

Zur Genese der paläozoischen Spatmagnetit-Lagerstätte Breitenau am Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark, Österreich)

ALEXANDER TOLLMANN, dem großen Alpengeologen

Werner TUFAR, Ulrich SIEWERS und Christian WEBER

Zusammenfassung: Die schicht- und zeitgebundene Spatmagnetit-Lagerstätte Breitenau im Grazer Paläozoikum liegt eingebettet in einer Schwarzschieferfazies in einer obersilurischen Gesteinsserie, die sich durch einen ausgesprochenen Mangel an Karbonatsediment auszeichnet. Die Magnetit-Lagerstätte wurde durch diagenetische und postdiagenetische Veränderungen überprägt und weist dieselbe tektonische Beanspruchung bzw. die verschiedenen tektonischen Verformungsakte und die schwache Regionalmetamorphose auf wie die umgebende obersilurische Gesteinsserie, welche die Magnetit-Lagerstätte führt. Sm-Nd-Isotopenmessungen an Magnetit ergaben ein Alter von im Mittel 225 ± 16 Ma, das auf eine jüngere Umkristallisation bzw. eine Überprägung zurückgeht und die letzte thermische Überprägung der obersilurischen Magnetit-Lagerstätte Breitenau abbildet.

Abstract: The strata-bound and time-bound Breitenau sparry magnetite deposit in the Graz Paleozoic is embedded within a black shale facies occurring within an Upper Silurian (clastic silicate) rock series which is characterized by a pronounced deficiency in carbonate sediments. The magnetite deposit was overprinted by diagenetic and post-diagenetic processes. Both the Upper Silurian rock series and its embedded magnetite deposit have been subjected to exactly the same succession of tectonic events and very low-grade regional metamorphism. Absolute age dating of magnetite with the Sm-Nd isotopic method revealed 225 ± 16 Ma. This Triassic mineral age is caused by post-formational recrystallization and documents the latest thermal overprint of the Upper Silurian Breitenau magnetite deposit.

Schlüsselwörter - Key Words: Magnetit, Breitenau am Hochlantsch, Grazer Paläozoikum, Steiermark, Genese und Alter

Inhalt

1. Einführung
2. Geologischer Überblick
3. Der Magnesitkörper und seine mineralogische Zusammensetzung
- 3.1 Zur chemischen Zusammensetzung des Magnesites
4. Erzminerale im Metatuffit
5. Zur Genese des Magnesites
6. Schlussfolgerungen - Ausblick

Literatur

Tabellen

Abbildungen

1. Einführung

Die Frage der Entstehung und altersmäßigen Einstufung der zahlreichen Erzmineralisationen in den Ostalpen steht bereits über ein Jahrhundert im Brennpunkt lagerstättenkundlicher Forschung und hat bis heute nicht an Aktualität verloren. Eine besondere Stellung kommt dabei den ostalpinen Spatvorkommen zu, nämlich einerseits den Lagerstätten von Magnesit und andererseits jenen von Siderit. Einen Überblick über das Problem der ostalpinen Spatmagnesit-Lagerstätten wie überhaupt dem von Spatmagnesit geben TUFAR et al. (1989) am Beispiel einer Neuuntersuchung der Magnesit-Lagerstätte Radenthein im Altkristallin der Millstätter Alpe.

Die Magnesit-Lagerstätte Breitenau am Hochlantsch im Paläozoikum von Graz bietet sich als eine typische ostalpine Spatmagnesit-Mineralisation geradezu an, die Genese des Magnesites nach modernen Gesichtspunkten zu untersuchen und zu überdenken. Dies umso mehr, als über diese große Spatmagnesit-Lagerstätte nur relativ wenige Hinweise oder Untersuchungen vorliegen (z. B. CERNY et al., 1997, 2000, CLAR et al., 1929; CLAR, 1931; FLÜGEL, 1951; PROCHASKA, 2000, 2001; SIEGL, 1955; ZSCHUCKE, 1956; FLÜGEL, 1961; TOLLMANN, 1977; GOLLNER, 1983, 1985; KRALIK, 1993; TUFAR, SIEWERS & WEBER, 2001, 2002; SCHROLL, 2002).

2. Geologischer Überblick

Die Magnesit-Lagerstätte Breitenau im NE des Grazer Paläozoikums stellt die größte Spatmagnesit-Lagerstätte der Ostalpen dar. Ihre bergwirtschaftliche Bedeutung wird durch einen Gehalt von etwa 50 Millionen Tonnen Spatmagnesit unterstrichen. Sie steht bereits seit bald einem Jahrhundert in

Abbau, die ersten Jahrzehnte allerdings nur in bescheidenem Ausmaße und verfügt immer noch über erhebliche Reserven.

Die Lagerstätte (vgl. Abb. 1 und 2) liegt am Nordabfall des Hochlantsch in der schwach regionalmetamorph überprägten Laufnitzdorfer Gruppe (Obersilur - Oberdevon), deren Gesteine im Lagerstättenbereich durch Fossilien belegt, dem Obersilur zugeordnet werden können (vgl. z. B. GOLLNER, 1983, 1985; GOLLNER & ZIER, 1985; GOLLNER et al.1985). Ihr gehören die in unterschiedlichen tektonischen Positionen liegende Hackensteinerformation mit der Magnesit-Lagerstätte und die im Hangenden, über der Koglerformation anzutreffende Harrbergerformation an.

Auffällig ist bereits, dass sich die Nebengesteinsserie der Magnesit-Lagerstätte, eine vulkanogen-sedimentäre Abfolge, durch einen ausgesprochenen Mangel an Karbonatgestein bzw. Karbonatsedimenten auszeichnet. Eine erhebliche Karbonatführung weisen dagegen die beiden benachbarten Serien auf, die „Kalkschieferfolge“ (Unterdevon - Oberdevon) und erst recht die höchste tektonische Einheit, die Hochlantschgruppe (Unterdevon - Oberkarbon) mit dem bis zu 800 m mächtigen Hochlantschkalk, die sich beide jedoch durch eine völlige Abwesenheit von Magnesit auszeichnen.

Der Spatmagnesit von Breitenau gehört einem schichtgebundenen, stratiformen Lagerstättenzug an, der über einen Bereich von mehreren Kilometern in der Laufnitzdorfer Gruppe durch Ausbisse bzw. Vorkommen von Magnesit markiert wird. Bei den Geländearbeiten gelang es einem der Verfasser (W. T.) sogar, in diesem Horizont ausbeißenden Spatmagnesit nachzuweisen, der bisher unbekannt war. Das auffällige schichtgebundene, stratiforme Auftreten der Magnesit-Lagerstätte Breitenau ist jedoch nicht auf diese beschränkt, sondern allgemein für ostalpine Spatmagnesit-Lagerstätten typisch.

3. Der Magnesitkörper und seine mineralogische Zusammensetzung

Der Magnesitkörper in der Lagerstätte Breitenau streicht etwa E – W, fällt mit ca. 25° nach S und ist auf etwa 1,7 – 2 km von ca. 800 m über NN im Tagbau bis in eine Teufe von ca. 240 m über NN zu verfolgen (vgl. Abb. 3). Die Mächtigkeit kann bis 200 m betragen. Das Hangende des Magnesitlagers (vgl. Abb. 4 und 5) bilden Metatuffit und kohlenstoffreicher, Lydit führender phyllitischer Schiefer, die ebenfalls zur Hackensteinerformation der Laufnitzdorfer Gruppe gehören. Im liegenden Bereich wird der Magnesit, mit scharfer Begrenzung, von einem feinkörnigen sedimentären Obersilur-Dolomit begleitet (vgl. Abb. 6). Das Liegende der Magnesit-Lagerstätte bildet ein kohlenstoffführender phyllitischer Schiefer (vgl. Abb. 7). Charakteristisch für den Magnesit ist somit auch sein Auftreten mit kohlenstoffreichen phyllitischen Schiefen bzw.

Schwarzschiefern im Liegenden und Hangenden, in die er eingebettet liegt.

Tektonisch wurde die Lagerstätte teilweise mehrphasig stark beansprucht, gestört und weist dementsprechend u. a. zahlreiche Störungen und Verwürfe auf. An jüngeren Störungen können stellenweise sogar Magnesit-Breccien vorliegen, die bis mehrere Dezimeter Mächtigkeit erreichen.

Magnesit tritt praktisch als monomineralischer Lagerstätten- bzw. Gesteinsbildner auf und ist öfters als ein besonderes Charakteristikum in relativ großen Kristallen und Kristallaggregaten anzutreffen. Diese können mehrere cm Länge erreichen. Es liegen mehrere Gefügetypen von Spatmagnesit vor. Häufig zu beobachten ist weißer, aber auch hell- bis dunkelgrauer, stellenweise außerdem fast schwarzer Spatmagnesit. Letztere beiden enthalten häufig Spuren von kohligter Substanz als färbendes Pigment, analog zum Hangend- und Liegendnebengestein.

Ausgesprochen charakteristisch für die Lagerstätte sind Bändermagnesit (vgl. Abb. 8 - 11, 27 und Tabelle 1) und „Magnesit-Sonnen“ (vgl. Abb. 10 - 14, 26 und Tabelle 2), während pinolitischer bzw. pinolitähnlicher Magnesit nur sehr untergeordnet und auch dann nur in relativ feinkörniger Ausbildung vorliegt.

Typischer, mittel- bis grobkörniger Pinolitmagnesit, wie er beispielsweise in den Lagerstätten vom Sunk in der Nördlichen Grauwackenzone (Steiermark) oder Radenthein im Altkristallin auf der Millstätter Alpe (Kärnten) auftritt, konnte bisher in der Breitenau nicht nachgewiesen werden.

Zu den „Magnesit-Sonnen“ sind auch der von SIEGL (1955) beschriebene Magnesit mit Kugel- bzw. Radialgefüge und die von ZSCHUCKE (1956) abgebildeten „Magnesitrosen“ aus der Lagerstätte Breitenau zu stellen.

Was sprachlich den rein beschreibenden Begriff Bändermagnesit anbelangt, so müsste F. ANGEL und seinen Ausführungen zum Terminus *Bänderamphibolit* bzw. *Lagenamphibolit* sinngemäß folgend, beim Magnesit eigentlich von *Lagen* und dementsprechend von *Lagenmagnesit* gesprochen werden, da es sich nicht um eindimensionale Bänder, sondern um zweidimensionale Lagen bzw. Schichten handelt. Von SIEGL (1955) wurde ebenfalls unterstrichen, dass die in der Literatur verbreitete Bezeichnung „gebändert“ unzutreffend ist und dementsprechend „schichtig“ vorgezogen werden sollte. Es dürfte aber kaum Aussicht auf Erfolg haben, den in der Literatur seit Jahrzehnten verwendeten, aber sprachlich falschen Begriff *Bändermagnesit* durch den sprachlich richtigen Terminus *Lagenmagnesit* ersetzen zu wollen.

Weit verbreitet in der Lagerstätte ist Bändermagnesit (vgl. Abb. 8 - 11, 27 und Tabelle 1). Seine Bänderung kann fein bis sehr grob ausgebildet sein und reicht dementsprechend vom mm-Bereich bis in den cm-Bereich. Die Bänderung ist primär angelegt und geht auf ursprüngliche, rhythmische Wechselfolgen bzw. Abfolgen von weißen, reinen und dunkleren, zumeist grauen, unreinen, etwas bis relativ stärker bituminösen und teilweise auch Pyrit sowie toniges Material führende Karbonatlagen zurück. Bei der Spätdiagenese konnte Magnesit in den reinen Lagen häufig ungehindert wachsen bzw. rekristallisieren und liegt somit in

diesen zumeist in größeren Körnern vor, in den unreinen Lagen dagegen wurde sein Wachstum bzw. seine Rekristallisation teilweise gehemmt und unterdrückt (vgl. Abb. 10). Die dunklen Lagen bzw. Bänder (Straten) von Magnesit sind stellenweise zerbrochen, teilweise auch angelöst oder sogar weggelöst (vgl. Abb. 9).

Obwohl der Bändermagnesit später abschließend schwach regionalmetamorph überprägt wurde, sind primäre sedimentäre Texturen und Gefüge erhalten geblieben. Als eine Besonderheit weist Bändermagnesit sogar noch Belastungsmarken („load casts“, vgl. Abb. 9) auf und lässt sogar erkennen, dass ursprünglich unverfestigte, plastische, rhythmische Magnesit-Wechselfolgen vorlagen, in denen einzelne Lagen bzw. Bänder einbrachen und in unterlagernde Magnesitbänder eindrückten.

Bereits beim Bändermagnesit fällt stellenweise auf, dass dunkle, feinkörnige, öfters etwas mächtigere Lagen bzw. Bänke dieser rhythmischen Abfolgen strahlig aufgewachsen, zumeist gegen das Liegende, hellgrauen, langgestreckten, sehr grobkörnigen, in den freien Hohlraum hineingewachsenen Spatmagnesit in Form der typischen „Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ aufweisen, wie sie überaus typisch für die „Magnesit-Sonnen“ sind. Derartige Bereiche im Bändermagnesit bilden einen Übergang zu den für diese Lagerstätte überaus charakteristischen „Magnesit-Sonnen“.

Äußerst kennzeichnend für die Lagerstätte sind „Magnesit-Sonnen“ (vgl. Abb. 11 – 15, 26 und Tabelle 2) mit ihren charakteristischen strahligen bis radialstrahligen großen Kristallen von Magnesit („Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“) um feinkörnigen, dunklen Magnesit („Substrat“). Sie belegen eine Kristallisation von Magnesit in beachtlicher Größe bzw. Länge in freie, große, mit Lösung gefüllte Hohlräume hinein: Dunkelgraue bis fast schwarze, meist bereits lithifizierte, stellenweise aber auch noch plastische Bänke und Lagen von älterem, feinkörnigen Magnesit mit kohligem Substrat und öfters auch etwas Pyrit, werden als Substrat häufig angelöst und zeigen als Folge einer spätdiagenetischen Zementation aufgewachsen, strahlig bis radialstrahlig angeordnet, mehrere cm lange, (hell-)graue „Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ (1. Generation Zement), die noch ein wenig kohliges Substrat als färbendes Pigment enthalten können, gefolgt von weißen, ebenfalls mehrere cm langen „Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ (2. Generation Zement), die weiter in den freien Hohlraum hineinwachsen. Auf diese kann stellenweise noch Dolomit, z. T. in mehrere Zentimeter großen Kristallen („Rosszahn-Dolomit“, 3. Generation Zement), als Resthohlraumfüllung folgen.

Das typische Wachstum und die Ausbildung dieser großen, strahligen bis radialstrahligen Magnesit-Kristalle, der charakteristischen „Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“, ist kennzeichnend für frei in mit Lösung gefüllte Hohlräume hineingewachsene Kristalle und lässt sich darauf zurückzuführen, dass sie an der Basis eine sehr hohe Keimbildungsrate hatten. Die anfangs sehr hoch konzentrierte

Lösung, die z. T. auch ausgetauscht wurde, verarmte, und die Keimbildungsrate nahm drastisch ab, wodurch es zur Kristallisation von sehr großen Magnesit-Kristallen, den für die „Magnesit-Sonnen“ so charakteristischen „Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ (1. Generation Zement, 2. Generation Zement) und letztlich des „Rosszahn-Dolomites“ (3. Generation Zement) kam.

Diese Kristallisation mit ihren charakteristischen Hohlraumfüllungen erfolgte nach beendeter Sedimentation, während der Spätdiagenese. Wie diese in vielen Gebieten lehrt, entstehen derartige Hohlräume durch Lösung und Abtransport von leicht löslichen Mineralen (z. B. Gips, Anhydrit). Sofern Ca nicht komplett abgeführt wird, hat das restliche Ca häufig eine Bildung von Dolomit zur Folge. Dieser Vorgang führte vergleichbar in der Breitenau zur Bildung des typischen „Rosszahn-Dolomites“ (3. Generation Zement).

Auf Grund der tektonischen Beanspruchung der Lagerstätte ist postkristalline Deformation von Magnesit häufig deutlich zu beobachten (vgl. Abb. 16). Sie wird durch das teilweise sehr starke undulöse Auslöschchen der betreffenden Körner abgebildet. Stellenweise führt die postkristalline Deformation am Magnesit außerdem zur Bildung von Druckwillingen nach $\{10\bar{1}1\}$ sowie zu Brucherscheinungen und sogar zur Kataklyse von Magnesit, wobei es in einer späteren Phase zur Rekristallisation des zerbrochenen und zerriebenen Magnesites kommen kann.

Dolomit tritt im Magnesit als Neben- bis Übergemengteil auf, manchmal auch als jüngere Mobilisation, z. B. Äderchen und Klüfte verheilend. Weitere Übergemengteile und nur örtlich Nebengemengteile bilden gelegentlich Quarz und Chlorit. Quarz, stellenweise begleitet von ein wenig Chlorit, findet sich lokal als feinkörnige Zwickelfüllung im rekristallisierten Magnesit zwischen dessen aufgesprossenen Idioblasten. Gelegentlich ist Calcit als Übergemengteil anzutreffen.

Talk, der in Paragenese mit Magnesit durchaus erwartet werden könnte, fehlt in dieser Lagerstätte. Offensichtlich reichten die bei der nur schwachen regionalmetamorphen Überprägung der Magnesit-Lagerstätte herrschenden Druck- und Temperatur-Bedingungen, die zwar zu einer Umkristallisation bzw. Rekristallisation von Magnesit führten, nicht auch zur Bildung von Talk aus.

Kohle bzw. kohlige Substanz (vgl. Abb. 17 - 19) und Pyrit (vgl. Abb. 17 - 19), der teilweise idiomorphe Ausbildung in seinen Aggregaten aufweist, treten als Übergemengteile, örtlich außerdem als Nebengemengteile auf. Erstere kann etwas reichlicher beibrechen und findet sich häufig als „Graphit-Spiegel“ auf Störungsflächen und Harnischen. Kohlige Substanz liegt stellenweise in feinen Einschlüssen in häufig dunkel gefärbtem, „unreinen“ Magnesit vor, z. B. in dessen feinkörnigen „Substrat“-Lagen und -Bänken, öfters aber als Intergranularfilm um rekristallisierten, aufgesprossenen, gereinigten Magnesit sowie außerdem als Zwickelfüllung um diesen (vgl. Abb. 17 - 19). In vergleichbaren Verwachsungen ist gelegentlich ebenso Pyrit anzutreffen, der stellenweise die kohlige Substanz begleitet (vgl. Abb. 17 - 19).

Als Übergemengteile sind manchmal u. a. Zinkblende, Kupferkies und Rutil sowie auch Apatit zu beobachten. Letztere beide liegen teilweise auch als Schwerminerale in diesem Sediment vor.

Von mineralogischem Interesse ist im Magnesit ein lokales Auftreten von Magnetit (vgl. Abb. 20 und 21), der z. T. idiomorph nach {111} ausgebildet ist. Stellenweise liegen aber auch Pseudomorphosen von Magnetit vor, die erkennen lassen, dass ein älterer, idiomorph nach {0001} entwickelter Hämatit (vgl. Abb. 21) vorhanden war, der vollständig und orientiert von Magnetit verdrängt und pseudomorphosiert worden ist, es handelt sich um Muschketowit. Seinerseits aber wird Magnetit selbst stellenweise von einem jüngeren Hämatit orientiert verdrängt, es liegt dann Martit vor.

Als junge Bildungen und jeweils nur als Übergemengteil sind örtlich in der Lagerstätte z. B. Baryt und Zinkblende auf Klüften anzutreffen, außerdem finden sich u. a. als Raritäten Zinnober sowie Millerit. Das Ba für die Bildung des häufig idiomorph in kleinen Kristallen ausgebildeten und meist in Kristalldrüsen auftretenden Barytes stammt lateralsekretionär aus dem hangenden Metatuffit.

3.1. Zur chemischen Zusammensetzung des Magnesites

Der Spatmagnesit der Lagerstätte Breitenau enthält im Durchschnitt 2,69 Gew.-% FeO, 0,295 Gew.-% MnO und 0,34 Gew.-% SiO₂ (vgl. auch Tabelle 1 und 2). Der Gehalt an Calcium ist teilweise sehr niedrig (minimal 0,12 Gew.-% CaO), kann aber in Abhängigkeit von beibrechendem Dolomit auch deutlich höher sein und bis einige Gew.-% CaO betragen. Die Gehalte an Sr liegen im untersuchten Material zwischen < 2 – 1651 g/t Sr (Ø: 17,8 g/t bzw. unter Einbeziehung lokaler Extremwerte 71,7 g/t Sr).

Sehr aufschlussreich sind die Gehalte an Selten-Erd-Elementen (SEE) im Magnesit (Σ SEE ohne Y: 1,515 g/t bis 125,889 g/t, Ø: 20,621 g/t). Kennzeichnend unterscheiden sich im Bändermagnesit (vgl. Abb. 27 und Tabelle 1) die sedimentär angelegten rhythmischen Wechselfolgen durch sehr unterschiedliche Gehalte der vor allem leichten SEE, wobei die hellen Magnesitlagen bzw. -straten gegenüber den dunklen deutlich geringere Konzentrationen an SEE aufweisen. Charakteristisch für die „Magnesit-Sonnen“ ist wieder eine deutliche Abnahme („Fraktionierung“) der vor allem leichten SEE vom feinkörnigen Magnesit-Substrat zu den Magnesit-Zementen („Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“) (vgl. Abb. 26 und Tabelle 2). Es ist daher nicht von der Hand zu weisen, dass die SEE, zumindest zu einem erheblichen Teil, nicht in Magnesit eingebaut sind, sondern in Fremdphasen vorliegen. Unabhängig davon zeigen die Verteilungsmuster der SEE beim Cer eine schwache negative Anomalie und eine deutliche negative Anomalie beim Europium.

4. Erzminerale im Metatuffit

Im hangenden Metatuffit des Spatmagnetit-Erzkörpers lassen sich gelegentlich Erzminerale als Übergemengteile beobachten.

Als ein Charakteristikum ist in geringen Gehalten Chromspinell bzw. Chromit anzutreffen (vgl. Abb. 22), ein Beleg für vulkanogenes Material. Dieser zeigt auf Diaphthorese zurückgehend, randliche Umbildung bzw. Verdrängungssäume von Magnetit, der seinerseits wieder durch Eisenglanz verdrängt werden kann. Vergleichbar mit diesem Vorkommen von Chromit ist sein Auftreten in der benachbarten syngenetischen Blei-Zink-Baryt-Mineralisation des Grazer Paläozoikums (vgl. TUFAR, 1972, 1981, 2004)

Ebenfalls nur gelegentlich sind Spuren von Kupferkies zu beobachten. Als eine Besonderheit kann er mit Hämatit vergesellschaftet sein und lässt in diesen außergewöhnlichen Verwachsungen erkennen, dass es sich bei diesen um Pseudomorphosen nach ursprünglichem Magnetit handelt. Dieser wurde orientiert nach {111} von Hämatit verdrängt, und es kam zur Bildung von Martit. In einer weiteren Phase kam es dann zu einer Verdrängung von Magnetit und Hämatit durch Kupferkies. Bei diesem Vorgang wurde Magnetit vollständig, Eisenglanz jedoch nur teilweise verdrängt. Letzterer, bzw. der Martit, liegen jetzt in Verdrängungsresten eingebettet im verdrängenden Kupferkies (vgl. Abb. 25) vor, und zwar orientiert nach {111} des ursprünglichen Magnetites.

Örtlich konnte im Metatuffit außerdem eine Hämatit-Mineralisation nachgewiesen werden (vgl. Abb. 23 und 24). Diese ist vergleichbar dem benachbarten Vorkommen vom Heuberggraben bei Mixnitz und stellt einen weiteren Vertreter des klassischen submarin-vulkanogen-sedimentären *Eisenlagerstättentyps Lahn-Dill* im Grazer Paläozoikum bzw. in den Ostalpen dar. Es liegen häufig prächtig ausgebildete kolloidale, rhythmisch schalige bis konzentrisch-schalige Massen von feinkörnigem Eisenglanz (vgl. Abb. 23) vor. Mit diesem ist gelegentlich Pyrit (vgl. Abb. 23) vergesellschaftet, der teilweise idiomorphe Ausbildung aufweist und in relativ größeren Aggregaten vorliegen kann.

In dieser Hämatit-Mineralisation sind außerdem Pseudomorphosen von Eisenglanz nachzuweisen, die erkennen lassen, dass dieser komplett einen älteren, idiomorph nach {111} entwickelten Magnetit (vgl. Abb. 24) verdrängt und pseudomorphosiert hat. In diesen Verwachsungen bzw. Pseudomorphosen liegt somit Martit vor.

5. Zur Genese des Magnesites

Die genetische Deutung der Spatmagnetit-Lagerstätten der Ostalpen wird seit langem in der Fachliteratur (vgl. z. B. TUFAR et al., 1989) sehr heftig kontrovers diskutiert und reicht von rein sedimentär bis epigenetisch-hydrothermal-

metasomatisch.

Überblickt man die Spatmagnetit-Lagerstätten der Ostalpen vergleichend, so fällt bereits auf, dass es sich um lagerförmige, schicht- und zeitgebundene Massengesteine in sedimentären bis vulkanogen-sedimentären Schichtfolgen unterschiedlichen paläozoischen Alters (Silur bis Karbon) handelt. Auch insofern halten die Schlussfolgerungen von PROCHASKA (2000), die generell schichtgebundene, stratiforme Spatmagnetit-Lagerstätten in den Ostalpen ausschließen, einer Überprüfung nicht stand.

Eine weitere Übersicht zeigt auf, dass die Spatmagnetit-Lagerstätten der Ostalpen einerseits in Serien auftreten, die reich an Kalk und Dolomit sind (z. B. Nördliche Grauwackenzone), andererseits in Serien, die sich durch einen ausgesprochenen Mangel an Karbonatsedimenten auszeichnen. Beispiele für letztere sind Radenthein (Kärnten) in der Serie des Radentheiner Glimmerschiefers im mittelostalpinen Altkristallin und Breitenau am Hochlantsch in der Laufnitzdorfer Gruppe im oberostalpinen Grazer Paläozoikum.

Zur Klärung der Genese der ostalpinen Spatmagnetit-Lagerstätten liefert die Breitenau wesentliche Hinweise.

Ein kennzeichnendes Merkmal für diese mächtige Spatmagnetit-Lagerstätte ist ihr schicht- und zeitgebundenes Auftreten im Grazer Paläozoikum in einer vulkanogen-sedimentären Serie und zwar in der schwach regionalmetamorph überprägten Laufnitzdorfer Gruppe. Als ein weiteres wesentliches Charakteristikum liegt diese Spatmagnetit-Mineralisation eingebettet in eine Schwarzschieferfazies mit charakteristischer kohligter Substanzverbreitung über petrographische Grenzen hinweg.

Gerade auch das Beispiel der Magnetit-Lagerstätte Breitenau lässt ersehen, dass die häufig vertretene Auffassung, die Verteilung der Seltenen Erden in Magnetit wäre beweisend für eine hydrothermal-metamorphogen-metasomatische Bildung der Spatmagnetit-Lagerstätten (vgl. z. B. MORTEANI, SCHLEY & MÖLLER, 1982, 1983; MORTEANI 1989; MORTEANI & NEUGEBAUER 1990; BAU & MÖLLER, 1992; KRÁLIK, 1993; LUGLI et al., 2000, 2002), nicht haltbar ist. Dies zeigt deutlich die Verteilung („Fraktionierung“) der SEE, vor allem der leichten SEE, in der Magnetit-Lagerstätte Breitenau auf, in den „Magnetit-Sonnen“ vom feinkörnigen Magnetit-Substrat zu den Magnetit-Zementen („Magnetit-Tapeten“ bzw. „Magnetit-Palisaden“, vgl. Abb. 26 und Tabelle 2), ebenso die sehr unterschiedlichen Gehalte der vor allem leichten SEE in den sedimentär angelegten rhythmischen Wechselfolgen von hellen und dunklen Lagen bzw. Straten von Bändermagnetit (vgl. Abb. 27 und Tabelle 1).

Zweifel daran, dass die angeführte gängige, auf der Interpretation der SEE-Verteilung in Magnetit basierende Auffassung der hydrothermal-metasomatischen Bildung der Magnetit-Lagerstätten tatsächlich deren sedimentäre Anlage ausschließt, wie dies ausdrücklich z. B. von MORTEANI (1989) und MORTEANI & NEUGEBAUER (1990) vertreten wird, äußern am Beispiel slowakischer Magnetit-

Lagerstätten TURANOVÁ und TURAN unmissverständlich im Gegensatz zu ihrem Mitautor (vgl. TURANOVÁ, TURAN & MORTEANI, 1996).

Weitere wesentliche Rückschlüsse über die Genese des Breitenauer Magnesites lassen sich außerdem aus den geologischen Befunden ableiten. Wie bereits typische Bildungen und Verwachsungen in der Lagerstätte dokumentieren (z. B. charakteristische „Magnesit-Sonnen“, Bändermagnesit mit Belastungsmarken bzw. „load casts“, scharf begrenzte Abfolgen von Dolomit- und Magnesitlagen bzw. -bänken), ist eine Entstehung des Magnesites durch Metasomatose, gerade auch im klassischen Sinne, also eine epigenetische Bildung durch ascendente hydrothermale oder metamorphogen-hydrothermale Lösungen, zudem noch kretazisch-tertiären oder kretazischen Alters, die durch Verdrängung eines Kalkes zu Magnesit führten, auszuschließen.

Unabhängig davon wären bei der klassischen hypothetischen Annahme einer metasomatischen Bildung der Spatmagnesit-Lagerstätten aus Kalkstein bzw. Karbonatsediment durch ascendente hydrothermale (ausgehend von PETRASCHECK, 1926, 1932) oder - neuerdings etwas modifiziert - metamorphogen-hydrothermale Lösungen (vgl. z. B. MORTEANI, SCHLEY & MÖLLER, 1982, 1983; MORTEANI 1989; MORTEANI & NEUGEBAUER 1990; BAU & MÖLLER, 1992; KRÁLIK, 1993; LUGLI et al., 2000, 2002) aus physiko-chemischen Gründen gewaltige Mengen an hydrothermalen Lösung mit Magnesium notwendig, um derartige Austauschprozesse einer „Mg-Metasomatose“ zu bewirken. Darüber hinaus hätten diese völlig hypothetischen Lösungen wie gerade das Beispiel des Spatmagnesites der Breitenau verdeutlicht, somit zwar mächtige Karbonatsedimente durchziehen müssen, ohne jedoch in diesen das sich massenhaft anbietende Karbonatsediment zu Magnesit zu metasomatieren, um dann ausgerechnet nur in jener Serie Karbonatsediment zu Magnesit zu metasomatieren, die durch einen auffallenden Mangel an Karbonatsediment gekennzeichnet ist. Damit wäre im krassen Gegensatz zu den physiko-chemischen Gesetzmäßigkeiten in den umgebenden, an Karbonatsedimenten reichen Serien eine Metasomatierung von Karbonatsediment zu Magnesit unterblieben, denn diese zeichnen sich durch eine völlige Abwesenheit von Magnesit aus. Zudem sind weder in der Breitenau noch in anderen Spatmagnesit-Lagerstätten der Ostalpen irgendwelche Zufuhr- und Abfuhrkanäle für die postulierten hypothetischen ascendente hydrothermalen Lösungen vorhanden oder bekannt, wären aber eine zwingend notwendige Voraussetzung.

Im Gegensatz zu dieser hypothetischen Deutung einer epigenetisch-metasomatischen Entstehung der ostalpinen Spatmagnesite durch ascendente hydrothermale oder metamorphogen-hydrothermale Lösungen wird neuerdings für dieselben Spatmagnesite der Ostalpen von PROCHASKA (1999, 2000, 2001) zwar ebenfalls eine epigenetisch-metasomatische Anlage verfochten, die jedoch auf descendente Lösungen, und zwar evaporitische, hochsalinare Restlösungen des permischen Haselgebirges zurückgeführt wird. Auch dieser Deutungsversuch

beruht auf einer einseitigen Interpretation und setzt sich ebenfalls völlig über die geologischen Gegebenheiten sowie über die in den Lagerstätten vorliegenden Gefügetypen hinweg. Dabei spezifiziert PROCHASKA (2001), dass die absteigenden, also descendenten evaporitischen, hochsalinaren Restlösungen des permischen Haselgebirges beim Auftreffen auf Karbonatsedimente im unterlagernden Paläozoikum und Altkristallin metasomatisch Spatmagnetit gebildet hätten, also die bekannten, in Rede stehenden Spatmagnetit-Lagerstätten der Ostalpen. Auch bei dieser Hypothese hätten demnach die metasomatierenden Lösungen, diesmal descendente evaporitische, hochsalinare Restlösungen des permischen Haselgebirges, ebenfalls entgegen den physiko-chemischen Gesetzmäßigkeiten, ohne die geringste Bildung von Magnetit Serien mit mächtigen Karbonatsedimenten durchzogen, um dann noch weiter in der Teufe, in der Breitenau - Vergleichbares gilt auch für Radenthein (Kärnten) im Altkristallin der Millstätter Alpe - in einer Serie, die durch einen auffallenden Mangel an Karbonatsediment gekennzeichnet ist, Spatmagnetit zu metasomatieren.

Darüber hinaus übersieht PROCHASKA (1999, 2000, 2001) außerdem u. a., dass hochsalinare Einschlüsse bzw. Poren- oder Formationswässer in Karbonatsedimenten nicht ohne weiteres beweisend für evaporitische Restlösungen sind, wie beispielsweise der Wettersteinkalk dokumentiert (vgl. z. B. SCHNEIDER, 1969; WOLTER & SCHNEIDER, 1983), sondern der primären marinen Sedimentation zuordenbar sind.

Auf „Metasomatose“ bzw. eine jüngere Verdrängung geht in der Breitenau lokal ein feinkörnig ausgebildeter, hellbraun anwitternder Magnetit (vgl. Abb. 28) zurück, der örtlich den Obersilur-Dolomit netzwerkartig entlang Rissen, Klüften und jungen Störungen verdrängt. Dieser sekundäre Magnetit ist auf eine jüngere, lokale Mobilisation von primärem Magnetit zurückzuführen.

Ein Schlüssel zum Verständnis der Spatmagnetit-Lagerstätte Breitenau – wie überhaupt der ostalpinen Spatmagnetit-Lagerstätten sowie anderer Erzmineralisationen – liegt in der Beachtung der geologischen Gegebenheiten und Sachverhalte. Dazu gehört auch die Berücksichtigung der Tatsache des schichtgebundenen – und obendrein zeitgebundenen - Auftretens in einem sedimentären Milieu mit den sich bereits daraus ergebenden Konsequenzen. Magnetit geht auf eine sedimentäre Spezialisierung innerhalb des ansonsten jeweils normalen marin-sedimentären bis marin-sedimentär-vulkanogenen Zykluses zurück, es liegt jeweils eine besondere sedimentäre Fazies vor.

Ein epigenetischer Deutungsversuch ist daher von vornherein zum Scheitern verurteilt und geht an den geologischen Gegebenheiten und Sachverhalten, wie sie auch in den Lagerstätten und vor Ort in den Grubenaufschlüssen angetroffen werden, völlig vorbei, ebenso am Mikrobau des Gefüges des Magnetites.

Kennzeichnend für die Magnetit-Lagerstätte Breitenau ist ihr typisches schicht- und zeitgebundenes Auftreten in einer obersilurischen Gesteinsserie, einer vulkanogen-sedimentären Abfolge mit einem ausgesprochenen Mangel an

Karbonatgestein bzw. Karbonatsedimenten. Wesentlich ist außerdem das Auftreten von Schwarzschiefern, die Magnesit-Lagerstätte liegt eingebettet in eine Schwarzschieferfazies. Der Magnesit wurde in situ durch diagenetische sowie postdiagenetische Prozesse und Veränderungen geprägt bzw. überprägt.

Mit einer Absenkung stehen vulkanische Einflüsse in Zusammenhang, die eine Auswirkung auf eine Bildung salinärer Lösungen haben können.

Die Magnesit-Lagerstätte zeigt dieselbe tektonische Beanspruchung bzw. die verschiedenen tektonischen Verformungsakte und die schwache Regionalmetamorphose wie die umgebende Laufnitzdorfer Gruppe, in welcher der Magnesit liegt und hat deren gesamte tektonische und metamorphe erdgeschichtliche Entwicklung durchlaufen.

Im Bereich der Lagerstätte ist nur eine sehr schwache Regionalmetamorphose ausgebildet, die dementsprechend nur zu einer sehr schwachen regionalmetamorphen Überprägung des Magnesites geführt hat. Dies wird u. a. auch durch die kohlige Substanz und deren „Vorgraphitierung“ (vgl. Abb. 19) dokumentiert. Ihr Auftreten im Magnesit lässt ersehen, dass die für eine Kristallisation von Graphit notwendigen Druck- und Temperatur-Bedingungen nicht erreicht worden sind, auch nicht jene, die zumindest eine Bildung von Anthrazit ermöglicht hätten.

Was die absolute zeitliche Einordnung der schwachen Regionalmetamorphose in der Breitenau anbelangt, so ist aus geochronologischen Untersuchungen im Grazer Paläozoikum bekannt, dass in den höchsten Anteilen offenbar noch die variszische Formung überwiegt (K/Ar-Mischalter), während aber in den tieferen Bereichen eine deutliche kretazische Metamorphose auftritt (vgl. FLÜGEL UND KOLLEGEN, 1980).

Die nur schwach ausgebildete Regionalmetamorphose im Bereich der Lagerstätte und die damit verbundene ebenfalls nur schwache regionalmetamorphe Überprägung des Magnesites lässt sich zeitlich genau einordnen. Weltweit erstmals durchgeführte Sm-Nd-Isotopenmessungen an Magnesit hatten ein radiometrisch bestimmtes Alter von im Mittel 225 ± 16 Ma für die untersuchten Magnesitproben aus der Lagerstätte Breitenau zum Ergebnis. Bereits im Jahre 2004 hatte eine Isochronenberechnung ein Alter von 214 ± 16 Ma ergeben, eine weitere für einen im Jahre 2005 durchgeführten zweiten Ansatz ergab einen Alterswert von 234 ± 25 Ma. Beide Ergebnisse waren jeweils den Kollegen in Österreich mitgeteilt und zugänglich gemacht worden. Das triadische Mineralalter des Magnesites ist auf eine spätere Umkristallisation bzw. die letzte thermische Überprägung („Metamorphosealter“) der obersilurischen Magnesit-Lagerstätte Breitenau zurückzuführen. Die in diesem Alpenteil in der Nachbarschaft ansonsten durchaus verbreitete kretazische Regionalmetamorphose (vgl. z. B. ESTERLUS, 1985; FLÜGEL et al., 1980; FRANK et al., 1987; HOINKES et al., 1999; RANTITSCH et al., 2005) hat somit offensichtlich die Magnesit-Lagerstätte Breitenau nicht mehr betroffen oder in dieser keine Auswirkungen mehr gehabt.

6. Schlussfolgerungen - Ausblick

Für einen Vergleich der Spatmagnetit-Lagerstätte Breitenau mit anderen Spatmagnetit-Lagerstätten der Ostalpen bietet sich die Lagerstätte Radenthein im Altkristallin der Millstätter Alpe (Kärnten) direkt an. Diese große Spatmagnetit-Lagerstätte repräsentiert weltweit die Typlokalität einer regionalmetamorph, sogar polymetamorph Spatmagnetit-Lagerstätte, die durch ihr Auftreten im Kristallin gekennzeichnet ist, obendrein in einer mächtigen polymetamorph Kristallinserie, dem Radentheiner Glimmerschiefer, der ausgeprägte Diaphthoresis zeigt. Ursprünglich handelt es sich um eine vulkanogen-sedimentäre (Geosynklinal-) Serie, die auffallenderweise wieder einen ausgesprochenen Mangel an Karbonatgestein aufweist, und ebenso auffallend tritt auch in Radenthein der Magnetit mit einer Schwarzschieferfazies auf.

Mit der Lagerstätte Breitenau im Obersilur des Grazer Paläozoikums liegt demnach eine nur schwach regionalmetamorph überprägte Spatmagnetit-Lagerstätte vom Typ Radenthein im Altkristallin der Millstätter Alpe (Kärnten) vor. Geht man dagegen aber von der Lagerstätte Breitenau aus, so stellt dann die Lagerstätte Radenthein eine stark metamorph überprägte bzw. sogar polymetamorph überprägte Spatmagnetit-Lagerstätte vom Typ Breitenau im Obersilur des Grazer Paläozoikums dar.

Danksagung

Für das große Interesse an dieser Untersuchung und die freundliche Diskussion sei den Herren Univ.-Prof. Dr. Franz Neubauer (Universität Salzburg), Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Frank (Universität Wien), wirkl. HR Univ.-Prof. Dr. Erich Schroll (Universität Wien), Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Schilka (Leiter Gewinnungsbetriebe GEOMIN Erzbergische Kalkwerke GmbH, Lengfeld/Sachsen), Univ.-Prof. Dr. Oskar Schulz (Universität Innsbruck), Univ.-Prof. Dr. Kurt Mengel, (Technische Universität Clausthal), Univ.-Prof. Dr. Volker Göbel (Stephen F. Austin State University, Nacogdoches, Texas), Direktor Dr. Wolfgang Baum (Process Technology Center, Freeport McMoRan Mining Company, Safford, Arizona) Univ.-Prof. Dr. Stefan Vogler (Phillips-Universität Marburg) und Dr. John McMin (Bamberg) gedankt. Für die Ermöglichung der radiometrischen Altersbestimmung gilt besonderer Dank Herrn Dr. Friedhelm Henjes-Kunst (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover). Besonderer Dank gilt auch Herrn Direktor Dkfm. Sigmund Riedlsperger (Veitsch Radex GmbH & Co.) für die freundliche Unterstützung bei der Untersuchung der Spatmagnetit-Lagerstätte Breitenau.

Literatur

- BAU, M. & MÖLLER, P. (1992): Rare Earth Element Fractionation in Metamorphogenic Hydrothermal Calcite, Magnesite and Siderite. – *Mineralogy and Petrology*, 45, 231 – 246.
- CERNY, I., EBNER, F., EICHHORN, R., FETTWEIS, G. B. L., FRANK, W., GÖD, R., GÖTZINGER, M. A., GRÄF, W., GÜNTHER, W., HÖLL, R., KIRCHNER, E. C., KÖPPEL, V., MALI, H., MELCHER, F., PAAR, W. H., PROCHASKA, W., RAITH, J. G., RANTITSCH, G., SACHSENHOFER, R. F., SCHROLL, E., SCHULZ, O., SEEMANN, R., SPIELER, A., STERK, G., TUFAR, W., VAVTAR, F., WEBER, L., & WEISS, A. (1997): In: WEBER, L. (Hrsg.): *Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs - Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1 : 500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe*. - Archiv für Lagerstättenforschung. Geologische Bundesanstalt Wien, ISSN 0253-097X, 19, 1 – 607.
- CERNY, I., EBNER, F., EICHHORN, R., FETTWEIS, G. B. L., FRANK, W., GÖD, R., GÖTZINGER, M. A., GRÄF, W., GÜNTHER, W., HÖLL, R., KIRCHNER, E. C., KÖPPEL, V., MALI, H., MELCHER, F., PAAR, W. H., PROCHASKA, W., RAITH, J. G., RANTITSCH, G., SACHSENHOFER, R. F., SCHROLL, E., SCHULZ, O., SEEMANN, R., SPIELER, A., STERK, G., TUFAR, W., VAVTAR, F., WEBER, L., & WEISS, A. (2000): In: WEBER, L. (Hrsg.): *CD-ROM Version der Metallogenetischen Karte Österreichs*. – Österreichische Akademie der Wissenschaften (Kommission für Grundlagen der Mineralrohstofforschung), Bergmännischer Verband Österreichs – Sektion Lagerstättenforschung, Geologische Bundesanstalt, Kansas Geological Survey, Wien – Lawrence (Kansas, USA).
- CLAR, E., CLOSS, A., HERITSCH, F., HOHL, O., KUNTSCHNIG, A., PETRASCHECK, W., SCHWINNER, R. & THURNER, A. (1929): Die geologische Karte der Hochlantschgruppe in Steiermark. – *Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark*, 64/65, 3 – 28, (Karte 1 : 25.000).
- CLAR, E. (1931): Die Gefügeregelung eines Bändermagnesites aus der Breitenau bei Mixnitz (Steiermark). – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt Wien*, 81, 387 – 401.
- ESTERLUS, M. (1985): *Kristallisationsgeschichte und Strukturprägung im Kristallin E des Grazer Paläozoikums*. – Dissertation Universität Graz, 205 Seiten.
- FLÜGEL, H. (1951): Das flächige und lineare Gefüge der Breitenauer Magnesitlagerstätte. - *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 96, H. 10, 205 – 209.
- FLÜGEL, H. (1961): Die Geologie des Grazer Berglandes (Erläuterungen zur Geologischen Wanderkarte des Grazer Berglandes 1 : 100.000). – *Mitteilungen des Museums für Bergbau, Geologie und Technik am Landesmuseum „Joanneum“ Graz*, 23, 1 – 212.
- FLÜGEL, H. W., MAURITSCH, H. J., HEINZ, H. & FRANK, W. (1980): Paläomagnetische und radiometrische Daten aus dem Grazer Paläozoikum. - *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft*, 71/72, 201 - 211.
- FRANK, W., KRALIK, M., SCHARBERT, S. & THÖNI, M. (1987): Geochronological Data from the Eastern Alps. – In: FLÜGEL, H. W. & FAUPL, P. (Hrsg.): *Geodynamics of the Eastern Alps*, 272 – 281, Verlag Deuticke, Wien.
- GOLLNER, H. (1983): *Die Geologie des Hochlantschstocks*. – Dissertation Universität Graz, 251 Seiten.
- GOLLNER, H. (1985): Die stratigraphische Stellung der Breitenauer Magnesitvorkommen. - *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 130, Heft 2, 45 – 50.

- GOLLNER, H., THALHAMMER, O., TSCHELAUT, W. & ZIER, Ch. (1985): Die Laufnitzdorf-Gruppe – eine pelagische Fazies im Grazer Paläozoikum. – Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines Steiermark, 112, 63 – 73.
- GOLLNER, J. & ZIER CH. (1985): Zur Geologie des Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 128, H. 1, 43 – 73.
- HOINKES, G., KOLLER, F., RANTITSCH, G., DACHS, E., HÖCK, V., NEUBAUER, F. & SCHUSTER, R. (1999): Alpine metamorphism of the Eastern Alps. – Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 79, Heft 1, The new metamorphic map of the Alps (Hrsg.: FREY, M., DESMONS, J. & NEUBAUER, F.), 155 – 181.
- KRALIK, C. (1993): Geochemische Untersuchungen an Magnesiten und Talken aus den Lagerstätten der Ostalpen. – Dissertation Universität Wien.
- MORTEANI, G. (1989): Mg-metasomatic type sparry magnesites of Entachen Alm, Hochfilzen/Bürgelkopf and Spießnägel (Austria). - Monograph Series on Mineral Deposits, 28, Magnesite - Geology, Mineralogy, Geochemistry, Formation of Mg-Carbonates (Hrsg.: P. MÖLLER), 105 - 114, Gebrüder Borntraeger, Berlin - Stuttgart.
- MORTEANI, G. & NEUGEBAUER H. (1990): Chemical and tectonic controls on the formation of sparry magnesite deposits – the deposits of the northern Greywacke Zone (Austria). – Geologische Rundschau, 79, Heft 2, 337 – 334.
- MORTEANI, G., SCHLEY, F. & MÖLLER P. (1982): The rare earth element content and the origin of sparry magnesite mineralizations of Tux-Lanersbach, Entachen Alm, Spießnägel and Hochfilzen, Austria, and the lacustrine magnesite deposits of Aiani-Kozani, Greece and Bela Stena, Yugoslavia. – Economic Geology, 77, 617 – 631.
- MORTEANI, G., SCHLEY, F. & MÖLLER P. (1983): On the formation of magnesite. – In: SCHNEIDER, H.-J. (Herausgeber): Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe, Proceedings of the IV. ISMIDA Berchtesgaden, October 4 - 10, 1981, Special Publication No. 3 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits, 97 – 104, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo.
- LUGLI, S., TORRES-RUIZ, J., GARUTI, G. & OLMEDO F. (2000): Petrography and Geochemistry of the Eugui Magnesite Deposit (Western Pyrenees, Spain): Evidence for the Development of a Peculiar Zebra Banding by Dolomite Replacement. – Economic Geology, 95, 1775 – 1791.
- LUGLI, S., MORTEANI, G. & BLAMART, D. (2002): Petrographic, REE, fluid inclusion and stable isotope study of magnesite from the Upper Triassic Burano Evaporites (Secchia Valley, northern Apennines): contributions from sedimentary, hydrothermal and metasomatic sources. – Mineralium Deposita, 37, 480 – 494.
- PETRASCHECK, W. (1926): Metallogenetische Zonen in den Ostalpen. – Comptes rendus XIV, Congrès Geol. Int. Madrid, 1 -13.
- PETRASCHECK, W. (1932): Die Magnesite und Siderite der Alpen. Vergleichende Lagerstättenstudien. – Sitzungsberichte Akademie der Wissenschaften Wien, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abteilung I, 141, 195 – 242.
- PROCHASKA, W. (1999): Die Bedeutung der chemischen Zusammensetzung von Einschlußfluiden und laugbaren Salzen für die Genese von hydrothermalen und sedimentären Karbonatgesteinen in den Ostalpen. – Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, 90, 175 – 183.
- PROCHASKA, W. (2000): Siderite and magnesite mineralizations formed during rifting of the Alpine cycle. – In: EBNER, F., CERNY, I., EICHHORN, R., GÖTZINGER, M., PAAR, W. H., PROCHASKA, W. & WEBER, L.: Mineral Resources in the Eastern Alps and Adjoining Areas. - Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, 92, 157 – 184.

- PROCHASKA, W. (2001): Magnesite mineralization of the Eastern Alps and the Carpathians. – In: PIETRZYŃSKI et al. (Herausgeber): Mineral deposits at the Beginning of the 21st Century, ISBN 90 2651 846 3, Swets & Zeitlinger Publishers Lisse, 1017 – 1019,
- RANTITSCH, G., SACHSENHOFER, R. F., HASENHÜTTL, CH., RUSSEGGGER, B. & RAINER, TH. (2005): Thermal evolution of an extensional detachment as constrained by organic metamorphic data and thermal modeling: Graz Paleozoic Nappe Complex (Eastern Alps). – *Tectonophysics*, 411, 57 – 72.
- SCHNEIDER, H.-J. (1969): The influence of connate water on ore mobilization of lead-zinc-deposits in carbonate sediments. – In: ZUFFARDI, P.: Remobilization of ores and minerals, 314 – 322, Mulass, Cagliari.
- SCHROLL, E. (2002): Genesis of magnesite deposits in the view of isotope geochemistry. – *Boletim Paranaense de Geociências*, 50, 59 - 68, Editora UFPR.
- SIEGL, W. (1955): Zur Entstehung schichtiger und strahliger Spatmagnesite. - *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 100, Heft X, 79 – 84.
- TOLLMANN, A. (1977): *Geologie von Österreich, Band I: Die Zentralalpen* – Verlag Franz Deuticke Wien, 766 Seiten.
- TUFAR, W. (1972): Zur Blei-Zink-Vererzung des Grazer Paläozoikums. - *Joanneum, Mineralogisches Mitteilungsblatt*, 1972, H. 2, 64 - 75 (256 - 267).
- TUFAR, W. (1981): Die Vererzung der Ostalpen und Vergleiche mit Typlokalitäten anderer Orogengebiete. - *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft*, 74/75, Jg. 1981/82, Eduard Sueß-Gedenkband, 265 - 306.
- TUFAR, W. (2004): Heiße Erzquellen am Meeresgrund – Auch in der Steiermark? – In: *Schwarze Raucher – Erze und Fauna aus ozeanischen Tiefen, Begleitpublikation zur Ausstellung „Schwarze Raucher – Erze und Fauna aus ozeanischen Tiefen“*, Hrsg.: Landesmuseum Joanneum, Mineralogie, ISBN 3-902095-01-6, 51 – 56.
- TUFAR, W., GIEB, J., SCHMIDT, R., MÖLLER, P., PÖHL, W., RIEDLER H. & A. OLSACHER (1989): Formation of magnesite in the Radenthein (Carinthia/Austria) type locality. - *Monograph Series on Mineral Deposits*, 28, Magnesite - Geology, Mineralogy, Geochemistry, Formation of Mg-Carbonates (Hrsg.: P. MÖLLER), 135 - 171, Gebrüder Borntraeger, Berlin - Stuttgart.
- TUFAR, W., SIEWERS, U. & WEBER, CH. (2001): Die Spatmagnetit-Lagerstätte Breitenau (Steiermark), eine paläozoische Magnetit-Mineralisation aus dem Grazer Paläozoikum. – *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, 146, MinPet 2001, Anniversary Meeting Österreichische Mineralogische Gesellschaft (ÖMG) 1901 – 2001, 292 – 294.
- TUFAR, W., SIEWERS, U. & WEBER, CH. (2002): The Breitenau Sparry Magnesite Deposit (Styria, Austria), a Paleozoic Magnesite Mineralization in the Graz Paleozoic of the Eastern Alps. – *Geologica Carpathica*, 53, Special Issue, Proceedings of the XVII. Congress of Carpathian-Balkan Geological Association, Electronic Release (CD-ROM), Bratislava.
- TURANOVÁ, L., TURAN, J. & MORTEANI, G. (1996): Isotopic evidence and REE contents of the Slovak magnesite deposits (Western Carpathians). – In: GRECULA, P. (Hrsg.): Variscan metallogeny in the Alpine orogenic belt. – *Mineralia Slovaca-Monography*, Bratislava, 293 – 306.
- WEBER, CH & PRISSANG, R. (1996): Geostatistische Qualitätssteuerung im Bergbau Breitenau der Veitsch-Radex AG.- *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 141, Heft 6, 234 – 247.

- WEBER, L. et al.(1997): 2.4.2.7.4.1. Magnesitbezirk Grazer Paläozoikum. – In: WEBER, L (Hrsg.): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs - Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1 : 500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe. - Archiv für Lagerstättenforschung, Geologische Bundesanstalt Wien, A., ISSN 0253-097X, ISBN 3-900312-98-2, 19, 345.
- WOLTER, R. & SCHNEIDER, H.-J. (1983): Saline Relics of Formation Water in the Wettersteinkalk and Their Genetical Connection with the Pb-Zn Mineralization. -In: SCHNEIDER, H.-J. (Hrsg.): Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe, Proceedings of the IV. ISMIDA Berchtesgaden, October 4 - 10, 1981, Special Publication No. 3 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits, 223 – 230, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo.
- ZSCHUCKE, W. (1956): Die Magnesitlagerstätten von Breitenau bei Mixnitz, Steiermark. – Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 101, Heft 1, 1 – 12.

Anschrift der Verfasser

Univ.-Prof. Dr. Werner Tufar
Fachbereich Geowissenschaften der Philipps-Universität Marburg
Hans-Meerwein-Straße
D – 35032 Marburg
Privatadresse:
Bogenweg 18
D – 35096 Weimar-Roth (Hessen)
Deutschland
e-Mail: WernerTufar@hotmail.com
tufarw@staff.uni-marburg.de

Dr. Ulrich Siewers
Strandtorp 2060
S – 380 74 Löttorp
Schweden
e-Mail: swsse@web.de

Betriebsleiter Dipl.-Ing. Christian Weber
Am Leitnergrund 15
A – 8614 Breitenau am Hochlantsch
Österreich
e-Mail: weber_christian@aon.at

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung von Bändermagnetit

TUF 98 /	18 – 1 Dunkle Lagen	18 – 2 Helle Lagen	20 – 1 Dunkle Lagen	20 – 2 Helle Lagen
(Analytik: RFA)				
		Gew. - %		
SiO ₂	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,16
TiO ₂	0,005	0,005	0,009	0,004
Al ₂ O ₃	0,09	0,07	0,15	0,06
Fe ₂ O ₃ *)	2,38	2,51	2,67	2,54
MnO	0,201	0,230	0,296	0,297
MgO	44,95	45,05	44,67	44,61
CaO	0,60	0,41	0,62	0,54
Na ₂ O	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
K ₂ O	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
P ₂ O ₅	0,021	0,012	0,012	0,003
(SO ₃)	0,21	0,10	0,13	0,11
(Cl)	0,002	0,007	0,007	0,006
(F)	< 0,020	< 0,020	< 0,020	0,068
Glühverlust	51,48	51,50	51,27	51,56
Summe	99,94	99,89	99,83	99,96

*) Gesamteisen als Fe₂O₃

Tabelle 1 (Fortsetzung): Chemische Zusammensetzung von Bändermagnetit

TUF 98 /	18 – 1 Dunkle Lagen	18 – 2 Helle Lagen	20 – 1 Dunkle Lagen	20 – 2 Helle Lagen
(Analytik: RFA)				
		g/t (ppm)		
(As)	< 2	< 2	< 2	< 2
Ba	14	12	13	15
Bi	< 3	< 3	< 3	< 3
Ce	< 20	< 20	< 20	< 20
Co	< 3	< 3	< 3	< 3
Cr	< 3	< 3	< 3	< 3
Cs	< 5	< 5	< 5	< 5
Cu	< 10	< 10	< 10	< 10
Ga	< 3	< 3	< 3	< 3
Hf	< 5	< 5	< 5	< 5
La	< 20	< 20	< 20	< 20
Mo	< 2	< 2	< 2	< 2
Nb	2	3	3	< 2

Tabelle 1 (Fortsetzung): Chemische Zusammensetzung von Bändermagnetit

TUF 98 /	18 – 1 Dunkle Lagen	18 – 2 Helle Lagen	20 – 1 Dunkle Lagen	20 – 2 Helle Lagen
(Analytik: RFA)				
		g/t (ppm)		
Ni	< 3	< 3	< 3	< 3
Pb	< 4	< 4	< 4	< 4
Rb	< 2	< 2	3	< 2
Sb	< 5	< 5	< 5	< 5
Sc	< 2	< 2	< 2	< 2
Sn	< 2	< 2	< 2	< 2
Sr	3	< 2	9	10
Ta	< 5	< 5	< 5	< 5
Th	< 5	< 5	6	< 5
U	< 3	< 3	< 3	< 3
V	12	8	< 5	< 5
W	< 5	9	< 5	6
Y	6	6	7	8
Zn	6	8	3	4
Zr	< 3	< 3	< 3	< 3

Tabelle 1 (Fortsetzung): Chemische Zusammensetzung von Bändermagnetit

TUF 98 /	18 – 1 Dunkle Lagen	18 – 2 Helle Lagen	20 – 1 Dunkle Lagen	20 – 2 Helle Lagen
(Analytik: ICP-MS)				
		g/t (ppm)		
Li	2,0	1,7	5,2	0,6
(Mn)	1940	2320	2600	2750
Mo	0,19	0,11	0,24	0,091
Nb	0,17	0,08	0,26	0,04
Ni	9,23	8,24	6,01	3,89
Pb	0,43	0,24	1,92	0,20
Rb	0,24	0,16	0,11	0,05
Sb	0,06	0,04	0,07	0,03
Sc	0,24	0,21	0,39	0,33
(Se)	0,16	0,11	0,23	0,14
Sn	0,031	0,061	0,094	0,058
(Sr)	6	4	13	14
Ta	0,095	0,11	0,11	0,069
(Te)	0,07	0,05	0,04	0,04
Th	0,21	0,11	0,85	0,083
(Ti)	14,6	11,9	38,3	7,2
Tl	0,008	0,006	0,008	0,006
U	0,27	0,16	0,75	0,10
V	14,2	10,9	1,6	1,2
W	0,055	0,056	0,092	0,042
Zn	3,6	4,7	3,8	3,8
(Zr)	1,05	0,45	1,58	0,15

Tabelle 1 (Fortsetzung): Chemische Zusammensetzung von Bändermagnetit

TUF 98 /	18 – 1 Dunkle Lagen	18 – 2 Helle Lagen	20 – 1 Dunkle Lagen	20 – 2 Helle Lagen
(Analytik: ICP-MS)				
		g/t (ppm)		
Y	7,01	5,88	9,23	7,10
La	11,2	2,48	9,66	0,46
Ce	10,5	2,82	8,96	0,80
Pr	1,40	0,40	1,32	0,19
Nd	4,69	1,62	4,83	1,15
Sm	0,64	0,40	0,76	0,43
Eu	0,14	0,11	0,16	0,11
Gd	0,74	0,58	0,82	0,59
Tb	0,11	0,094	0,13	0,10
Dy	0,66	0,59	0,89	0,69
Ho	0,14	0,13	0,21	0,15
Er	0,41	0,39	0,64	0,46
Tm	0,053	0,052	0,084	0,064
Yb	0,29	0,32	0,52	0,40
Lu	0,046	0,049	0,076	0,058
Summe SEE exklusive Y	31,019	10,035	29,06	5,652

Tabelle 2 (Fortsetzung): Chemische Zusammensetzung von Magnesit einer „Magnesit-Sonne“ (Substrat, Graue Tapeten – Zement I, Weiße Tapeten – Zement II)

TUF 98 / Fortsetzung	46 – 3 Substrat	46 – 2 Zement I	46 a – 1 Zement I	46 – 1 Zement II	46 a – 2 Zement II
(Analytik: RFA)					
		g/t (ppm)			
Ni	13	< 3	< 3	< 3	< 3
Pb	6	< 4	< 4	< 4	< 4
Rb	< 2	11	< 2	< 2	< 2
Sb	< 5	< 5	< 5	6	< 5
Sc	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Sn	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Sr	422	12	305	40	6
Ta	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Th	< 5	6	< 5	< 5	< 5
U	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
V	6	6	< 5	6	6
W	< 5	< 5	7	< 5	< 5
Y	5	< 3	6	4	5
Zn	7	4	10	3	6
Zr	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3

Tabelle 2 (Fortsetzung): Chemische Zusammensetzung von Magnesit einer „Magnesit-Sonne“
(Substrat, Graue Tapeten – Zement I, Weiße Tapeten – Zement II)

TUF 98 / Fortsetzung	46 – 3 Substrat	46 – 2 Zement I	46 a – 1 Zement I	46 – 1 Zement II	46 a – 2 Zement II
(Analytik: ICP-MS)		g/t (ppm)			
Ag	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
(As)	2,73	0,16	0,12	6,28	0,16
(B)	6	< 1	< 1	1	1
Ba	13,1	2,75	3,51	2,65	1,86
Be	0,09	0,07	0,03	0,03	0,05
Bi	0,028	0,024	0,008	< 0,005	0,024
Cd	0,012	< 0,005	0,006	< 0,005	0,005
Co	4,61	0,25	0,37	0,27	0,19
Cr	7,55	6,00	6,34	6,07	5,82
Cs	0,28	0,025	0,048	0,019	0,013
Cu	1,27	0,92	0,71	0,52	0,74
Ga	1,01	0,15	0,16	0,11	0,14
(Ge)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Hf	0,21	0,011	0,020	0,005	0,052
(Hg)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
In	0,01	0,012	0,013	0,012	0,015

Tabelle 2 (Fortsetzung): Chemische Zusammensetzung von Magnesit einer „Magnesit-Sonne“
(Substrat, Graue Tapeten – Zement I, Weiße Tapeten – Zement II)

TUF 98 / Fortsetzung	46 – 3 Substrat	46 – 2 Zement I	46 a – 1 Zement I	46 – 1 Zement II	46 a – 2 Zement II
(Analytik: ICP-MS)					
		g/t (ppm)			
Y	4,19	3,87	3,53	3,55	3,35
La	3,92	0,38	0,40	0,057	0,04
Ce	4,13	0,45	0,40	0,16	0,082
Pr	0,59	0,068	0,069	0,036	0,021
Nd	2,23	0,31	0,32	0,23	0,12
Sm	0,36	0,14	0,15	0,14	0,11
Eu	0,092	0,059	0,057	0,056	0,043
Gd	0,53	0,34	0,32	0,31	0,27
Tb	0,078	0,059	0,054	0,053	0,050
Dy	0,47	0,36	0,35	0,37	0,32
Ho	0,095	0,079	0,070	0,074	0,070
Er	0,26	0,22	0,21	0,19	0,20
Tm	0,032	0,028	0,027	0,024	0,026
Yb	0,20	0,16	0,15	0,14	0,14
Lu	0,028	0,023	0,023	0,022	0,023
Summe SEE exklusive Y	13,015	2,676	2,60	1,862	1,515



Abbildung 1: Blick von NE gegen SW mit der Spatmagnetit-Lagerstätte Breitenau (oberer Bereich des Tagbaus) und dem Nordabfall des Hochlantsch mit den Lantschmauern. Vom Bergbau (Abbaustand 1999) sind die oberen Etagen des Tagbaus zu erkennen, mit dem liegenden Spatmagnetit-Erzkörper (rechtes Drittel des Tagbau-Bereiches, helle Bereiche, pyramidenähnliche „Magnesit-Burg“ auf Etage III), überlagert vom hangenden Metatuffit (oberhalb Magnesit rechts gegen Wald) und kohlenstoffreichen, phyllitischen Schwarzen Schiefer (links), die alle der Hackensteinerformation angehören. Im Hangenden (linker, oberer Bereich des Tagbaues bis zum Waldrand) folgt ein mächtigerer, dunkler Kalkschiefer, der bereits der Koglerformation angehört. Weitere Schichtglieder der Koglerformation lassen in der Abbildung keine Aufschlüsse erkennen und sind vorherrschend durch Wald bedeckt, ebenso die überlagernden Sedimente der Harrbergerformation, des Zachenspitzkalks und Steinbergkalks. Reichlich Aufschlüsse dagegen zeigt der hangendste Bereich mit dem mächtigen Komplex des Hochlantschkalks.

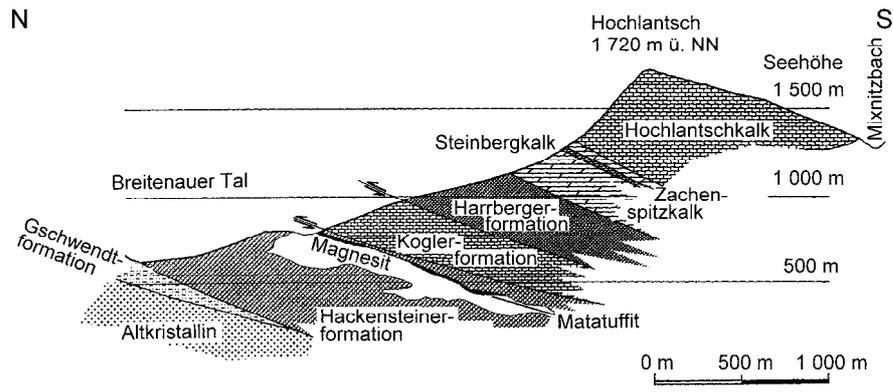


Abbildung 2: Geologisches Profil durch die Spatmagnetit-Lagerstätte Breitenau. Geologische Grundlage nach J. GOLLNER UND CH. ZIER (1985), ergänzt. Koglerformation der „Kalkschieferfolge“: Bänderkalk; Gschwendtformation der „Kalkschieferfolge“: Schuttalk; Tonsandstein, Kalkiger Schiefer; Harrbergerformation der Laufnitzdorfer Gruppe: Tonsandstein, Lydit, Metatuffit, Kalk; Hackensteinerformation der Laufnitzdorfer Gruppe: Metavulkanit, Tonsandstein, Tonstein, Kalk.

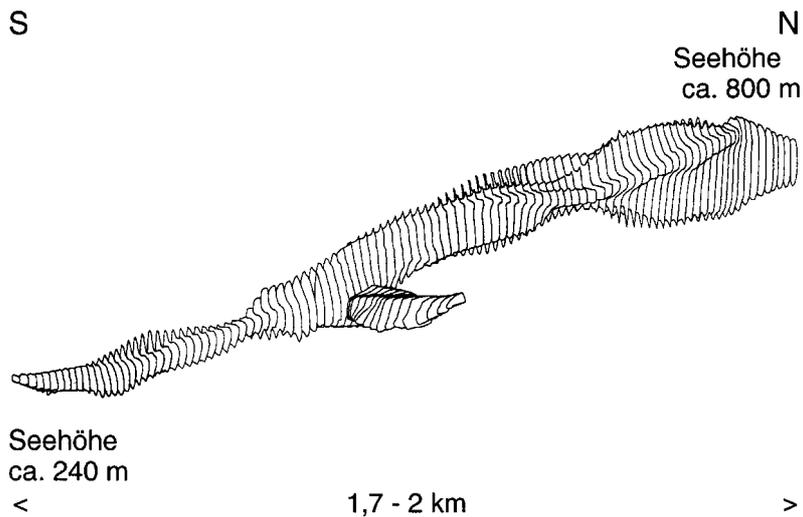


Abbildung 3: Räumliche Darstellung der Spatmagnetit-Lagerstätte Breitenau von E nach CH. WEBER & R. PRISSANG (1996).



Abbildungen 4 a & b: Magnesit-Bergbau Breitenau am Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark), Tagbau (Abbaustand 1998), Abb. 4 a (oben): Etage I (Mitte oberer Bildrand) bis Etage VI (tiefste Etage, Mundlöcher: Zufahrt zum Tiefbau, Horizont VI). Etage II mit 3 markanten Mundlöchern, Etage V wird durch eine Buschreihe markiert (rechts unterhalb Bildmitte gegen rechten Bildrand, etwas nach unten verlaufend), Abb. 4 b (unten): Etage II (Mundloch, rechter, oberer Bildrand) bis Etage V (tiefste Etage). Übersicht gegen Norden über das im Tagbau aufgeschlossene Magnesit-Lager mit Übergang in den Tiefbau (Etage VI, Mundlöcher, Zufahrt zu Horizont VI). Im westlichen Bereich findet sich Dolomit (in Abb. 4 a: linke Bildhälfte, in Abb. 4 b: rechtes Bilddrittel) eingeschaltet, mit scharf ausgebildeter Grenze zwischen Magnesit und Dolomit.



Abbildung 5: Magnesit-Bergbau Breitenau am Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark), Tagbau (Abbaustand 1998), mit vom Liegenden zum Hangenden: Etage VI (linke, untere Bildecke, Übergang in den Tiefbau - Mundlöcher, Radlader, Planierraupe), Rampe, Etage V, Rampe, Etage IV, Etage III (waagrecht durch Bildmitte verlaufend, mit größerer Fläche links oberhalb Bildmitte gegen linken Bildrand, auf dieser rechts oberhalb Bildmitte ein LKW nahe am Magnesit), Etage II, Rampe, Etage I (auf dieser am rechten, oberen Bildrand, ein wenig orangeroter Versatz, ein Nebenprodukt aus der Verarbeitung von Serpentin aus Kraubath), Rampe, Halbetage, Rampe, Etage I a, Halbetage, Etage I b (z. T. markante Buschreihe auf rechter Seite), Halbetage, gefolgt von Buschwerk und Jungwald (Mitte oberer Bildrand). Die einzelnen Etagen und Halbetagen verlaufen jeweils etwa waagrecht. Übersicht gegen Süden über das im Tagbau aufgeschlossene, stellenweise tektonisch gestörte Magnesit-Lager im Liegenden (von tiefster Etage VI bis Etage II, rechts, oberhalb Bildmitte bis rechter Bildrand). Das Hangende des Magnesit-Lagers bildet ein kohlenstoffreicher phyllitischer Schiefer (ab Etage III, links von Magnesit), der ebenso wie der Magnesit zur Hackensteinerformation der Laufnitzdorfer Gruppe gehört. Darüber folgt im Hangenden ein bereits zur Koglerformation gehörender dunkler Kalkschiefer (oberes Bilddrittel, etwa ab Etage I bis zur obersten Etage).



Abbildung 6: Magnesit-Bergbau Breitenau am Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark), Tiefbau, Revier VI, Richtstrecke, Seehöhe ca. 294 m. Hangender Bereich des Magnesit-Lagers, im Liegenden des hangenden, kohlenstoffreichen, phyllitischen Schwarzen Schiefers, mit sedimentärer Abfolge von teilweise Bitumen bzw. Kohlenstoff führenden Karbonat-Bänken mit scharfer Grenze zwischen Dolomit im Liegenden und Magnesit im Hangenden. Liegendes bildet die „Rote Bank“ (hier durch flächige Tonfilme bis Tonschleier ein eher plattig entwickelter Dolomit mit zartrötlichen Fasern), darüber schließt eine Dolomit-Bank mit stellenweise weißen Schlieren an, gefolgt von einer weißfleckigen Dolomit-Bank. Auf diese folgen mit scharfer Grenze Magnesitbänke (oberhalb Hammerspitze) unterschiedlicher Ausbildung (pinolitisch bzw. pinolitähnlich, bänderig, spätig körnig). Sowohl Dolomit-, als auch Magnesit-Bänke werden stellenweise durch geringmächtige, öfters kohlenstoffreiche, z. T. Karbonat (Dolomit bei Dolomitbänken, Magnesit bei Magnesitbänken) führende, phyllitisch-tonschieferige Zwischenmittel scharf getrennt. Darüber hinaus können sich in einigen Bänken flächige Tonfilme finden. Ein kohlenstoffreiches phyllitisch-tonschieferiges Zwischenmittel mit etwas Dolomit (unterhalb Hammer) führt im Hangendbereich eine massive Pyritlage.

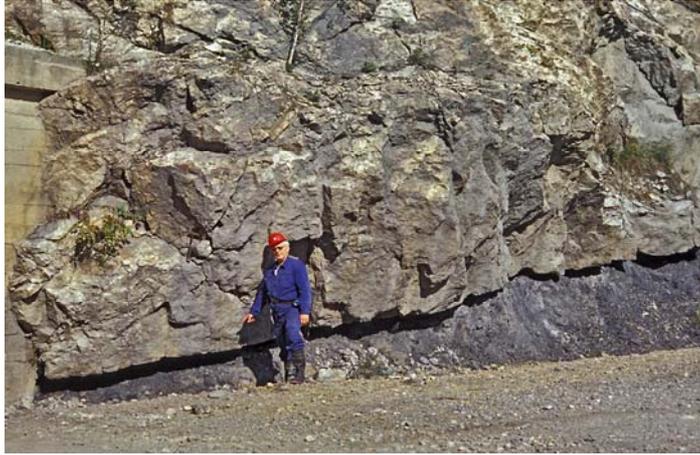


Abbildung 7: Magnesit-Bergbau Breitenau am Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark), Tagbau, Etage VIII, nahe Stollenmundloch (750 m Seehöhe, linker Bildrand) der Rampe zum Tiefbau. Tektonisch überarbeiteter Kontakt des hangenden Magnesitkörpers mit dem kohlenstoffreichen Schiefer im Liegenden.



Abbildung 8: Magnesit-Bergbau Breitenau am Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark), Tiefbau, Revier III Süd 2, Bau 314, Fenster 9. Bändermagnesit mit ausgezeichnet entwickelter rhythmischer Wechselfolge von zumeist feineren, hellen und dunklen Magnesitlagen.



Abbildung 9: Magnesit-Bergbau Breitenau am Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark), Tiefbau, Revier III Süd 2, Bau 312 auf 314, Fenster 7, linker Ulm. Detail aus Bändermagnesit mit ausgezeichnet entwickelter rhythmischer Bänderung von zumeist feinen hellen und dagegen etwas feineren dunklen Magnesitlagen (Straten). Die dunkleren Lagen weisen Brucherscheinungen auf und lassen stellenweise Anlösung und Auflösung erkennen. An einer Stelle (rechter oberer Bildrand) ist ein Bruchstück einer eingebrochenen dunklen Magnesitlage deutlich in die unterlagernden, zum damaligen Zeitpunkt noch unverfestigten, plastischen, rhythmischen Magnesit-Wechselfolgen eingedrückt („Belastungsmarke“, „load cast“).



Abbildungen 10 a & b: Magnesit-Bergbau Breitenau am Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark), Tiefbau, Revier III Süd 2, Bau 334, Fenster 14 auf 15, linker Ulm. Feinerer Bändermagnesit mit Ausschnitt aus typischer rhythmischer Wechselfolge („ss“ waagrecht verlaufend) von feinkörnigen und grobkörnigen Magnesitlagen. Die feinkörnigen Magnesitlagen (linker und rechter Bildrand, gleichzeitig Liegend und Hangend) weisen kohlige Substanz und ein wenig Pyrit (beide schwarz, in Abbildung nicht zu unterscheiden) als Verunreinigung auf, die sich meist als Intergranularfilme oder Zwickelfüllung finden. Dagegen ist die Lage mit grobkörnigem Magnesit (Bildmitte) fast rein und enthält nur sehr untergeordnet Einschlüsse anderer Mineralien bzw. von kohligter Substanz und ein wenig Pyrit. Deutlich lässt der grobkörnige Magnesit dieser Lage orientiertes Wachstum sowie postkristalline Deformation (undulöses Auslöschen!) erkennen. Dünnschliff, Bildlängskante: 3,25 mm, Abb. 10 a (links): 1 Polarisator, Abb. 10 b (rechts): Polarisatoren +.



Abbildung 11: Magnesit-Bergbau Breitenau am Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark), Tiefbau, Revier III Süd 2, Bau 323 a, Fenster 14 auf 15, linker Ulm. Größerer Ausschnitt aus grobrhythmischer Wechselfolge von Bändermagnesit, aufgebaut aus geringer mächtigen, dunklen, feinkörnigen, Kohlenstoff führenden Lagen von Magnesit und dagegen mächtigeren, z.T. grobbankingigen Lagen von hellem, grobkörnigem Spatmagnesit. Untergeordnet liegen auch feintrhythmische Abfolgen vor. Stellenweise liegt eine Bildung von „Magnesit-Sonnen“, eine Magnesit-Kristallisation in einen freien Hohlraum, vor (links unterhalb Bildmitte): Dunkle, feinkörnige Magnesitlagen werden als Substrat angelöst und zeigen aufgewachsen, zumeist gegen das Liegende, hellgrauen, langgestreckten, sehr groben Spatmagnesit („Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ - 1. Generation Zement) als freie Hohlraumfüllung, gefolgt von einem weißen, langgestreckten, sehr groben Spatmagnesit („Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ - 2. Generation Zement) als weitere freie Hohlraumfüllung. Auf diesen kann örtlich als abschließende Hohlraumfüllung grobspätiger Dolomit („Rosszahn-Dolomit“ - 3. Generation Zement, in Abbildung nicht erkennbar) folgen. Störungen, z. T. mit Versatz, durchschlagen den Bändermagnesit (Störungsschar in rechter, mehr oberer Bildhälfte, im Bereich Hammer: 130/56, wird abgeschnitten von Störung 307/45, 337/65 an rechter untere Bildecke; Störungsschar in linker, mehr unterer Bildhälfte, von Bildmitte gegen linken Bildrand: 35/55, 30/61, 20/58).



Abbildung 12: Magnesit-Bergbau Breitenau am Hochlantsch, Tiefbau, Revier III Süd 2, Bau 323 a, Fenster 14 auf 15, linker Ulm. Detail aus Abbildung 11 mit rhythmischer Wechselfolge von Bändermagnesit, aufgebaut aus dunklen, feinkörnigen, Kohlenstoff und etwas Pyrit führenden Lagen von Magnesit und dagegen wesentlich mächtigeren, z. T. grobbankingenen Lagen von hellem, grobkörnigem Spatmagnesit. Stellenweise ist deutlich die Bildung von „Magnesit-Sonnen“, eine Magnesit-Kristallisation in einen freien Hohlraum, zu erkennen: Dunkle, feinkörnige Magnesitlagen werden als Substrat angelöst und zeigen strahlig aufgewachsen, zumeist gegen das Liegende, hellgrauen, langgestreckten, sehr groben Spatmagnesit, der in den freien Hohlraum wächst („Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ - 1. Generation Zement). Auf diesen folgt weißer, ebenfalls langgestreckter und sehr grober Spatmagnesit, der in den freien Hohlraum weiterwächst („Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ - 2. Generation Zement). Auf diesen folgt gelegentlich als abschließende bzw. Resthohlraumfüllung grobspätiger, weißer Dolomit („Rosszahn-Dolomit“ - 3. Generation Zement, z. B. linke, obere Bildecke oder rechts von Bildmitte).



Abbildungen 13 a & b: Magnesit-Bergbau Breitenau am Hochlantsch, Tiefbau, Revier III Süd 2, Bau 334, Fenster 14/15, linker Ulm. „Magnesit-Sonnen“ - Magnesit-Kristallisation in einen freien Hohlraum: Bruchstücke von feinkörnigen, dunklen, zerbrochenen Magnesit-Bänken werden als Substrat angelöst und weisen radialstrahlige Aufwachsung in den freien Hohlraum hinein von einem hellgrauen, langgestreckten, sehr groben Spatmagnesit („Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ - 1. Generation Zement) auf, teilweise auch in das feinkörnige Magnesit-Substrat hinein (Wachstum nach zwei Richtungen). Die hellgrauen „Spatmagnesit-Tapeten“ bzw. „Spatmagnesit-Palisaden“ (1. Generation Zement) werden ihrerseits gefolgt und umwachsen von einem weißen, ebenfalls langgestreckten, sehr grobspätigen Magnesit („Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ - 2. Generation Zement, Ausfüllung von Negativformen bzw. Hohlräumen), der weiter in den freien Hohlraum hineinwächst. Auf diesen folgt örtlich außerdem noch sehr grobspätiger Dolomit („Roßzahn-Dolomit“ – 3. Generation Zement; Abb. 13 a (oben) z. B. gegen unteren Bildrand, links von Bildmitte sowie linke untere Bildecke; Abb. 13 b (unten) z. B. unterer Bildrand, links von Bildmitte – jeweils in Abb. nur schwer zu erkennen) als weitere Hohlraumfüllung und Resthohlraumfüllung. In einem Bruchstück einer feinkörnigen Magnesit-Bank (Bildmitte) finden sich aufgesprosst größere Kristallaggregate von weißem Magnesit (2. Generation Zement).



Abbildung 14: Magnesit-Bergbau Breitenau am Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark), Tiefbau, Revier III Süd 2, Bau 323 a, Fenster 14 auf 15, linker Ulm gegen E. „Magnesit-Sonne“ - Magnesit-Kristallisation in einen freien Hohlraum. Eine von zwei Seiten, unter 90°, angeschnittene und polierte „Magnesit-Sonne“ vermittelt deutlich die räumliche Anordnung der in den freien Hohlraum gewachsenen Magnesit-Zemente: Bruchstück einer dunklen, feinkörnigen, Kohlenstoff führenden, zerbrochenen Lage bzw. Bank von Magnesit wird als Substrat angelöst und weist radialstrahlig aufgewachsen, hellgrauen, langgestreckten, sehr groben Spatmagnesit auf, der in den freien Hohlraum wächst („Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ - 1. Generation Zement) und Wachstum nach zwei Richtungen erkennen lässt. Auf diesen hellgrauen Spatmagnesit folgt ein weißer, ebenfalls langgestreckter, sehr grober Spatmagnesit, der in den freien Hohlraum weiterwächst („Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ - 2. Generation Zement). Stellenweise sprosst der weiße Spatmagnesit (2. Generation Zement) auch im zerbrochenen, dunklen, feinkörnigen Magnesit-Substrat auf.



Abbildung 15: Magnesit-Bergbau Breitenau (Steiermark), Tiefbau, Revier III Süd 2, Bau 334, Fenster 14 auf 15, linker Ulm. Detail aus „Magnesit-Sonne“ - Magnesit-Kristallisation in einen freien Hohlraum: Bruchstücke einer dunklen, feinkörnigen, Kohlenstoff führenden Lage bzw. Bank von Magnesit werden als Substrat deutlich angelöst, zeigen eine 2 - 3 mm mächtige Anlösungszone, ausgefüllt mit Magnesit, darauf aufgewachsen, radialstrahlig angeordnet, hellgrauer, langgestreckter, sehr grober Spatmagnesit, der in den freien Hohlraum wächst („Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ - 1. Generation Zement). Darauf folgt weißer, wieder langgestreckter, sehr grober Spatmagnesit, der in den freien Hohlraum weiterwächst („Magnesit-Tapeten“ bzw. „Magnesit-Palisaden“ - 2. Generation Zement). Teilweise verdrängen diese jüngeren, weißen Spatmagnesit-Tapeten bzw. Spatmagnesit-Palisaden (2. Generation Zement) auch die älteren, hellgrauen Spatmagnesit-Tapeten bzw. Spatmagnesit-Palisaden (1. Generation Zement) und dringen in das dunkle, feinkörnige Magnesit-Substrat ein.

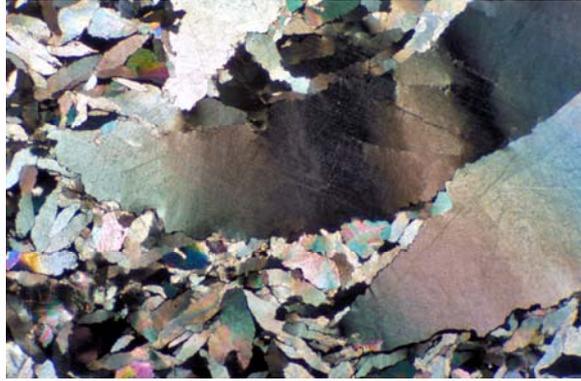


Abbildung 16: Magnesit-Bergbau Breitenau (Steiermark), Tiefbau, Revier III Süd 2, Bau 331, Fenster 15 auf 16, südlicher Ulm, 2. Magnesit-Scheibe. Auf Grund tektonischer Beanspruchung stark postkristallin deformierter, gebogener und stellenweise überdies Brucherscheinungen sowie feine Druckzwillingslamellen nach $\{10\bar{1}1\}$ aufweisender grober Spatmagnesit, eingebettet in feinkörnigem Spatmagnesit, bildet die postkristalline Deformation außerdem deutlich durch das undulöse Auslöschen ab. Dadurch ist auch erkennbar, daß örtlich feinkörniger Magnesit randlich in den größeren gedrückt wird und diesen an Korngrenzen deformiert. Stellenweise findet sich kohlige Substanz intergranular und als Zwickelfüllung im feinkörnigen Magnesit sowie als Intergranularfilm um den größeren Magnesit. Dünnschliff, Bildlängskante: 3,25 mm, Polarisatoren +.



Abbildung 17: Bergbau Breitenau (Steiermark), Tiefbau, Revier IV Ost, E-Bereich der Lagerstätte, „Wurmfortsatz“, Bau 405, Fenster 17 auf 18. Fein- bis feinstkörnige kohlige Substanz (unterschiedliches Reflexionsvermögen - deutlicher Reflexionspleochroismus!) säumt rekristallisierten, „gereinigten“ Magnesit (seine Kornform wird durch den deutlichen Reflexionspleochroismus sehr schön erkennbar) und füllt vor allem Zwickel um diesen. Gelegentlich findet sich feiner Pyrit, der idiomorphe Entwicklung in seinen Aggregaten beobachten lässt. Anschliff, Bildlängskante: 3,25 mm, 1 Polarisator.



Abbildung 18: Bergbau Breitenau (Steiermark), Tiefbau, Revier III Süd 2, Bau 331, Fenster 15 auf 16, südlicher Ulm, 2. Magnesit-Scheibe. Feiner, z. T. idiomorpher Pyrit findet sich vor allem in mit Gangart gefüllten Zwickeln um grobkörnigen Magnesit (jeweilige Kornform ist durch seinen Reflexionspleochroismus deutlich erkennbar). Gelegentlich ist in den Zwickeln um Magnesit außerdem feine kohlige Substanz (linke obere Bildhälfte sowie rechte obere Bildecke) zu finden. Dünnschliff, Bildlängskante: 3,25 mm, 1 Polarisator.

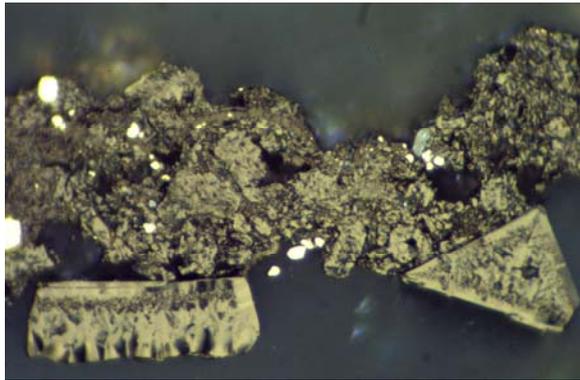


Abbildung 19: Bergbau Breitenau (Steiermark), Tiefbau, Revier III Süd 2, Bau 334, Fenster 14 auf 15, linker Ulm. Ausschnitt aus Zwickelfüllung von Magnesit (dunkel, teilweise durch Innenreflexe aufgehellte) mit reichlich feiner kohligter Substanz. Diese weist deutlichen Reflexionspleochroismus auf und läßt dadurch stellenweise prächtig „Eisblumentextur“ (z. B. linke untere Bildhälfte) erkennen. Gelegentlich findet sich z. T. idiomorph ausgebildeter Pyrit, lokal außerdem Rutil (durch Innenreflexe aufgehellte, z. B. rechts von Bildmitte mit Pyrit). Anschliff, Ölimmersion, Bildlängskante: 100 μm , 1 Polarisator.

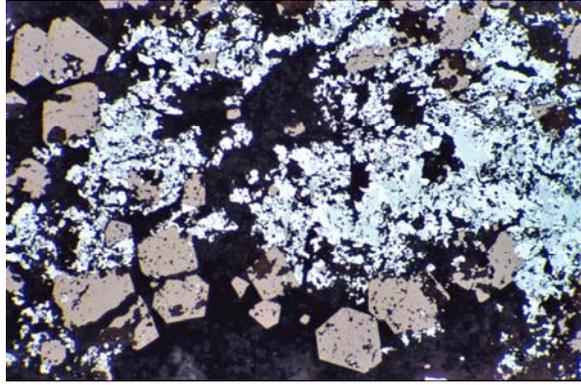


Abbildung 20: Bergbau Breitenau (Steiermark), Tiefbau, Revier IV Ost, Bau 410, Fenster 11 auf 10, 11. Magnesitscheibe. Magnesit-Gangart (dunkel, stellenweise Innenreflexe), darin feinkörniger Eisenglanz (Reflexionspleochroismus durch unterschiedliches Reflexionsvermögen erkennbar) und idiomorph nach $\{111\}$ entwickelter Magnetit, der stellenweise reichlich Verdrängungsreste von Magnesit als Einschluß führt. Gelegentlich sind im Magnetit auch Einschlüsse von Eisenglanz zu beobachten. Anschliff, Ölimmersion, Bildlängskante: $650\ \mu\text{m}$, 1 Polarisator.

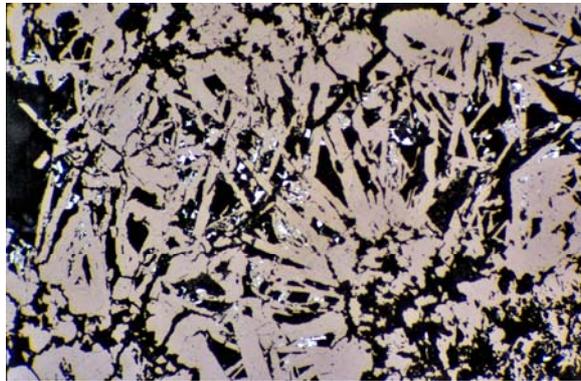


Abbildung 21: Bergbau Breitenau (Steiermark), Tiefbau, Revier IV Ost, Bau 410, Fenster 11 auf 10, 11. Magnesitscheibe. Idiomorph nach $\{0001\}$ entwickelter Eisenglanz in Magnesit-Gangart (dunkel, örtlich Innenreflexe) ist völlig durch Magnetit verdrängt und pseudomorphosiert worden, der in diesen Pseudomorphosen („Muschketowit“) prächtig die ursprünglichen Tafeln von Eisenglanz abbildet. In den Zwickeln dieser Magnetit-Pseudomorphosen nach den tafeligen Kristallaggregaten von Eisenglanz findet sich stellenweise jüngerer, feinkörnig ausgebildeter Eisenglanz. Anschliff, Ölimmersion, Bildlängskante: $650\ \mu\text{m}$, 1 Polarisator.

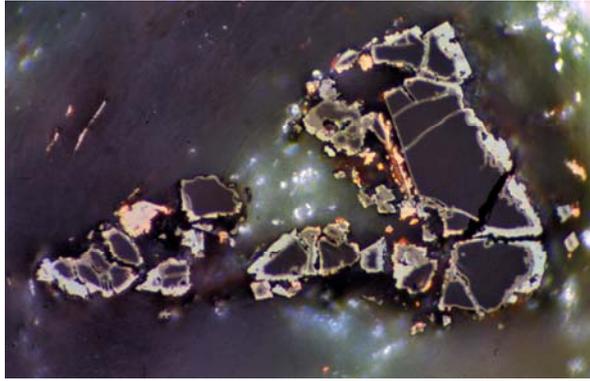


Abbildung 22: Bergbau Breitenau (Steiermark), Tagbau, Etage II a, Süd. In Metatuffit-Gangart (teilweise durch Innenreflexe völlig aufgehell) reliktsch erhaltener Chromspinell bzw. Chromit (dunkel) weist deutlich Kataklyse auf und wird in seinen Bruchstücken randlich von Magnetit (heller als Chromit) verdrängt, dessen dünne Verdrängungssäume um die Chromit-Bruchstücke ihrerseits wieder abschließend von Hämatit (deutlich heller als Chromit, gelegentlich Innenreflexe) verdrängt und gesäumt werden. Örtlich läßt Chromit noch idiomorphe Ausbildung erkennen. Anschliff, Ölimmersion, Bildlängskante: 100 μm , 1 Polarisator.

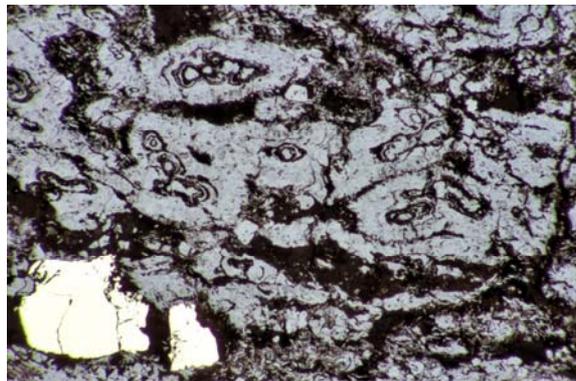


Abbildung 23: Bergbau Breitenau (Steiermark), Tagbau, Etage II a, Süd. Feinkörniger Eisenglanz (hellgrau in verschiedenen Tönen durch Reflexionspleochroismus) in prächtig ausgebildeten, rhythmisch-schaligen bis konzentrisch-schaligen, kolloidalen Massen in Metatuffit-Gangart (dunkel, gelegentlich Innenreflexe). Stellenweise läßt Eisenglanz außerdem idiomorphe Ausbildung in feinen Täfelchen nach $\{0001\}$ erkennen. Vereinzelt finden sich größere Aggregate von Pyrit (linke untere Bildecke), der teilweise idiomorphe Ausbildung aufweist. Anschliff, Ölimmersion, Bildlängskante: 650 μm , 1 Polarisator.

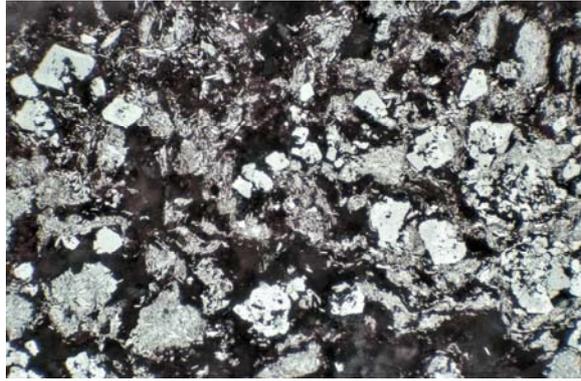


Abbildung 24: Bergbau Breitenau (Steiermark), Tagbau, Etage II a, Süd. Eisenglanz liegt vorherrschend in idiomorph nach $\{0001\}$ sehr fein ausgebildeten tafeligen Massen in Metatuffit-Gangart (dunkel, gelegentlich Innenreflexe) vor, daneben außerdem als Verdränger von idiomorph nach $\{111\}$ entwickeltem Magnetit. Eisenglanz bildet in diesen Pseudomorphosen („Martit“) prächtig den ursprünglichen, idiomorph nach $\{111\}$ ausgebildeten Magnetit ab. Anschliff, Ölimmersion, Bildlängskante: $650\ \mu\text{m}$, 1 Polarisator.

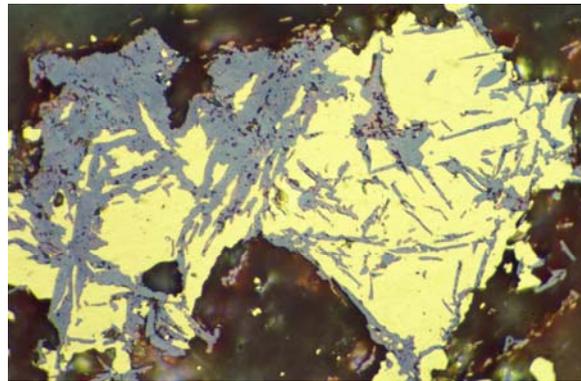


Abbildung 25: Bergbau Breitenau (Steiermark), Tagbau, Etage II a, Süd. Kupferkies in Metatuffit-Gangart (dunkel, z. T. durch Innenreflexe etwas aufgehellt) hat ursprünglichen Magnetit vollständig verdrängt und pseudomorphosiert, Eisenglanz (örtlich Innenreflexe) jedoch nur teilweise verdrängt. Dieser hatte den Magnetit orientiert nach $\{111\}$ verdrängt und martitisiert und liegt jetzt als „Martit“ nach Magnetit im jüngeren Kupferkies vor. Anschliff, Ölimmersion, Bildlängskante: $100\ \mu\text{m}$, 1 Polarisator.

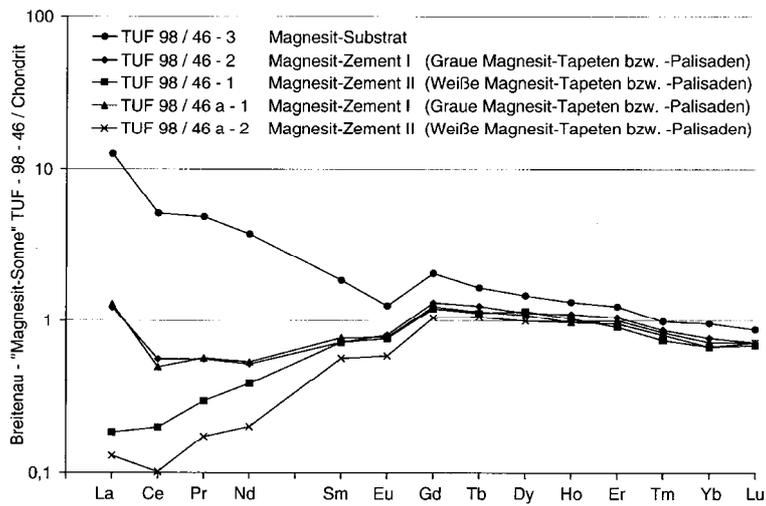


Abbildung 26: SEE-Verteilung in Breitenauer „Magnesit-Sonne“ mit deutlicher Abnahme („Fraktionierung“) vor allem der leichten SEE vom feinkörnigen Magnesit-Substrat zu Magnesit-Zement I und Magnesit-Zement II. Während Cer nur eine schwache negative Anomalie aufweist, ist beim Europium eine deutlichere negative Anomalie ausgebildet.

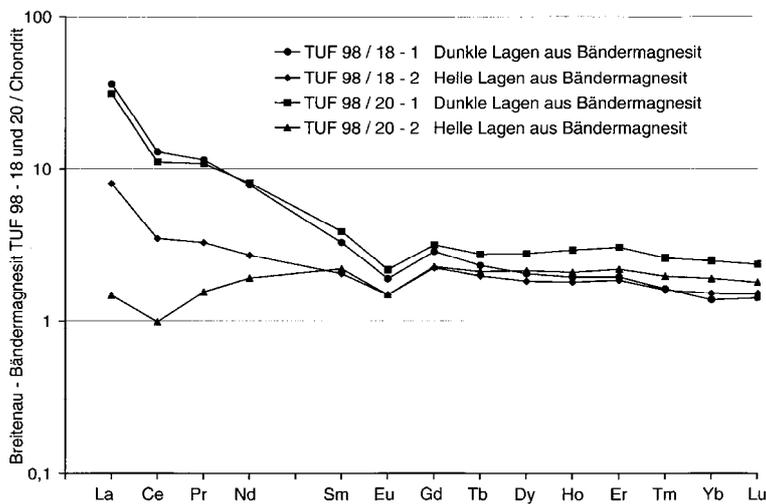


Abbildung 27: SEE-Verteilung in Breitenauer Bänder-Magnesit mit deutlich höheren Gehalten an vor allem leichteren SEE in den dunklen Lagen. Eine negative Anomalie ist beim Cer zumeist nur schwach ausgebildet, beim Europium deutlich.

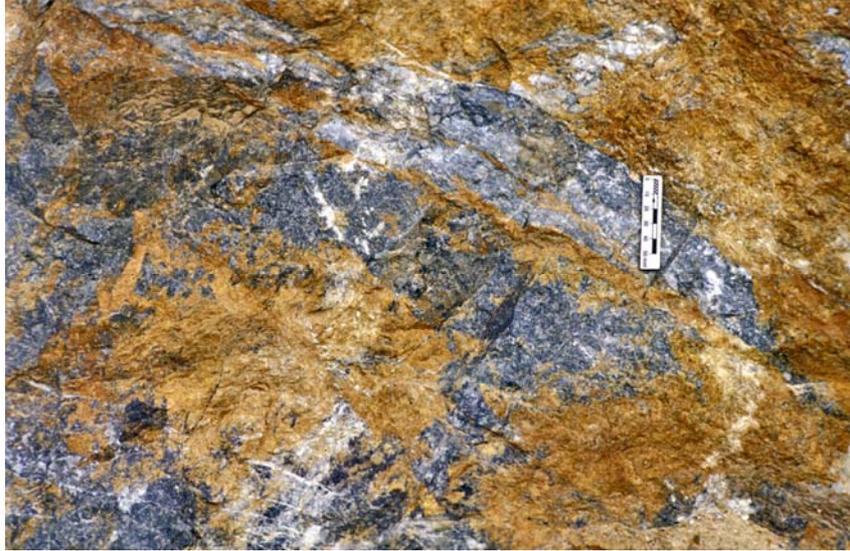


Abbildung 28: Bergbau Breitenau (Steiermark), Tagbau, Etage II. Dolomit wird entlang von jüngeren Rissen und Klüften netzwerkartig von mobilisiertem, hellbraun anwitterndem Magnesit verdrängt („Stockwerk“, „Erzstockwerk“, „Stockwerkvererzung“).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Joannea Mineralogie](#)

Jahr/Year: 2007

Band/Volume: [4](#)

Autor(en)/Author(s): Tufar Werner, Siewers Ulrich, Weber Christian

Artikel/Article: [Zur Genese der paläozoischen Spatmagnetit-Lagerstätte Breitenau am Hochlantsch \(Grazer Paläozoikum, Steiermark, Österreich\) 5-52](#)