- und Materialkontrast zwischen blassgrünem Nebengestein, einem leuchtend ziegelroten Stützgerüst, welches aber bei Betrachtung des kompletten Handstücks eher wie eine dominierende Matrix mit Cavernenfüllung durch das blassgrüne Nebengestein erscheint; weiterhin finden sich feine, helle Zonen im Zentrum und ebenfalls fladenförmig auf der Rückseite (im Bild nicht zu sehen).

Die Stufe lässt sich makroskopisch folgendermaßen charakterisieren:

1. „Cavernenfüllung“

Befund:

- Farbe: blassgrün;
- Muster: gleichmäßig grüne Färbung ohne Musterung;
- liegt nicht massiv sondern als krustiger Überzug vor;
- schuppige Struktur;
- Ritzhärte: lässt sich mit Fingernagel ritzen, d. h.: Mohs-Härte max. 2-3;
- Säuretest: der Stufe wurden grüne Blättchen im mm-Bereich entnommen und in einem Glasröhrchen 30 %-iger HCl ausgesetzt:
  - kein spontanes Aufschäumen;
  - die wasserklare HCl färbt sich umgehend gelblich-grün ein;
  - nach wenigen Stunden schlägt die grüne Farbe der Blättchen um, zurück bleiben weiße Blättchen;
  - innerhalb weniger Tage zersetzen sich diese weiter in Richtung Feinkörnigkeit bzw. gehen in Lösung;

Befundanalyse:

Die sehr geringe Härte (Mohs 2–3, mit dem Fingernagel ritzbar) und der schuppig-blättrige Habitus sind erwartbar für Minerale der Chlorit-Gruppe, einem feinschuppigen Schichtsilikat.

Das Säureverhalten zeigt die typische Zersetzung trioktaedrischer Chlorite: die 30%-ige HCl greift das Kristallgitter an und laugt die zwei- und dreiwertigen Eisen- sowie Magnesium-Ionen selektiv aus. Diese gelösten Fe^{2+}/Fe^{3+}-Ionen verfärben die Säure gelblich-grün. Zurück bleibt das reine, unlösliche Tetraeder-Gerüst aus Silizium- und Aluminiumoxiden als blassweiße „Kieselsäure-Schattenblättchen“, die nach Tagen vollends zerfallen.

2. Matrix

Befund:

- Farbe: ziegelrot bis kräftig dunkelrot;
- bei Betrachtung des kompletten Handstücks erscheint es so, als würde das ziegelrote Material das Gerüst der Stufe bilden;
- dicht, feinkörnig bis kryptokristallin und homogen (aphanitisch); kein kristalliner Glanz, sondern eine eher matte bis wachsartige Oberfläche;
- keine Reaktion im Säuretest (30%-ige HCl);
- lässt sich mit Stahlfeile ritzen;

Befundanalyse:

Hämatit-Chert (Eisen-Jaspis / Jaspilit), kryptokristallines Kieselgestein mit feinstverteilten Eisenoxid-Pigmenten:

- die Dichte, der aphanitische (feinkörnige) Habitus und der wachsartige Glanz sind typisch für mikrokristallinen Quarz (SiO_2);
- die Säureresistenz (keine Reaktion bei 30%-iger HCl-Beaufschlagung) bestätigt das Silikatgestein;
- die Ritzbarkeit mit einer Stahlfeile (Mohs ~5,5) weist auf eine schwach feinporöse, noch nicht vollständig durchkristallisierte Kieselsäure-Mischphase hin, die leuchtend rote Farbe stammt von mikroskopisch feinen Hämatit-Schüppchen (α-Fe_2O_3).

3. weiße Flecken

Befund:

- liegen als flache Fladen auf der ziegelroten Matrix auf;
- lassen sich mit Stahlfeile ritzen;
- heftiges Aufschäumen beim Säuretest mit 30%-iger HCl;

Befundanalyse:

sekundäres Calciumkarbonat ($CaCO_3$)

- das spontane Aufschäumen in 30%-iger HCl belegt zweifelsfrei ein Karbonat;
- die Ritzbarkeit mit der Stahlfeile (Mohs 3) und das punktuelle Aufliegen als flache Fladen lässt vermuten, dass es sich um eine jüngere Fällung handelt.

4. Genese

Im Folgenden wird eine 4-stufige Genese und zeitliche Bildungsabfolge (Paragenese) des Handstücks dargestellt. Dabei geht es um eine Abfolge submariner, hydrothermaler Aktivitäten und anschließender Abkühlung im Umfeld der VHMS-Lagerstätte Mathiatis:

Mineral / Phase	Unterscheidungsmerkmale zu obigen Befunden
Malachit	besitzt zwar eine grüne Farbe, müsste jedoch bei 30% HCl sofort heftig aufbrausen;
Chrysokoll	zeigt einen glatten, muscheligen Porzellanbruch und ist säurefest; zerfällt nicht in weiße Schuppen und bildet keine blättrigen Kristalle;
Celadunit	als Glimmerderivat säureresistenter und verfärbt sich unter HCl-Einfluss nicht rasch unter Entfärbung zu weißen Schuppen;
Cuprit Zinnober	beide zeigen rote Farben, reagieren anders auf Säuren (Cuprit löst sich rasch) und besitzen eine viel höhere Weichheit (Zinnober);
Quarz / Chalcedon (weißes Material)	wäre säurefest (0 %- Reaktion bei 30% HCl); das Aufschäumen schließt Kieselgestein für die weißen Flecken komplett aus.

Differentialdiagnose zu Probe „Chlorit A“: verworfene, alternative Interpretationen

Phase 1: Submarine Alteration des Nebengesteins

Durchströmendes, überhitztes Meerwasser alterierte die primären basaltischen Pillow-Laven; mafische Minerale (Olivin, Pyroxen) wandelten sich im Zuge der Propylitisierung/Spilitisierung (Plagioklas-Umwandlung im Basalt/hydrothermale Vergrünung) um;

Phase 2: Bildung des roten Jaspis-Gerüsts (Hauptphase)

In einer intensiven hydrothermalen Phase drangen silizium- und eisenreiche Lösungen in das geklüftete Gestein ein; unter oxidierenden Bedingun-

gen fielen Kieselsäure (SiO_2) und Eisenoxid (Fe_2O_3) gleichzeitig aus und verfestigten sich zu dem dichten, roten Hämatit-Chert, der das tragende Gerüst der Stufe bildet.

Phase 3: Chlorit-Abscheidung in Cavernen

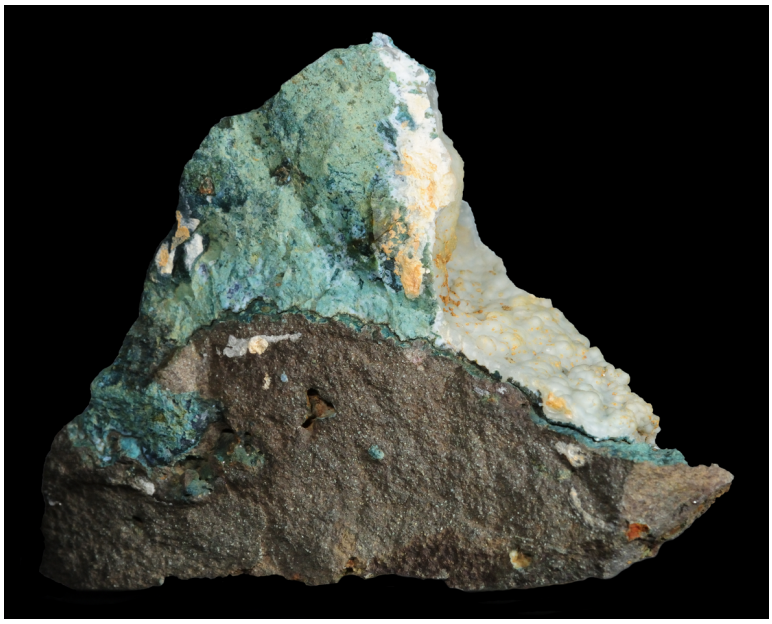
Beim Nachlassen der hydrothermalen Aktivität sanken die Temperaturen; in den verbliebenen Cavernen und Hohlräumen fällte sich schuppiger Chlorit als krustiger, blassgrüner Überzug aus.

Phase 4: Späte Karbonat-Überprägung

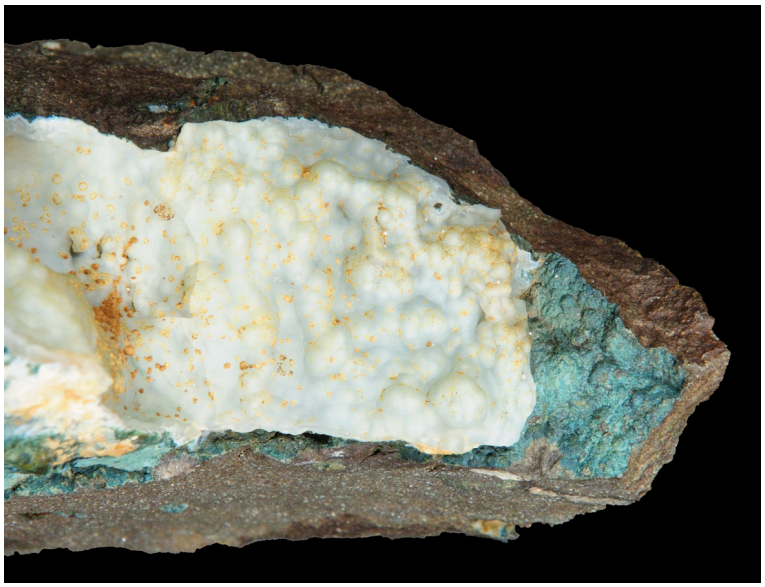
In der Abkühlungsphase drangen kältere, CO_2-reiche Fluide in das System ein. Calcit (oder Aragonit) schlug sich als späte Niedrigtemperatur-Fällung in Form flacher weißer Fladen auf der bereits verfestigten roten Matrix ab.

…… so könnte es gewesen sein!

Belegprobe Chlorit B (Z)



Probe „Chlorit B“: hydrothermal alterierter Pillow-Basalt mit zonierter, späten Kluftfüllung; auf einer pockennarbigen, durchkieselten Schichtsilikat-Unterlage (silifizierter Chlorit) sitzt eine traubig ausgebildete Chalcedon-Kruste mit Opal-AN-Übergängen als zentrale Fällungsphase; Stufenbreite 8 cm;



Ausschnitt obiger Stufe, Blick dort von rechts oben; Ausschnittgröße 4 cm

1. Zonierung

Das Handstück zeigt eine klassische, zonierte Hohlraum- bzw. Spaltenfüllung (Drusenstruktur) über einem alterierten vulkanischen Wirtsgestein.

Zone A: Matrix / Wirtsgestein
(Basis und Ränder, dunkelbraun bis grau)

- Habitus: dichtes, feinkörniges Lava-Fragment mit zerklüfteter Textur und vereinzelt kleinen Blasen-Hohlräumen (Mandeln) ;
- Petrographische Zuordnung: Hydrothermal stark alterierter Pillow-Basalt / Spilit (Lower/Upper Pillow Laven des Troodos).

Zone B: Zwischenschicht / Primärer Belag
(smaragdgrün bis türkisgrün)

- Habitus: liegt als flächiger, dünner bis krustiger Überzug direkt dem Basalt auf; in der Nahaufnahme (4 cm Bildbreite) zeigt die grüne Oberfläche am rechten Rand eine deutlich pockennarbige bis traubig-kraterartige Textur;
- Petrographische Zuordnung: hydrothermale Schichtsilikat- bzw. Sekundärmineral-Phase (Chlorit-Gruppe bzw. bei Kupferanreicherung Chrysokoll/Celadunit).

Zone C: Zentrale Traubenkruste
(milchig-weiß bis zart-cremefarben)

- Habitus: sehr markante, knollige bis botryoidale (traubige) Oberfläche mit matt-wachsigem Glanz; die Schicht bildet den voluminösen Kern der Hohlraumfüllung und sitzt direkt auf dem grünen Belag auf;
- Oberflächenphänomen: punktuelle, gelblich-braune Flecken aus feinsten Limonit-/Eisenhydroxid-Auskristallisationen;
- Petrographische Zuordnung: späte kieselege oder karbonatische Hohlraumfüllung (Calcit/Aragonit oder Opal-AN / Kryptokristalliner Chalcedon).

2. Befundung

2.1 Zone C

(weiße traubige Kruste und glasiger Belag (Zentrum und Rand)

Feldbefund:

- 0% Reaktion auf 30%iger HCl
- nicht ritzbar mit Stahlfeile;

Die Kombination aus HCl-Resistenz und Stahl-Resistenz (Härte >6) belegt ein reines, dichtes Kieselgestein {SiO_2):

- Chalcedon / Opal-AN (Hyalit-Kieselgel)

  Aussagesicherheit: gesichert

  Begründung: der fließende Übergang von der dicht-weißen Masse zum trüben, glasigen Überzug ist typisch für phasenweise ausgefällte Kieselgele;

  Hinweis zur Morphologie: die traubige Oberflächenform entsteht sehr wahrscheinlich durch Morphologie-Vererbung (Nachzeichnen des krustigen Reliefs der grünen Unterlage) in Kombination mit eigenständigem Dickenwachstum des Kieselgels;

- Calcit / Aragonit / Zeolithe

  Aussagesicherheit: --

  Begründung: durch HCl-Test (0% Säurereaktion) und Härte (> 6) zweifelsfrei ausgeschlossen.

2.2 Zone B:

(Zwischenschicht / Primärer Belag (smaragdgrün bis türkisgrün, grüner seitlicher Belag)

Feldbefund:

- 0% Reaktion auf 30%iger HCl;
- ritzbar mit Stahlfeile (Härte 3,5 – 4);
- mattes/körniges Erscheinungsbild;

Damit ergibt sich die folgende Interpretation:

silifizierter (verkieselter) Chlorit/Celadunit

Aussagesicherheit: sehr hoch

Begründung: Schichtsilikate der Chlorit-Gruppe oder Celadunit besitzen primär eine matte, körnig-pockennarbige Oberfläche. Durch eine simultane oder nachfolgende SiO_2-Imprägnierung (Durchkieselung während der Kieselgel-Fällung) härtet das flexible Gitter von ursprünglichen Mohs 2 auf die gemessene Härte von 3,5–4 auf;

- Chrysokoll-Chalcedon-Mischphase ("Kieselmalachit")

  Aussagesicherheit: gering

  Begründung: falls Kieselgel feinstdispers mit kupferhaltigen Phasen verwachsen ist, geht der typische Glas-/Wachsglanz des reinen Chrysokolls verloren und die Oberfläche wird matt und körnig;

- Typischer, reiner Chrysokoll

  Aussagesicherheit: niedrig

  Begründung: der charakteristische Glasglanz, die Muschelbrüche und die schlierige Textur fehlen;

- Epidot

  Aussagesicherheit: --

  Begründung: durch die gemessene Härte (Mohs 3,5–4 vs. Epidot Mohs 6–7) und den matten Habitus zweifelsfrei ausgeschlossen.

- Malachit

  Aussagesicherheit:--

  Begründung: wegen fehlenden Säure-Aufschäumens (0% HCl-Reaktion) ausgeschlossen.

3. Ergebnis (Tabelle checken auf Konsistenz)

In der folgenden Tabelle findet sich für das Handstück die gesamte, paragenetische Rekonstruktion mit der jeweils höchsten Wahrscheinlichkeit im Überblick:

Stadium (Zone)	Prozess / Mineralphase	Wahrscheinlichkeit
Wirtsgestein (A)	Hydrothermal alterierter Pillow-Basalt / Spilit	gesichert
Primärbelag (B, grün)	Pockennarbiger Chlorit/Celadunit (durch nachfolgende Kieselsäure silifiziert)	sehr hoch
Spätfällung (C, weiß)	Hohlraumauskleidung durch Kieselgel (Chalcedon Opal-AN), welches das Relief der Unterlage formgetreu überkrustet	gesichert
Supergene Spuren (rot)	Rote mikroskopische Limonit-Anflüge auf den Trauben-Kuppen	sehr hoch

Hier noch eine kurze Erklärung für die Sicherheit der Einschätzungen:

die Abschätzung liefert für diese Stufe eine hohe bis nahezu eindeutige Diagnosesicherheit für den Gesamtablauf:

- Kieselgel-Spätphase (Zone C): durch das zeitgleiche Zusammentreffen von absoluter Säureresistenz (0% HCl) und stahlresistenter Härte (>6) ist eine Zusammensetzung aus Chalcedon / Opal-AN praktisch gesichert;
- grüner Belag (Zone B): die Kombination aus Härte 3,5–4, Säureträgheit und der matten, nicht glänzenden Textur macht einen durchkieselten Chlorit oder Celadunit zur plausibelsten Erklärung; ein reiner Chrysokoll fällt wegen des fehlenden Glasglanzes weitgehend aus;
- sämtliche Weichminerale, Karbonate (Calcit/Malachit) sowie harte Inselsilikate (Epidot) sind durch die harten Trennkriterien der Säure- und Härteprüfung zu 100 % ausgeschlossen.

Bemerkung zu Opal AN-Übergängen:

Opal-AN (historisch als *Hyalit* oder *Glasopal* bezeichnet) ist eine amorphe, nicht-kristalline Form von Siliziumdioxid (SiO_2) mit einem variablen Wassergehalt, deren Netzwerkstruktur fließend in feinstkristalline Kieselgesteine übergeht.

Bei einem Opal-AN-Übergang verändert sich das Material auf mikroskopischer Ebene von einer völlig ungeordneten, amorphen Phase (Opal-AN) hin zu einer mikrokristallinen, faserigen Quarz-Varietät (Chalcedon):

- struktureller Wandel: während Opal-AN eine ungeordnete Netzwerkstruktur (*A* für *amorph*, *N* für *network-like*) aufweist, ordnen sich die SiO_2-Tetraeder beim Übergang zu Chalcedon zunehmend in mikroskopisch feine Quarz-Fasern an;
- optischer Wandel: makroskopisch zeigt sich dieser fließende Phasenübergang in der Stufe durch den direkten Wechsel von einer milchig-weißen, dichten Traubenkruste (Chalcedon) zu einem trüben, glasigen bis hyalinen Überzug (Opal-AN);
- genetische Ursache: dieser Übergang dokumentiert das kontinuierliche Ausfällen und Entwässern (*Alterung*) eines hydrothermalen Kieselgels bei sich ändernden Druck-, Temperatur- und Sättigungsverhältnissen im Hohlraum.

Teil IIb: Felsische und Pelitische Alterationsfazies (Schwerpunkt: IPB)

Merkmale	Serizit (Illit / Muskovit)	Pyrophyllit / Kaolinit	Mg-Chlorit (Clinochlor)
Chemische Formel	**Muskovit:** $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ **Illit:** $(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,H_2O]$	**Pyrophyllit:** $Al_2[Si_4O_{10}\,|\,OH_2]$ **Kaolinit:** $Al_2[Si_2O_5\,|\,OH_4]$	$Mg_5Al(AlSi_3O_{10})(OH)_8$
Farbe	hellgrau, seidenweiß, silbrig-weiß, blassgelblich - schwach grünlich	schneeweiß, cremeweiß, blassgelb oder gräulich	hellgrün, apfelgrün bis blassgrün *(deutlich heller als Fe-Chlorit)*
Makroskopische Erscheinungsform	extrem feinkörnige, seidenmatte Schichten, schuppige Aggregate, schieferige Metasomatit-Häute	dichte, specksteinartige/ wachsartige Massen, feinschuppig, erdig-mehlige Beläge	schuppige bis feinkörnige Aggregate, dichte filzige Massen im Zufuhrzentrum
Typische Oberfläche	ausgeprägter Seidenglanz - Perlmuttglanz auf Spaltflächen; mehlig-weicher Griff	wachsartig, matt bis fettig glänzend; fühlt sich seifig oder speckig an	matte - schwach fettig glänzende Oberflächen; weich
Magnetisch	nein	nein	nein
Typische Begleitminerale	Quarz, Pyrit, Chalcedon, Kaolinit, Pyrophyllit, Baryt	Quarz, Serizit, Pyrit, Dickit	Pyrit, Chalkopyrit, Quarz, Serizit
Häufige Verwechslung	Kaolinit, Talcum, feinkörniger Chlorit (wenn grünlich), Pyrophyllit	Serizit, Talk, Gyps, Magnesit	Fe-Chlorit, Celadunit, Malachit, Serpentin
Makroskopische Unterscheidung	Mohs-Härte 1–2,5; charakteristischer Seidenglanz; nicht plastisch feucht; völig säureunlöslich	Mohs-Härte 1–2 (mit dem Fingernagel sehr leicht schabbar); wachsartiger Griff; säurefest	Mohs-Härte 2–2,5; heller grüner Farbton (Mg-Betonung); säureresistent gegenüber kalter HCl

Teil IIb: Felsische und Pelitische Alterationsfazies (Schwerpunkt: IPB)

Merkmale	**Serizit (Illit / Muskovit)**	**Pyrophyllit / Kaolinit**	**Mg-Chlorit (Clinochlor)**
Typische VHMS-Zone	weitreichende saure Zufuhr- und Wandsäume (*Phyllic Alteration*), footwall & Hangend-Gesteine	Zentrum intensivster, extrem saurer Metasomatose (*Advanced Argillic Zone*) nahe dem Exhalationszentrum	mitten im zentralen Zufuhrschlot (*Footwall Alteration Pipe*) direkt unter dem Massivsulfidkörper
Häufigkeit Troodos	★☆☆☆☆ selten *(nur lokal an Plagiogranіten oder sauren Fluid-Injektionen)*	★☆☆☆☆ sehr selten bis fehlend	★★☆☆☆ mäßig *(im Troodos dominiert der Fe-reiche Chlorit)*
Häufigkeit IPB	★★★★★ extrem häufig *(das dominierende Alterationsmineral des gesamten IPB)*	★★★☆☆ mäßig bis häufig *(charakteristisch für saure Vulkanoklastika des IPB)*	★★★★★ sehr häufig *(Leitmineral für das direkte Zufuhrzentrum im IPB)*
Bedeutung	Hauptindikator für kaliumbetonte, saure Umwandlung (*Phyllic Alteration*) felsischer Wirtsgesteine	Indikator für extrem saure, aluminiumreiche Hydrothermal-Fluide unter Niedrig- bis Mittel-Temperatur	Schlüsselmineral für den hochtemperierten, fokussierten Mg-Fluidstrom im Kern der Footwall Pipe

Serizit

Serizit ist kein eigenständiges Mineral, sondern ein feinkörniges Gemenge aus hellen Glimmern, vor allem Muskovit und Paragonit. Deshalb gibt es keine eindeutige, chemische Formel für Serizit. Die häufigste Zusammensetzung entspricht der von Muskovit:

$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

Da Kalium und Natrium einander teilweise ersetzen können, wird häufig eine allgemeinere Formel angegeben:

$(K,Na)Al_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

Bedeutung in VHMS-Lagerstätten:

Serizit ist ein sehr wichtiger Alterationsindikator:

- Entstehung: hydrothermale Alteration feldspatreicher Gesteine;
- Vorkommen: besonders häufig im unmittelbaren Umfeld des Stockworks und des Erzlagers, häufig zusammen mit Quarz und Pyrit (Quarz–Serizit–Pyrit-Assemblage, kurz QSP).

Die vereinfachte, häufige Bildungsreaktion aus Plagioklas lässt sich folgendermaßen darstellen:

$$\text{Plagioklas} + K^+ + H^+ + H_2O \rightarrow \text{Serizit} + SiO_2 + Ca^{2+} + Na^+$$

Diese Reaktion zeigt den für hydrothermale Systeme typischen Kalium-Metasomatismus, bei dem Kalium aus den zirkulierenden hydrothermalen Lösungen in das Gestein eingebaut wird und somit Feldspäte zu Serizit umgewandelt werden.

Für den Vergleich zwischen den Lagerstätten im Troodos und dem Iberischen Pyritgürtel ist Serizit besonders interessant, weil die serizitische Alteration im IPB meist deutlich stärker und räumlich ausgedehnter entwickelt ist als im Troodos. Dies hängt vor allem mit den unterschiedlichen Wirtsgesteinen zusammen - felsisch bis sedimentär im IPB gegenüber überwiegend mafisch auf Zypern. Wegen der hohen Relevanz zum Verständnis der unterschiedlichen Ausprägungen werden im Folgenden die Zusammenhänge etwas ausführlicher dargestellt.

1. Bildung von Serizit:

Serizit bildet sich durch hydrothermale Alteration von Feldspäten unter sauren bis schwach sauren hydrothermalen Bedingungen bei Temperaturen von ca. 200 bis 400 °C.

2. Warum kommt Serizit im Iberischen Pyritgürtel deutlich häufiger vor als im Troodos?

Die Häufigkeit von Serizit im IPB liegt in der primären Petrographie des Nebengesteins und der geochemischen Natur der hydrothermalen Fluide begründet:

a) Felsischer Magmatismus (K- und Al-Reichtum)**:**

Das Hüllgestein der Lagerstätten im IPB (wie San Telmo, São Domingos oder Rio Tinto) besteht zu großen Teilen aus felsischen Vulkaniten und Plutoniten (Rhyolithe, Rhyodazite, dacitische Tuffe) sowie vulkanoklastischen Sedimenten. Diese Gesteine sind von Natur aus reich an Kalium (K^+), Aluminium (Al^{3+}) und Kieselsäure (SiO_2) in Form von Kalifeldspat (Orthoklas/Mikroklin), Quarz und kaliumreichen Plagioklasen.

b) Saure hydrothermale Alteration:

Die hydrothermalen Lösungen, die die Erze transportierten, waren stark sauer (pH < 4). Beim Durchströmen der felsischen Gesteine reagierten die Kalifeldspäte direkt mit den Wasserstoff-Ionen (H^+) der Lösung unter Einbau von Kalium zu Muskovit/Serizit:

$$3KAlSi_3O_8 + 2H^+ \rightarrow KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2 + 6SiO_2 + 2K^+$$

(Kalifeldspat + saure Lösung -> Serizit/Muskovit + Quarz + gelöstes K

Diese Phyllik- bzw. Serizit-Alteration bildet im IPB weitreichende, gebleichte Höfe um die Sulfiderzkörper und Stockwerkzonen.

3. Warum ist Serizit im Troodos kaum bis gar nicht zu erwarten?

Im Troodos fehlt Serizit in den Verwitterungs- und Hydrothermalzonen der Laven fast vollständig oder ist extrem lokal beschränkt. Dies hat zwei Hauptursachen:

a) Eine Ursache war der starke Meerwasser-Einfluss des marinen Hydrothermalsystems im Troodos.

Das zirkulierende, erhitzte Meerwasser stellte kaum Kalium (K^+) bereit. Da Kalium aber zwingend benötigt wird, um aus Feldspäten den Kalium-Hellglimmer Serizit zu bilden, konnte dieser kaum gebildet werden. Das Meerwasser hingegen ist reich an Magnesium (Mg^{2+}) und Natrium (Na^+). Bei der hydrothermalen Umwandlung der basaltischen Kissenlaven wurde daher die Bildung von Chlorit und Albit sowie bei niedrigeren Temperaturen Celadunit oder Illit/Smectit-Mischphasen anstelle von klassischem Serizit begünstigt.

b) Der zweite Grund war das extrem kaliumarme Nebengestein.

Der Troodos repräsentiert ozeanische Kruste. Das mafische bis ultramafische Nebengestein der Erze besteht überwiegend aus Basalten und Pillowlaven. Ozeanische Tholeiitbasalte enthalten praktisch kein Kalium (K_2O < 0,2 %) und keinen Kalifeldspat; da für die Bildung von Serizit (Muskovit) zwingend Kalium im System vorhanden sein muss, fehlte in der basaltischen Matrix schlicht der entsprechende, chemische Baustein.

4. Was bildet sich im Troodos als Hauptalteration alternativ zur Hauptalteration Serizit im IPB?

Im Troodos bestehen die Feldspäte der Pillowlaven fast ausschließlich aus kalziumreichen Plagioklasen; wenn hydrothermale Fluide diese kalziumreichen Plagioklase zersetzen, bildet sich kein Serizit, sondern je nach Temperatur und Milieu ganz andere Alterationsminerale:

a) Chlorite (Haupt-Alteration im Troodos)

Unter Einwirkung hydrothermaler Meerwasser-Lösungen reagieren Fe-Mg-Silikate (Pyroxene, Olivin) und Plagioklase zu reichlich Chlorit, was den Laven ihre typische dunkel grüne Farbe verleiht;

b) Albit und Zeolith:

Ca-Plagioklas wird oft in reinen Natronfeldspat (Albit, $NaAlSi_3O_8$) umgewandelt (Spilitisierung) oder bildet bei niedrigeren Temperaturen Zeolithe (z. B. Analcim, Laumontit) sowie Epidot und Smektit/ Montmorillonit;

c) einzige Ausnahme für Serizit im Troodos

Eine geringfügige Serizifierung kann ausschließlich dort auftreten, wo seltene Plagiogranite oder stark albitisierte Plagioklase vorliegen; selbst dort bildet sich aber wegen des geringen K-Gehalts bevorzugt Paragonit (das Natrium-Analogon zu Muskovit) und nur sehr untergeordnet echter Kalium-Serizit.

Hinweis:

Paragonit (Natrium-Glimmer: $NaAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$) sieht Muskovit zum Verwechseln ähnlich (heller, silbrig-weißer Glimmer) und lässt sich optisch oder im Geländebefund fast nicht von diesem unterscheiden.

Fazit: im Troodos ist Chloritisierung die Hauptalteration, im IPB die Serizifierung!

Belegprobe Serizit A (IPB)

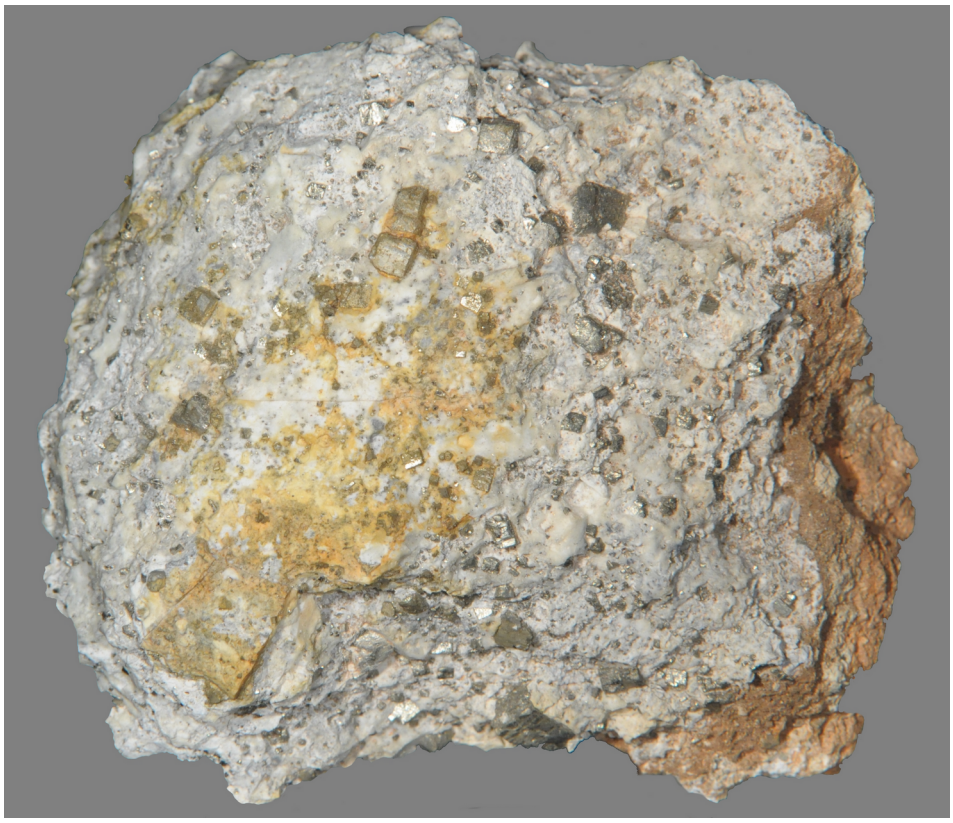


Abbildung Belegprobe Serizit A:

Serizitstufe aus San Telmo (IPB); Stufenbreite rd. 6 cm;

weißlich gebleichtes, stark glimmerhaltiges Vulkanit-Bruchstück (aus saurer Lava) mit eingestreuten Einzelkristallen und Nestern aus scharfkantigen Pyrit-Würfeln (bis 6 mm Größe) sowie leichten, braunen Eisenrost-Schlieren (Limonit).

1. Makroskopischer Befund

- Matrix / Hüllgestein: gebleichtes, feinkörniges bis mürbes felsisches Vulkanoklastit-/ Rhyolith-Nebengestein von schneeweißer bis hellgrauer Farbe;
- Erzphase und Habitus: isolierte sowie aggregierte, idiomorph-scharfkantige Würfel (Hexaeder) mit Korngrößen im Bereich von < 1 mm bis rd. 6 mm (größter sichtbarer Einzelkristall);
- Gefüge: Imprägnationsgefüge (Dissemination) – die Sulfidkristalle sind gleichmäßig bis nesterartig in der klastischen Matrix verteilt; gelblich-bräunliche Infiltrationen und Säume (Limonit-Fleckung) durchziehen stellenweise das Hüllgestein;
- Optik / Glanz: starker Metallglanz mit messingschimmernder bis hellgrauer Eigenfarbe, vereinzelt bunte Anlauffarben auf den Kristallflächen.

2. Differentialdiagnostische Abgrenzung

Die mineralogische Bestimmung der Erzphase konzentriert sich auf die Abgrenzung typischer Sulfidminerale in VHMS-Systemen.

Hauptträger der Vererzung ist Pyrit. Die ausgeprägte kubische Morphologie (scharfkantige Hexaeder bis 6 mm) in Kombination mit dem typischen messingfarbenem Metallglanz und der gebleichten Matrix erlaubt eine visuell eindeutige Zuordnung. Untergeordnet können geringfügige, gleichzeitig mit dem durchströmenden Fluid entstandene Mischphasen oder feine Verwachsungen mit Markasit oder Arsenopyrit makroskopisch nie völlig ausgeschlossen werden.

Andere metallische Phasen lassen sich rein optisch sicher ausschließen:

- Chalkopyrit zeigt typischerweise amorphe oder tetraedrische Aggregate von tieferer Messingfarbe und bildet keine isolierten Hexaeder aus;

- Galenit (PbS) scheidet aufgrund seines bleigrauen Glanzes und der fehlenden Gelbfärbung aus.

3. Bestimmungswahrscheinlichkeiten

- Disseminierter (fein verteilter), idiomorpher Pyrit in serizitisiertem Vulkanit:

  Aussagesicherheit: gesichert

  Begründung: die scharfkantige Hexaeder-Morphologie in Kombination mit dem typischen metallischen Messingglanz und der gebleichten Matrix spricht für Pyrit;

- Pyrit mit untergeordneten Markasit-/Arsenopyrit-Mischphasen:

  Aussagesicherheit: niedrig

  Begründung: in hydrothermalen VHMS-Stockwerkzonen sind Spurenelement-Substitutionsphasen mikroskopisch nie ganz auszuschließen, makroskopisch dominiert jedoch die reine Pyrit-Morphologie;

4. Geochemische Interpretation

Die Probe zeigt das charakteristische Bild einer hydrothermalen Stockwerk- und Imprägnationszone (Feeder Zone) von Lagerstätten des IPB:

- Serizitische Alteration: die intensive Bleichung (Serizitisierung/Kaolinisierung) des Nebengesteins zeugt vom Durchfluss saurer, hydrothermaler Lösungen vor der eigentlichen Sulfid-Hauptphase;
- Ungestörtes Kristallwachstum: die Ausbildung perfekter Einzel-Hexaeder belegt ein ruhiges, schrittweises Kristallwachstum des Pyrits im Porenraum der klastischen Matrix;
- Beginnende Oxidation: die gelb-braunen Säume dokumentieren den primären Verwitterungsbeginn an der Oberfläche (Oxidation von Pyrit zu Goethit).

5. Geochemische Interpretation Troodos vs. IPB

Solch ein Handstück könnte theoretisch auch im Troodos gefunden werden, das konkrete Erscheinungsbild in dieser spezifischen Ausprägung ist dort jedoch sehr unwahrscheinlich. Der Hauptgrund dafür liegt im unterschiedlichen Nebengestein (felsische vs. mafische Matrix):

- IPB (San Telmo): das Hüllgestein der Probe besteht aus einem intensiv serizitisierten, schneeweißen felsischen Vulkanit/Rhyolith. die extrem kieselsäurereiche (felsische) Magmatengenese des IPB bildet genau diese charakteristischen gebleichten, kaolin- und serizitreichen Matrizen;
- Troodos: das Nebengestein im Troodos besteht primär aus mafischen bis ultramafischen Gesteinen (Basalte, Pillowlaven, Diabase); bei hydrothermaler Umwandlung entstehen dort typischerweise dunkelgrüne Chlorit-Quarz-Mischungen, Montmorillonit oder Epidot – eine schneeweiße, feinkörnig-felsische Matrix wie auf dieser Probe ist im Troodos extrem selten und auf ganz wenige, isolierte Plagiogranit-Kontakte beschränkt.

Ein weiterer Grund liegt in der Kristallmorphologie und Korngröße des Pyrits:

- IPB (San Telmo): idiomorphe, scharfkantige Einzel-Hexaeder bis 6 mm Größe in Imprägnationszonen sind ein „Markenzeichen“ der verhältnismäßig ruhigen Stockwerk-Sickerzonen im dichten, klastischen Nebengestein des IPB;
- Troodos: die Pyrit-Imprägnationen in den basaltischen Pillowlaven des Troodos zeigen meist mikrokristalline, feinkörnige oder colloidale/gelartige Gefüge; gut ausgebildete, grobe Makro-Würfel von mehreren Millimetern Länge treten dort bevorzugt in drusigen Hohlräumen auf, als freistehende Einkristalle innerhalb der Nebengesteins-Matrix sind sie jedoch deutlich seltener als im IPB.

Fazit: während Pyrit als Hauptsulfid in beiden VHMS-Systemen vorkommt, ist die Kombination aus schneeweißer, felsisch-serizitisierter Matrix und makroskopisch groben (bis 6 mm) Pyrit-Hexaedern ein typischer "Fingerabdruck" des IPB und ist im Troodos in dieser Ausprägung so nicht zu erwarten.

Belegprobe Serizit B (IPB)



Belegprobe Serizit B (IPB; San Terlmo):

Stufenbreite 4,7 cm (Aufnahme vor der Reinigung);

geschiefertes Quarz-Serizit-Chlorit-Alterationsgestein mit fein gebänderter Pyrit-Imprägnation (blass-messingfarben glitzernde Pyritkristalle (0,1–0,3 mm));

im Original dunkelgraue, leicht grünlich getönte Grundmasse (auf dem Foto beleuchtungsbedingt heller erscheinend).

1. Makroskopischer Befund

- Abmessungen / Habitus
  kantiges, deutlich plattig-geschiefertes Handstück mit einer ursprünglichen Stufenbreite von 4,7 cm; im unteren Drittel durchzieht eine markante, leicht gewellte Spaltfuge (horizontale Kerbe) parallel zur Schieferung das gesamte Stück;
- Farbe / Glanz
  im Original zeigt die Grundmasse ein Dunkelgrau mit einem leichten Grünstich und einem charakteristischen, feinen Seidenglanz auf den Schieferungsflächen (auf dem Makrofoto erscheint die Oberfläche beleuchtungsbedingt deutlich heller silbergrau); darin zeichnen sich noch dunklere, metallisch- bis bräunlich-graue Lagen bzw. Bänder ab, die der Schieferung folgen (besonders breit oberhalb der unteren Spaltfuge sowie schmaler und leicht gewellt im oberen Drittel;
- Gefüge / Korngröße
  extrem feinkörnige, dichte Matrix, in der einzelne Silikatkörner mit bloßem Auge kaum aufzulösen sind; über die gesamte Bruchfläche – besonders dicht jedoch in den dunkleren Bändern – sind zahllose winzige, metallisch glitzernde Pyritkristalle im Submillimeterbereich (überwiegend 0,1–0,3 mm) fein verteilt; am oberen und rechten Rand finden sich zudem kleine, gelblich-cremefarbene Verwitterungsbeläge.
- Physikalische Auffälligkeiten
  - das Handstück weist eine ungewöhnlich hohe, grob abgeschätzte Gesamtdichte von rund 4,3 g/cm^3 auf – ein Wert, der weit über dem eines reinen Serizit-Chlorit-Schiefers (rd. 2,7 – 2,9 g/cm^3) liegt und bereits nahe an dem von massiven Sulfid- bzw. Baryt-Erze heranreicht;
  - beim Einlegen in Wasser brach der schmale untere Gesteinssteg entlang der markanten horizontalen Schieferungsfuge ab; gleichzeitig hinterließ das angefeuchtete Handstück an Werkzeug eine feine, grünlich-dunkle bis dunkle Verschmierung.

2. Mineralbestand / Interpretation

- Serizit (feinschuppiger Hellglimmer / Muskovit-Illit-Gruppe)

  Aussagesicherheit: gesichert

  bildet zusammen mit Quarz und Chlorit die feinschuppige Grundmasse; das Mineral ist durch die ausgeprägte plattige Schieferung, den typischen Seidenglanz auf den Spaltflächen, das Aufweichen entlang der Schieferungsfuge im Wasserbad und die geologische Stellung im Alterationshof von San Telmo eindeutig belegt.

- Chlorit

  Aussagesicherheit: gesichert

  sowohl der bereits am Original-Handstück sichtbare leichte Grünstich in der dunkelgrauen Matrix als auch die grünlich-dunkle Verschmierung am Werkzeug im feuchten Zustand belegen einen substanziellen Anteil an feinschuppigem Chlorit entlang der Schieferungs- und Bewegungsflächen; das Gestein repräsentiert damit die Serizit-Chlorit-Übergangszone der hydrothermalen Alteration.

- Quarz

  Aussagesicherheit: gesichert

  verzahnt mit Serizit und Chlorit als feinkörniges, hartes Gerüst, das dem Handstück im trockenen Zustand trotz der dünnen Schichtsilikat-Lagen eine hohe Festigkeit verleiht.

- Pyrit

  Aussagesicherheit: gesichert

  tritt einerseits in Form der makroskopisch sichtbaren, blass-messingfarben bis silbrig-gelblich glitzernden Mikrokristalle (0,1–0,3 mm) entlang der dunkleren Schieferungsbänder auf, durchsetzt das Gestein aber bis in den Kern als extrem feinkörnige Imprägnation; diese dichte Verteilung von Feinstpyrit trägt sowohl zur dunkelgrauen Grundfärbung als auch zusammen mit Baryt zur hohen Gesamtdichte von ca. 4,3 g/cm^3 und dem dunklen Abrieb im feuchten Zustand bei.

- Baryt (Schwerspat, feinkörnig in der Matrix)

  Aussagesicherheit: sehr wahrscheinlich

  um eine Gesamtdichte von ca. 4,3 g/cm^3 zu erreichen, ohne dass das Handstück wie ein reiner metallischer Pyritblock wirkt, ist neben dem fein verteilten Pyrit (ρ~ 5,0 g/cm^3) ein erheblicher Anteil an feinkörnigem Baryt (ρ~ 4,5 g/cm^3) in der Quarz-Serizit-Chlorit-Matrix sehr wahrscheinlich, eine im Übergangsbereich der IPB-Lagerstätten (auch in San Telmo) weit verbreitete Paragenese.

- Jarosit / Limonit (oberflächliche Anflüge)

  Aussagesicherheit: wahrscheinlich

  die kleinen gelblich-cremefarbenen Beläge am oberen rechten Rand gehen auf beginnende oberflächliche Oxidation der feinen Pyritkörner zurück.

3. Differentialdiagnose

- Abgrenzung ggü. Chlorit-Smektit-Alteration (typ. für Troodos)

  Im Troodos-Massiv auf Zypern dominieren zwar ebenfalls dunkelgrüne, chlorit- und smektitreiche Alterationsgesteine, diese sind dort jedoch massig-ungeschiefert (umgewandelte Basaltlaven) und zeigen keinen seidigen Hellglimmerglanz. Das vorliegende San-Telmo-Stück kombiniert dagegen den leichten Chlorit-Grünstich mit der charakteristischen plattigen Schieferung und dem Seidenglanz des Serizits.

- Abgrenzung ggü. reinem Massivsulfid-Erz

  Obwohl die Dichte von ca. 4,3 g/cm^3 bereits nahe an massive Sulfiderze heranreicht, zeigt das Gefüge eine eindeutig geschieferte Silikat-Sulfat-Matrix mit fein eingesprengten Pyrit-Bändern. Es repräsentiert damit die intensiv vererzte Übergangs- bzw. Alterationszone und keinen homogenen Massiverzkörper.

Abgrenzung fein verteilter Pyrit vs. Chalkopyrit

Die winzigen glitzernden Körnchen zeigen den hell-messinggelben bis silbrig-gelblichen Farbton von Pyrit und besitzen teilweise erkennbare kantige Kristallflächen, während Chalkopyrit ein sattes, warmes Goldgelb und formlos-xenomorphe Aggregate zeigen würde.

4. Genese

- Hydrothermale Umwandlung (Serizitisierung, Chloritisierung und Verkieselung)

  Während der Bildung der VHMS-Lagerstätte San Telmo im Unterkarbon durchströmten heiße, metall- und schwefelreiche hydrothermale Lösungen die vulkanisch-sedimentären Nebengesteine. Dabei wurden ursprüngliche Feldspäte und vulkanische Glasanteile zersetzt und in feinschuppigen Serizit, Chlorit (verantwortlich für den leichten Grünstich) und Quarz umgewandelt, während gleichzeitig Pyrit und Baryt teils entlang primärer Schichtungsflächen, teils als dichte Porenfüllung im gesamten Gesteinsvolumen ausgefällt wurden.

- Tektonische Überprägung (Variszische Gebirgsbildung)

  Später wurde der gesamte Gesteinsverband unter erhöhtem Druck und Temperatur gefaltet und geschiefert. Dabei richteten sich die winzigen Serizit- und Chlorit-Blättchen parallel aus (wodurch der Seidenglanz und die plattige Spaltbarkeit entlang der horizontalen Schwächezone entstanden), und die feinen Pyrit-Lagen wurden als leicht gewellte Bänderung mit verformt.

Präparationshinweis für Sammler
Das Abbrechen des unteren Gesteinsstegs beim Einlegen in Wasser zeigt anschaulich, dass solche geschieferten, schichtsilikatreichen IPB-Stufen nicht im Wasserbad gereinigt werden sollten – eindringendes Wasser lockert die dünnen Serizit-Chlorit-Lagen entlang der Schieferungsfugen und beschleunigt zudem die Pyrit-Oxidation.

5. Vergleich Zypern (Troodos) vs. Iberischer Pyritgürtel (San Telmo)

Dieses Handstück verdeutlicht einen der fundamentalsten geologischen Unterschiede zwischen beiden Lagerstättenprovinzen:

- Iberischer Pyritgürtel (San Telmo)

  Die Erzkörper sind in überwiegend felsische (saure) Vulkanite und Sedimente eingebettet und wurden später von der variszischen Gebirgsbildung erfasst. Deshalb sind geschieferte Quarz-Serizit-Chlorit-Pyrit-Gesteine (mit seidigem Glimmerglanz, schichtparalleler Sulfidbänderung und oft beigemengtem Baryt) hier das klassische Leitgestein der Alterationszone. Solche durch Gebirgsdruck geschieferten Serizit-Chlorit-Alterationsgesteine sind typisch für den Iberischen Pyritgürtel, fehlen in den ungeschieferten Basalt-Lagerstätten Zyperns jedoch weitgehend.

- Troodos-Massiv (Zypern)

  Die zyprischen VHMS-Lagerstätten liegen in ozeanischen Basaltlaven (Kissenlaven) und blieben von einer regionalen Gebirgsfaltung verschont. Im Troodos fehlen daher sowohl die intensive Serizit-Schieferung als auch solche tektonisch gebänderten Pyrit-Serizit-Baryt-Gesteine nahezu vollständig, stattdessen dominieren dort ungeschieferte Chlorit-Smektit-Quarz-Alterationen im Liegenden der Erzkörper.

Teil IIc: Metasomatische Verkieselung (Troodos und IPB)

Gangquarz, Chalcedon und Opal-AN wurden bereits im Kapitel „6.4 I Silikatische und Karbonatische Hohlraumfüllungen“ behandelt. Aus didaktischen Gründen sind diese Minerale an dieser Stelle erneut aufgenommen worden, um eine direkte diagnostische Gegenüberstellung aller häufig vorkommenden SiO_2-Modifikationen zu ermöglichen.

Merkmale	*Gangquarz*	*Chalcedon*	*Opal-AN (Hyalit)*	**Jaspis**	**Chert (Hornstein)**
Chemische Formel	SiO_2	SiO_2	$SiO_2 \cdot n\ H_2O$	SiO_2 (+Fe_2O_3 / FeO(OH))	SiO_2 + feinstdisperse Ton-/ Kohlenstoff-Infiltrationen)
Farbe	farblos, milchig-weiß, grau, blassgelb bis rötlich	weiß, grau, bläulich, wolkig-braun, honiggelb	glasklar, wasserhell, milchig-weiß	ziegelrot, leberbraun, braungelb, nie grün/blau	grau, grünlich, schwarz, cremeweiß, beige
Makroskopische Erscheinungsform	massig-kristallin, drusig, grobkörnige Adernetze und Brekzien-Zemente	kryptokristallin, feinfaserig, kollomorph-bändrig, traubige Häute, Aderfüllungen	traubig, botryoidal, nierenförmig, tropfsteinartige Krusten, Hyalithäute	dichtes, feinstkristallines Kiesel-Eisen-Aggregat, brekziös bis flaserig	dichtes, mikrokristallines Kieselgestein, knollig, plattig oder schichtig
Typische Oberfläche	glasglänzend, rau - uneben, scharfkantig; muscheliger bis unebener Bruch	wachs - fettglänzend, glatt-wolkig, seidig-speckige Bruchkanten	starker Glasglanz, vollkommen glatt, traubig-rundliche Oberflächen	fettig-matt bis wachsartig glänzend, muscheliger Bruch	matt, erdig bis schwach fettig, splitterig-muscheliger Bruch
Magnetisch	nein	nein	nein	nein *(selten)*	nein
Typische Begleitminerale	Pyrit, Chalkopyrit, Chlorit, Epidot, Serizit, Calcit	Opal-AN, Chrysokoll, Malachit, Pyrit, Calcit	Chrysokoll, Malachit, Chalcedon, Celadunit, Limonit	Hämatit, Goethit, Pyrit, Chalcedon, Magnetit	Pyrit, Chlorit, Illit/Serizit, Karbonate, Siderit

Merkmale	*Gangquarz*	*Chalcedon*	*Opal-AN (Hyalit)*	**Jaspis**	**Chert (Hornstein)**
Häufige Verwechslung	Opal-AN, Baryt, Calcit (bei massiger Form)	Opal, Jadeit, Chrysokoll-Anreicherung	Bergkristall, Glas-Schlacke, Chrysokoll (gefärbt)	Rhodonit, Gossan -Gestein, verwitterter Basalt	Kalkstein, dichte Kieselschiefer, Basalt-Aphanit
Makroskopische Unterscheidung	Mohs-Härte 7 (ritzt Glas / Stahl); glashell/durchscheinend; säureinert;	Mohs 6,5–7; an dünnen Kanten durchscheinend; wachsartiger Glanz; keine Säurereaktion	Mohs 5,5–6; amorph; starke grün-gelbe UV-Fluoreszenz (365 nm); spürbar geringere Dichte	Mohs 6,5–7; vollständig blickdicht (opak); hinterlässt rötlichen/gelben Strich auf Porzellan	Mohs 6,5–7; opak bis schwach kantendurchscheinend; kein Aufschäumen mit HCl
Typische VHMS-Zone	Zufuhrschlot, Stockwerk-Brekzien, direkte Reaktionszone im footwall *(siehe auch 6.4 Teil I)*	Ränder des Zufuhrschlots, späte Hydrothermaladern, oberflächennahe Spalten	späte, niedertemperierte Hohlraum-Auskleidungen *(siehe auch 6.4 Teil I)*	exhalative Deckschichten (Kiesel-Eisen-Hut), Hangend-Horizont des Erzkörpers	distale, meeresbodennahe exhalative Sedimentation, Nebengesteins-Verkieselung
Häufigkeit Troodos	★★★★★ sehr häufig *(Haupt-Hydrothermalquarz)*	★★★★☆ häufig *(Pillow-Laven & Vesikel)*	★★★☆☆ mäßig bis häufig *(Spät-Phase)*	★★★★★ extrem häufig	★★★★☆ häufig *(in Pelagiten + Radiolariten)*
Häufigkeit IPB	★★★★★ extrem häufig *(Haupt-Gang- und Zufuhrgestein)*	★★★★☆ häufig *(Spätadern)*	★★★☆☆ mäßig	★★★★★ sehr häufig *(Jaspis-Schichten über den Massivsulfiden)*	★★★★★ sehr häufig *(schwarze/grüne Cherts im Hangend-Pelit)*
Bedeutung	Hauptindikator für fokussierte hydrothermatische Kiesel-Metasomatose im Zufuhrkanal	Indikator für abkühlende, kollomorph-gelartige Kiesel-Ausfällung unter 200 °C	Indikator für niedertemperierte, late-stage Wasser-Kiesel-Systeme	Leitgestein für exhalativ-sedimentäre Ausfällung am Rande / Top des VHMS-Systems	Indikator für weiträumige silizische Exhalation und sedimentäre Einkieselung des Nebengesteins

Jaspis

Jaspis (Blutjaspis, Feuerjaspis, engl. Jasper) ist eine mikrokristalline, feinkörnige Varietät von Quarz (SiO_2). Jaspis kann in verschiedenen Bereichen des Stockworks als Sekundärmineral vorkommen, gebildet sowohl während der Primär- als auch während der Sekundärmineralisation. Besonders häufig jedoch kommt er in Bereichen vor, die von hydrothermalen Alterationsprozesse direkt beeinflusst werden. Die heißen Fluide während der aktiven Phase des Black Smokers enthalten oft hohe Konzentrationen an gelöstem Silizium in Form von Siliziumdioxid (SiO_2), sie lassen dieses bei Reaktion mit dem umgebenden Gestein ausfällen. Alternativ dazu kann die Wechselwirkung des heißen Fluids mit dem Umgebungsgestein ebenfalls Kieselsäure freisetzen.

„Roter Jaspis“ besitzt wie der Name besagt eine rötliche bis braune Farbe, der bekannte grüne Jaspis hingegen weist dementsprechend eine grüne Farbe auf. Die Farbunterschiede entstehen durch verschiedene mineralische Einschlüsse und Verunreinigungen im Gestein. Roter Jaspis kann Eisenoxide und andere Verunreinigungen enthalten, die ihm seine charakteristische rote Farbe verleihen. Grüner Jaspis enthält hingegen mineralische Einschlüsse von Chlorit, Actinolit oder anderen grünen Mineralen, die dann für seine grüne Farbe verantwortlich sind.

Neben dem für Jaspis typischen Fettglanz ist die Dichte ein starkes Kriterium zur makroskopischen Differenzierung gegenüber anderen roten Gesteinen. Die typischen Werte für die anderen Gesteine wie Hämatit (4,9 – 5,3 g/cm³), Zinnober (7,2 – 8,0 g/cm³) oder Cuprit (6,0 – 6,5 g/cm³) liegen deutlich über dem von Jaspis (2,6 – 2,9 g/cm^3).

Allerdings kann Roter Jaspis leicht aufgrund des Fettglanzes mit dem frühen Tiefseesediment Radiolarit verwechselt werden. Radiolarit besteht ebenfalls überwiegend aus SiO_2. Das Silizium stammt allerdings von den namensgebenden, massenhaft vorkommenden Radiolarien, deren Schalen auf Basis von Si-Chemie aufgebaut sind. Die gelblich bis rote Farbe wird wie beim „Red Jasper“ ebenfalls durch Eisenhydroxide erzeugt. Ein stark differenzierendes, makroskopisches Merkmal ist auch hier die spezifische Dichte:

Radiolarit: 2,46 – 2,6 g/cm^3
Jaspis: 2,6 – 2,9 g/cm^3
zum Vergleich Quarz: 2,65 g/cm^3

Unterschiede von Jaspis im Troodos vs. IPB

Während auf Zypern die Umbra-Horizonte und Jaspise oft relativ dünne Bänder bilden, finden sich im IPB (z. B. im Raum Río Tinto oder Tharsis) teils metermächtige, intensiv rote Jaspis-Rücken („Almagres“), die den Bergleuten seit der Antike als Leithorizont zur Auffindung verdeckter Erzkörper dienten.

Belegprobe Jaspis A (Z)



Belegprobe „Jaspis A“:
Roter Jaspis aus der Mitsero-Mine;
Dichte der Stufe 2,9 g/cm³;
Stufenbreite rd. 10 cm.

Befund:

Visuelle und makroskopische Beschreibung:

- Farbe / Farbverteilung: die Stufe zeigt eine ausgeprägte, kräftige ziegelrote- bis schokoladenbraune Färbung im Bereich der Hauptbruchfläche; stellenweise – besonders an den Außenkanten und in Vertiefungen – gehen die Farbtöne in Ocker- und Senfgelb über;
- Oberflächenbeschaffenheit und Bruchverhalten: die zentrale Bruchkante ist dicht, feinkörnig bis kryptokristallin und zeigt einen schwach muscheligen, mäßig matten bis wachsartigen Glanz; es handelt um ein kompakt verkieseltes Gestein;
- HCl-Test (30 %-ig): negativ.

Minerale / Phasen:

- Dominanz von mikro-/kryptokristallinem Quarz, der durch feinstverteilten Hämatit (Fe_2O_3) intensiv rot pigmentiert ist (Jaspisartige Fazies);
- gelblich-braune Zonen deuten auf Limonit/ Goethit-Phasen hin;
- sekundäre Kupferminerale sowie sichtbare Sulfidreste wie Pyrit, Chalkopyrit fehlen auf dieser Schnitt-/Bruchfläche vollständig.

Interpretation:

- Säuretests (30% HCl): keinerlei Aufschäumen oder Gasentwicklung (CO_2) bestätigt das vollständige Fehlen von primären oder sekundären Karbonatmineralen wie Calcit, Dolomit sowie den Kupferkarbonaten Malachit und Azurit;
- die gemessene Dichte von 2,9 g/cm³ grenzt das Handstück von Radiolarit ab;
- Paragenetische Einordnung: das Handstück wird als rotjaspisartiger, kieselsäurereicher Gossan (Eisener Hut) bzw. als hydrothermale Übergangsfazies (Sediment-/Exhalationshorizont im Hangenden der Sulfiderze) eingeordnet;
- die Ausfällung der unlöslichen Kieselsäure zusammen mit Eisenoxiden erfolgte unter extrem sauren Bedingungen, wie sie für das Umfeld der Pyrit-Oxidation typisch sind.

=> Aussagesicherheit: gesichert

Belegprobe Jaspis B (Z)



Belegprobe „Jaspis B“:

rot-gelber Jaspis in Assoziation mit Pyrit und Quarz aus der unmittelbaren Verwitterungsfront (Übergangsbereich) im Schnittbereich zwischen der primären Sulfid-Vererzung und der supergenen Oxidationszone (Gossan);

Breite der Stufe rd. 10 cm

Befund:

- zweigeteiltes Gefüge: die Stufe zeigt einen deutlichen Übergang von einer intensiv rot pigmentierten Oxidationszone hin zu einer grobkristallinen, vererzten Zone;
- Matrix / Färbung: die linke und zentrale Partie wird von einer dichten, erdigen bis matten Matrix in leuchtendem Ziegelrot bis Rostbraun dominiert, die durch feinstverteilten Hämatit und Goethit geprägt ist;
- Mineralisation: die rechte Handstückseite weist deutliche, metallisch messing- bis goldgelb glänzende Pyritkristalle auf, die eng mit milchig-weißem bis hyalinem Quarz verwachsen sind;
- Sekundäre Anflüge: an den äußeren Kanten und Übergangszonen finden sich gelblich-ockerfarbene Krusten aus z.B Limonit, Ochre oder Jarosit;
- negativer HCl-Test
- gemessene Dichte: 2,88 g/cm^3

Interpretation:

- der negative Säuretest weist auf ein Fehlen von primären oder sekundären Karbonatmineralen (wie Calcit, Dolomit, Malachit oder Azurit) sowohl im Quarzgefüge als auch in den roten Oxidationsbereichen hin;
- die gemessene Dichte von 2,88 g/cm^3 liegt signifikant über dem Wert von reinem Quarz (2,65g/cm^3), aber unter dem von reinen Massivsulfiden wie Pyrit (5,00 g/cm^3) oder reinem Hämatit (5,26 g/cm^3); sie bestätigt daher ein Gemisch aus leichterem Ganggestein (Quarz), kieselig-oxidischen Phasen (Jaspis/kieseliger Gossan) und einem verbliebenen Anteil schwerer, unzersetzter Pyritkristalle.
- Paragenetische Einordnung:
  die Stufe repräsentiert die unmittelbare Verwitterungsfront einer VHMS-Lagerstätte im Schnittbereich zwischen der primären Sulfid-Vererzung und der supergenen Oxidationszone (Gossan); während Teile der Sulfide (Pyrit) unzersetzt blieben, führten die durch Pyritoxidation erzeugten sauren, eisenreichen Lösungen zur intensiven Hämatit-Pigmentierung des umgebenden Quarzgefüges.

  => Aussagesicherheit: gesichert