Die Sideritlagerstätte des Steirischen Erzberges

Melcher, Frank[1]; Pluch, Hannes[2]; Galler, Robert[3]

1 Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre, Montanuniversität, Peter-Tunner-Straße 5, A-8700 Leoben; 2 VA Erzberg GmbH, Erzberg 1, A-8790 Eisenerz; 3 ZaB – Zentrum am Berg, Montanuniversität Leoben, A-8700 Leoben.

Zusammenfassung

Der Steirische Erzberg ist seit Jahrhunderten das Bergbauzentrum in der Obersteiermark. Die Erzproduktion von jährlich über 3 Millionen Tonnen Versanderz an die Stahlwerke in Donawitz und Linz sichert Arbeitsplätze und Wohlstand in der Region. Während der Exkursion werden die Bergbaugeschichte und die Erforschungsgeschichte des Erzberges erläutert sowie interessante geologische Aufschlüsse im aktiven Tagebau besucht. Die wichtigsten am Erzberg auftretenden Gesteins- und Erztypen werden vorgestellt und in die genetischen Konzepte einbezogen. Zum Abschluss wird mit dem ZaB („Zentrum am Berg“) ein weltweit einzigartiges Tunnelforschungszentrum vorgestellt.

Abstract

The Styrian Erzberg has been the mining centre in Upper Styria for centuries. The ore production of over 3 million tons of ore annually shipped to the steelworks in Donawitz and Linz secures jobs and prosperity in the region. During the excursion, the mining and exploration history of the Erzberg will be explained and interesting geological outcrops in the active open pit mine will be visited. The most important rock and ore types occurring at Erzberg will be presented and included in the genetic concepts. Finally, the ZaB (“Zentrum am Berg”), a unique tunnel research centre worldwide, is presented.

1. Geschichte

Seit mehr als 1.300 Jahren gilt der Steirische Erzberg als der „Steirische Brotlaib“. Der Beginn des Eisenerzabbaus in der Region Eisenerz ist nicht gesichert, er dürfte möglicherweise bereits auf das 3. nachchristliche Jahrhundert zurückgehen. Das Jahr 712 gilt als Gründungsdatum des Eisenbergwerks (HASITSCHKA, 2012). Zu Beginn wurde das gewonnene Erz nahe der Gewinnungsstätte in Rennöfen verhüttet, vermutlich direkt am Präbichl; in unmittelbarer Umgebung dürften sich auch die ersten Schmieden befunden haben. Bereits im 13. Jahrhundert wurde das Erzvorkommen in das südlich gelegene Vordernberger Revier sowie das auf die heutige Stadt Eisenerz zugewandte Innerberger Revier unterteilt, wobei die sogenannte Ebenhöhe (Seehöhe 1.186 m) als Grenze galt. Beide Reviere waren in einzelne Gruben aufgeteilt, deren Besitzer sowohl den Abbau als auch den Transport zu den Verhüttungsanlagen individuell organisierten. Im 14. Jahrhundert wurde durch Verfügung der Landesfürsten der Abbau des Eisenerzes am Steirischen Erzberg, die Erzeugung des Roheisens sowie die Weiterverarbeitung geordnet. Die Eisenordnungen von 1448 bzw. 1453 regelten auch die Absatzgebiete: Das Revier Innerberg belieferte Nordeuropa, das Revier Vordernberg hingegen Süd- und Südosteuropa; diese Aufteilung war durch die Wasserwege für den Abtransport des gewonnenen Eisens vorgegeben. Um die Produktionszahlen steigern zu können, benötigte man leistungsstärkere, größere Öfen. Man bediente sich Wasserrädern, bei denen das Gebläse für Verbrennungsluft durch ein Wasserrad betrieben wurde. Die Verhüttungsanlage erhielt folglich die Bezeichnung Radwerk und sein Besitzer war der Radmeister. Vordernberg hatte 14 Radwerke; ihre Nummerierung erfolgte kontinuierlich von Norden nach Süden dem Bachlauf folgend. In Innerberg arbeiteten bis zu 19 Radwerke. Zu einem Radwerk gehörte nicht nur der Schmelzofen selbst, sondern insbesondere auch ein Anteil am Bergbau, Waldungen für die Holzkohlenproduktion, Schmelzhalle, sowie Erz- und Kohlelager (SCHÖPFER, 2012; EFFENBERGER & MELCHER, 2017).

Das geförderte Erz wurde zuerst nach Grob- und Feinerz getrennt, dann zwecks Dekarbonatisierung geröstet. Das Feinerz musste gesondert mit Kohle vermengt gesintert werden, um ein Verkleben im Röstofen zu vermeiden. Die Weiterverarbeitung erfolgt im Ennstal, Ybbs-, Erlauf-, bzw. Mur- und Mürztal; hier konnte nicht nur die Wasserkraft genutzt werden, es standen auch ausgedehnte Wälder für die Holzkohlenproduktion zur Verfügung.

Im 16. Jahrhundert erfolgte der Übergang zum Grubenbau. Ab 1625 wurden die nördlich des Präbichls gelegenen Radwerke mit den zugehörigen Grubenanteilen sowie die Weiterverarbeitung des Roheisens und der Eisenhandel in der Innerberger Hauptgewerkschaft zusammengefasst. Es wurde ein landesfürstlicher Oberaufseher über das gesamte Eisenwesen, der Kammergraf, ernannt. Als Amtssitz dieses Beamten wurde der Eisenerzer Kammerhof errichtet. Die Radmeister und die Eisenverleger des südlichen Reviers blieben vorerst weiterhin selbständig. Ab 1760 wurden die Stucköfen durch die sogenannten Floßöfen ersetzt. Wie bei modernen Hochöfen wurden diese von oben beschickt und das flüssige Roheisen wurde im unteren Bereich regelmäßig abgestochen. Der kontinuierliche Betrieb des Ofens senkte den durch das Wiedererhitzen hohen Energiebedarf; dadurch konnte der Verbrauch an Holzkohle um fast 50 % gesenkt werden. Später wurde auch noch die zugeführte Luft vor dem Einblasen erhitzt bzw. die warmen Abgase wiederverwendet (SCHÖPFER, 2012). Ursprünglich erfolgte der Abbau am Steirischen Erzberg hauptsächlich unter Tage. Erst um 1870 setzte sich der Tagebau langsam durch und wurde ab 1986 ausschließlich betrieben.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts kam es zu einer schweren Krise der Vordernberger Eisenindustrie. Sowohl im Gruben- als auch im Tagebau war eine Sanierung durch Reorganisation dringend nötig. Erzherzog Johann, der seit 1823 ein Radwerk in Vordernberg besaß, setzte 1829 bei den übrigen Radmeistern die Neugründung der Vordernberger Radmeisterkommunität durch. Sowohl der Erzabbau als auch die Erzförderung auf dem Steirischen Erzberg wurden reorganisiert und modernisiert. Die Erzrechte gingen in ein gemeinsames Eigentum über; der Abbau sowie der Transport des gewonnenen Erzes vom Erzberg zu den Radwerken in Vordernberg wurden fortan gemeinsam betrieben. Die Kosten für die Vordernberger Hochöfen konnten durch die Vereinigung der Gruben und den Bau einer gemeinsamen Förderanlage um knapp 40 % verringert werden. Zur Erleichterung des Erztransportes wurde die „Dullnigsche Erzförderbahn“ errichtet, die von 1844 bis 1847 zwischen dem Präbichl und Vordernberg gebaut wurde. Die Erzförderbahn war eine komplexe Konstruktion und bestand aus Horizontaltrassen, Schrägaufzügen und Erzbunkern; letztere stellte die Erzversorgung für die Verhüttung im Winter sicher. Zwischen 1889 bis 1891 erfolgte der Bau der als Zahnradbahn konzipierten Strecke von Vordernberg nach Eisenerz über den Präbichl. Die zu Beginn verwendeten Zahnraddampflokomotiven wurden ab 1962 durch Zahnraddiesellokomotiven ersetzt. 1980 wurden sämtliche Zahnstangen auf der Strecke entfernt, wodurch jedweder Betrieb der Erzbergbahn mit Dampflokomotiven unmöglich wurde. Eine Zahnradbahnlokomotive steht zur Erinnerung an die damalige Erzbergbahn am Vordernberger Marktplatz. Seit 1988 wurde mit einigen Unterbrechungen die historische Eisenbahnstrecke als Museumsbahn geführt (EFFENBERGER & MELCHER, 2017).

Erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelte sich der Bergbau zum Großbetrieb durch Zusammenschluss der innerösterreichischen Eisenwerke zur 1881 gegründeten Österreichisch Alpine-Montangesellschaft ÖAMG (UMFER, 2012). Es wurden Jahresfördermengen von bis zu 2,8 Millionen Tonnen Erz in den Jahren des Zweiten Weltkriegs erreicht. 1973 wurde der Erzberg mit den Hütten der VÖEST in Linz und Donawitz zur VOEST-ALPINE fusioniert. Im Jahr 1989 wurde der Erzberg aus dem VÖEST-Konzern ausgegliedert und der ÖIAG-Bergbauholding Eigentümervertretung unterstellt. Schließlich wurde im Jahr 2004 die Erzberg Privatstiftung Eigentümerin der VA Erzberg GmbH. Das Land Steiermark übernimmt die Position des Letztbegünstigten der Erzberg Privatstiftung.

Derzeit hat die VA Erzberg etwa 230 Mitarbeiter, die jährlich etwa 12 Millionen Tonnen Verhaumenge und 3 Millionen Tonnen Versanderz produzieren. Dies entspricht einer Produktion von knapp 1.000.000 Tonnen Eisen, die durch die VOEST in den Hüttenwerken Linz und Donawitz zu Stählen weiterverarbeitet werden. Seit 1984 beläuft sich die Produktion aus Erzbergerz auf knapp 27 Millionen Tonnen Eisen (Abb. 1); die gesamte bisherige Eisenerzförderung dürfte 250 Millionen Tonnen betragen. Die ursprüngliche Ressource umfasste wahrscheinlich 400–500 Millionen Tonnen Eisenerz.

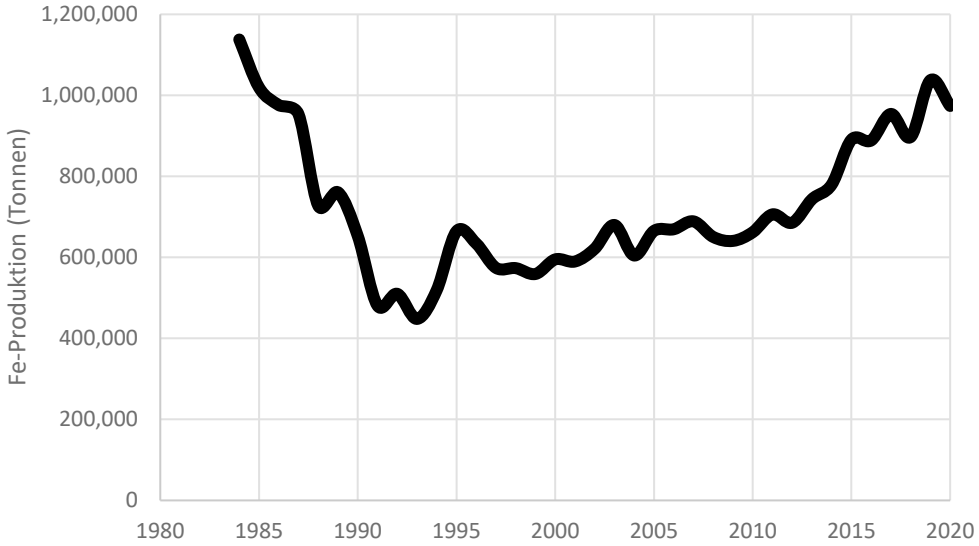

Abb. 1. Eisenproduktion aus Sideriterz vom Steirischen Erzberg seit 1984 (Kompilation aus den Weltbergbaudaten des BMLRT; www.world-mining-data.info).

2. Geologie

Der Steirische Erzberg liegt in der Norischen Decke des Tirolisch-Norischen Deckensystems, einem Teil der historisch als „Grauwackenzone“ bezeichneten Landschaft zwischen Nördlichen Kalkalpen und den Zentralalpen. Die Norische Decke besteht hauptsächlich aus paläozoischen (Ordovizium bis Karbon) phyllitischen Schiefern, metamorphen Vulkaniten (Porphyroide), Kalksteinen (Marmoren), Grauwacken sowie Quarziten (Abb. 2). Besonderes Merkmal der Grauwackenzone ist ein auffallend häufiges Auftreten von Eisen-, Kupfer-, Magnesit-, Talk- und Graphitvorkommen bzw. -lagerstätten, die in den letzten Jahrhunderten zeitweise abgebaut oder beschürft wurden. Im Bereich zwischen Eisenerz und Leoben weitet sich die Grauwackenzone auf rund 25 km; am Nordrand findet sich der Steirische Erzberg, der mit einer Jahresproduktion (2020) von 3 Millionen Tonnen Versanderz das weltweit größte im Abbau befindliche Sideritvorkommen darstellt und nach Kiruna in Schweden der zweitgrößte Eisenerzproduzent der Europäischen Union ist.

Das Liegende der Lagerstätte bilden oberordovizische Porphyroide (Blasseneckporphyroid), die im Bereich der Lagerstätte eine Mächtigkeit von bis zu 400 m erreichen (Abb. 2, 3). Unter dem Porphyroid lagert, an der Präbichlnordrampe aufgeschlossen, die einige 100 m mächtige metapelitisch-psammitische Abfolge der Gerichtsgraben-Formation. Über dem Porphyroid folgen Quarzite, Serizitquarzite, Grauwackenschiefer, graphitische Kieselschiefer (Silur), devonische Kalkschiefer und Marmore („Sauberg Kalke“), letztere mit einer Mächtigkeit bis zu 280 m, sowie die karbonischen Eisenerzer Schichten, die im Bereich der Lagerstätte als grauschwarze phyllonitische Schiefer mit maximal 150 m Mächtigkeit ausgebildet sind und auch als „Zwischenschiefer“ bezeichnet werden. Dieser Zwischenschiefer fungierte als Überschiebungsbahn während der variszischen Orogenese und unterteilt den Erz führenden Bereich in eine Hangendscholle sowie eine Liegendscholle. Die Vererzung liegt lagen- bis linsen- und stockförmig vor; charakteristisch ist eine intensive Verwachsung von Siderit und Ankerit. Der damit verbundene wechselnde Fe-Gehalt ist eine Herausforderung in der Logistik des Abbaus, da für die Verhüttung eine nur wenig schwankende Zusammensetzung gefordert ist. Dies gilt nicht nur für den Fe-Gehalt der Erze selbst, sondern insbesondere auch für weitere Elemente wie Mangan, Schwefel, Phosphor oder Quecksilber.

Die kalkigen Ablagerungen enden an der Wende Unterkarbon zu Oberkarbon, es folgen die Brekzien und Konglomerate der Präbichl-Formation sowie die Werfener Schichten des Oberen Perm und der Untertrias. Diese stellen das Hangende des Erzkörpers dar und bilden andererseits die Basis der Nördlichen Kalkalpen. Die klastische Sedimentabfolge beginnt meistens mit einer bis etwa 40 m mächtigen Basisbrekzie (Präbichlbrekzie), überlagert durch grünliche oder violette, glimmerreiche Sandsteine und Schiefer mit lokalen Einschaltungen von Gips.

Im Bereich der Lagerstätte Erzberg sind sowohl eine variszische als auch eine oberkretazische, eoalpidische Orogenese nachgewiesen. Erstere bedingte die Überschiebung zweier ursprünglich nebeneinander liegender Karbonatschollen (Abb. 3). Graphitreiche Schiefer fungierten als Gleitbahn zwischen Liegend- und Hangendscholle. Zweitere war für die muldenartige Verformung der Lagerstätte verantwortlich. Die größte Störung ist der Christof Hauptverwurf (Abb. 3, 4). Basierend auf Ramanspektroskopischen Untersuchungen an graphitischer Substanz in verschiedenen vererzten und unvererzten Gesteinen wurden im Gebiet des Erzbergs Temperaturen von 300 °C während der alpidischen Metamorphose erreicht (FRÜHAUF, 2017).

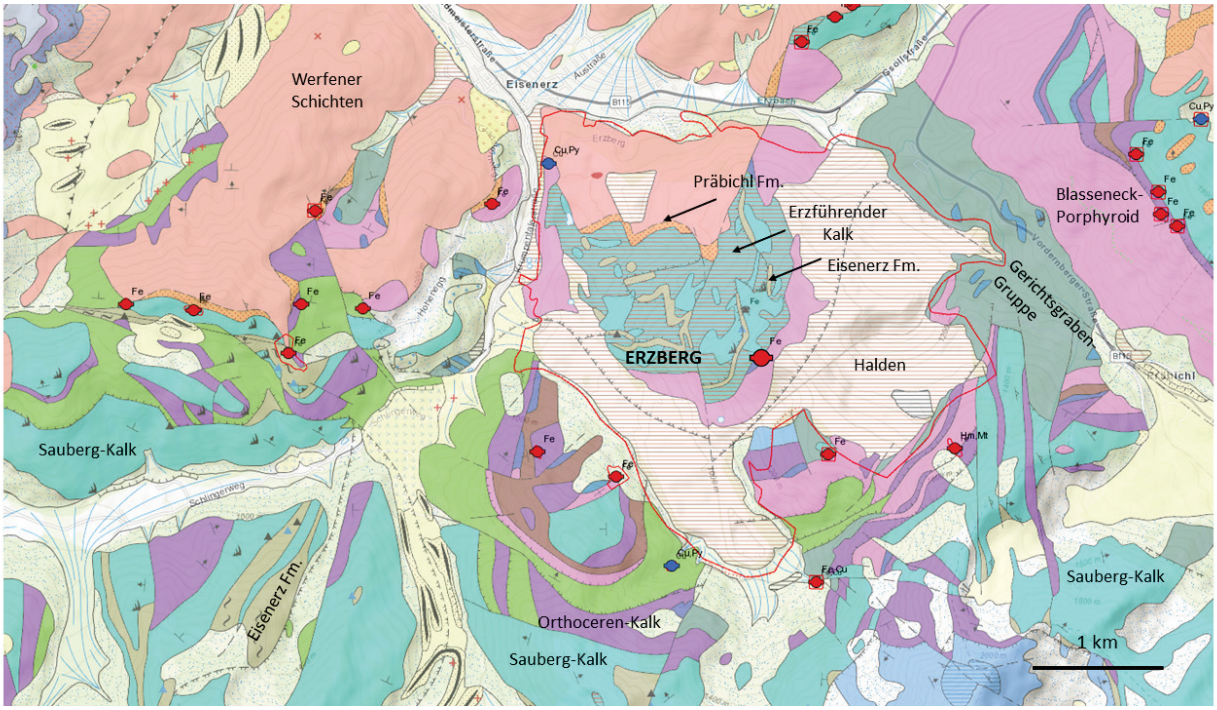

Abb. 2. Geologische Karte des Erzberggebiets mit Symbolen für Rohstoffvorkommen aus dem Interaktiven Rohstoffinformationssystem der Geologischen Bundesanstalt (https://iris.geologie.ac.at).

3. Mineralogie

Die Mineralparagenese des Erzes umfasst hauptsächlich Siderit [$FeCO_3$] und Ankerit [$CaFe(CO_3)_2$, als „*Rohwand*“ bezeichnet], neben Fe-haltigem Dolomit [$(CaMg(CO_3)_2$], Magnesit [$MgCO_3$], und Calcit [$CaCO_3$]. Der Siderit (stöchiometrisch 48,2 Gew-% Fe) ist ein Mg-reicher Mischkristall aus der trigonal kristallisierenden Calcitgruppe. Er wird oft auch unter der von der International Mineralogical Association als „obsolet“ geführten Bezeichnung „Sideroplesit“ geführt. Am Erzberg sind Zusammensetzungen mit ca. 42 % Fe, entsprechend 80–85 Mol-% $FeCO_3$, 5–15 % $MgCO_3$ und 3–7 Mol-% $MnCO_3$ Komponente typisch (BERAN, 1975). Ankerite im Lagerstättenbereich enthalten durchschnittlich etwa 70 Mol-% $CaFe(CO_3)_2$ neben geringeren (2–3 Gew-%) Anteilen an $MnCO_3$. BERAN (1979) konnte texturell und chemisch drei Ankeritgenerationen unterscheiden, die sich bei Temperaturen von etwa 400 °C unter Drucken von 2–3 kbar bildeten. Diese Unterscheidung wird durch Sr-Isotopenuntersuchungen unterstützt (FRIMMEL, 1988).

Untergeordnet sind in Erz und Rohwand Pyrit [FeS_2], Hämatit [Fe_2O_3], Magnetit [Fe_3O_4], Fe-Hydroxide, sowie Quarz, Serizit, Muskovit, Chlorit, Rutil, Turmalin, Zirkon, Apatit, Baryt, Semigraphit und verschiedene Sulfidminerale in unterschiedlichen, stark wechselnden Anteilen vertreten (SCHULZ et al., 1997).

Im Zuge der Erzaufbereitung muss durch Aufkonzentration der Siderite ein Zielwert von 33 % Fe erreicht werden. Bei der Produktion am Berg wird zwischen Reicherz (> 30 % Fe), Armerz (22–30 % Fe) und Baggerbergen (< 22 % Fe) unterschieden; letztere werden verstürzt, Armerze werden aufbereitet, während die Reicherze nach dem Waschen direkt als Produkt ausgeschleust werden können.

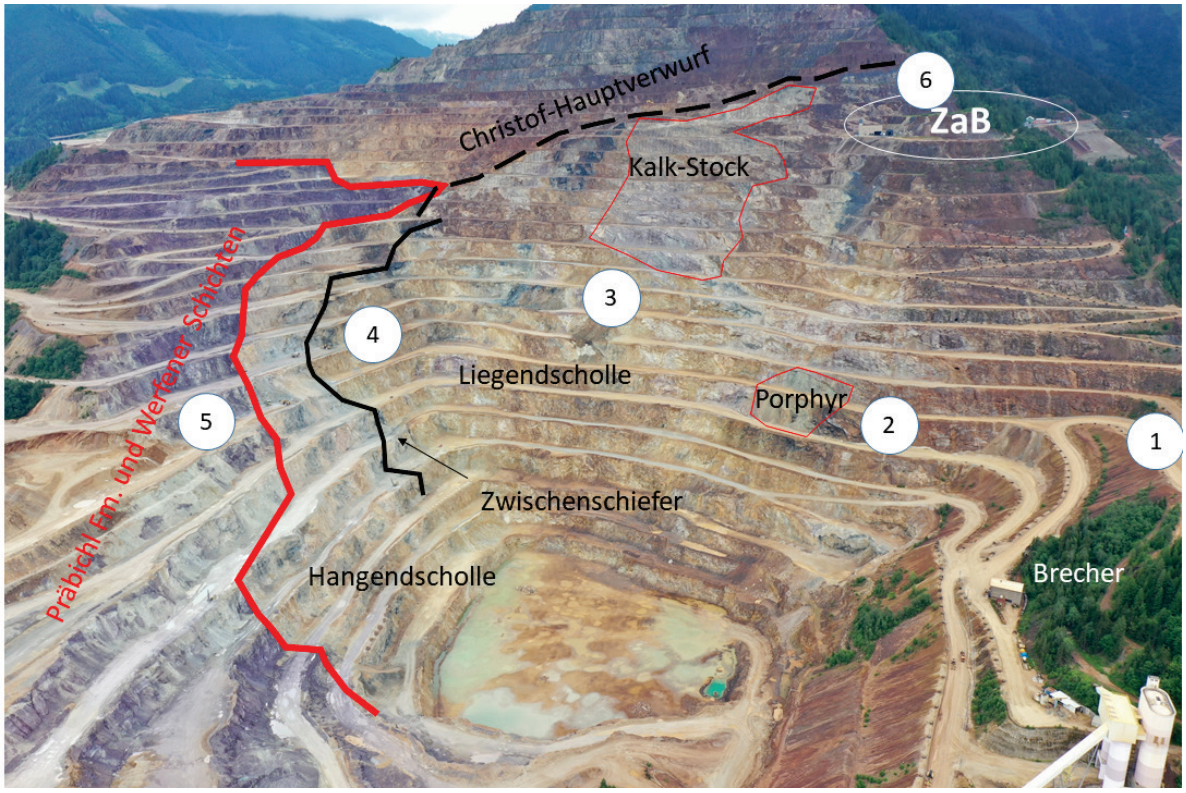

Abb. 3. Luftbild vom derzeit aktiven Bereich des Erzberges mit Exkursionsstops.

4. Exkursionsstops

Stop 1. Bohrerschmiede

Vom Bereich der Bohrerschmiede bietet sich ein hervorragender Blick in den aktiven Tagbau. Anhand des historischen Seigerschnitts (Abb. 4) kann man sich vom Abbaufortschritt überzeugen. Besonders eindrucksvoll sind die tektonisch stark gestörte Überschiebungsbahn mit den dunklen Eisenerzer Schichten sowie der Hangendkontakt zu den Werfener Schichten.

Stop 2. Blasseneckporphyroid und Silurschiefer

Der mittelkörnige oberordovizische Porphyroid ist stark vergrünt und von grobkörnigen Karbonatgängchen durchzogen. Das Gestein besteht im Wesentlichen aus Quarz in Form von Porphyrquarzen, Chlorit, Serizit und Karbonat. Als Karbonate treten Ankerit, Dolomit und Siderit als dünner Saum in den Gängchen gemeinsam mit Fe-Chlorit und Pyrit auf. Im Aufschluss wird der Porphyroid an einer tektonischen Grenze von schwarzen, graphitreichen Schiefern aus dem Silur überlagert.

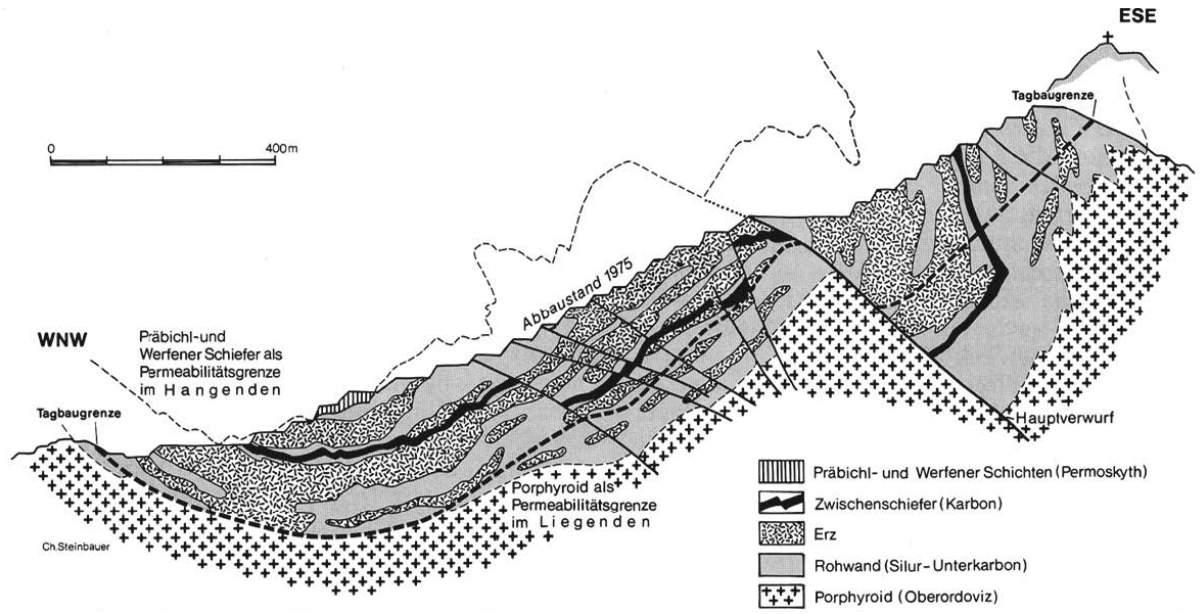

Abb. 4. Seigerschnitt durch den Erzberg, mit historischem Abbaustand von 1975 (HOLZER, 1980). Der durch den „Zwischenschiefer“ (Eisenerzer Schichten, Karbon) markierte variszische Deckenbau wird durch die Präbichl-Formation und Werfener Schichten plombiert. Der (Christof) Hauptverwurf ist eine alpidische Struktur. Erzkörper (gepunktet) durchziehen stock- und lagerförmig den „Erzführenden Kalk“.

Stop 3. Erzkalk und Sauberg-Kalk

Im Bereich der Liegendscholle können im aktiven Bergbaubereich die Beziehungen zwischen Sideriterz und unvererztem Kalk studiert werden. Die Kontakte sind meist diskordant und abrupt. Das Sideriterz ist vielfach als dichter, mittel- bis grobkörniger Sideritmarmor ausgebildet, in dem teilweise Ankeritgängchen und Konkretionen auftreten. Eine schwache Sulfidmineralisation mit vorwiegend Pyrit, Zinnober, in Ausnahmefällen aber auch Chalkopyrit, Fahlerzen und Ni-Mineralen (LIBOWITZKY et al., 2018) ist lokal entwickelt. Der angrenzende, und von Siderit verdrängte Sauberg-Kalk zeigt charakteristische hellrosa gefleckte Kalksteine und Marmore, die im Lagerstättenbereich häufig durch Muskovit und Chlorit leicht vergrünt erscheinen. Die Hauptmasse besteht aus Fe-armem Calcit, der von Stylolithen und Scherbändern durchzogen ist, welche Muskovit, Phengit, Apatit, Quarz, Turmalin, Monazit und Baryt führen.

Stop 4. Eisenerzer Schichten

Im Bereich der Deckengrenze zwischen Liegend- und Hangendscholle sind die graphitreichen Eisenerzer Schichten als hellgraue bis schwarze gebänderte Gesteine mit Siderit, Ankerit, Graphit, Quarz und Serizit entwickelt; sie werden auch als „Tigererze“ bezeichnet. Durch ramanspektroskopische Untersuchungen an Graphiten wurden Temperaturen von 280 °C ermittelt, die durch die regionale oberkretazische Metamorphose erklärt werden können (FRÜHAUF, 2017).

Stop 5. Präbichl Formation und Werfener Schichten

Vererzte Kalke der Hangendscholle sowie stellenweise „Rohwand“ (Ankeritgesteine) werden diskordant, häufig aber mit tektonisch stark überprägten Kontakten, von grobkörnigen Brekzien und Konglomeraten der Präbichl-Formation überlagert. Diese Gesteine sind lokal extrem duktil deformiert. Sie bestehen aus Karbonatgeröllen unterschiedlicher Korngrößen und Farben in einer feinkörnigen tonigen Matrix. Teilweise sind die Komponenten zu Ankerit und Siderit umgewandelt, während die Matrix durch Chlorit vergrünt erscheint. Neben dieser in-toto Vererzung der Präbichl-Formation sind gelegentlich auch stockförmige Bereiche aufgeschlossen, in denen Vererzungsfronten quer durch einzelne Karbonatkomponenten greifen (Abb. 5, 6). SPINDLER (1991) interpretiert die Vererzung der Basisbrekzie als alpidisch bei etwa 200 °C durch Mobilisation aus einem bestehenden Erzkörper entstanden.

Abb. 5. Stark deformierte unvererzte Präbichlbrekzie wird durch eine metasomatische Front von rechts her umgewandelt (Foto: F. MELCHER).

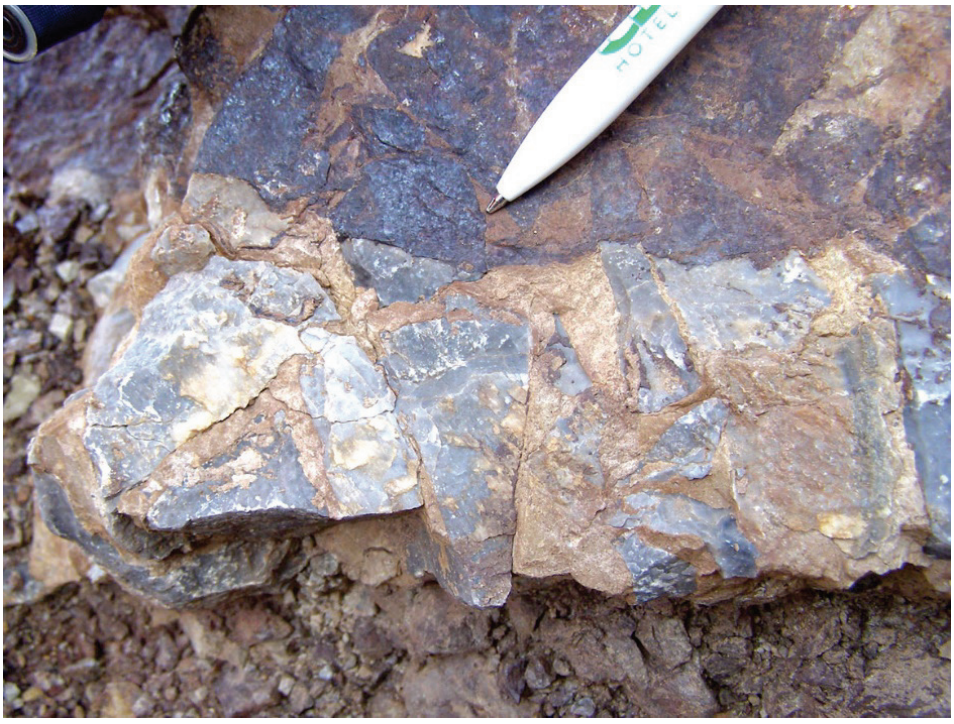

Abb. 6. Präbichlbrekzie, teilweise zu Siderit umgewandelt; Etage Vorauer. Die metasomatische Front verläuft mitten durch einzelne Karbonatkomponenten (Foto: W. PROCHASKA; STROHMAIER, 2009).

Die Präbichl-Formation wird von rötlich-violetten feinklastischen Sedimenten der Werfener Schichten überlagert, die im Lagerstättenbereich keine Spuren einer Siderit-Ankeritvererzung zeigen. Am Nordrand des Tagebaues können Gipseinschaltungen innerhalb der Werfener Schichten beobachtet werden.

Stop 6. Etagen Dreikönig (1.088 m) und Schuchart (1.111 m): Altbergbau, Erzbergit und ZaB

Stop 6.1.

Im Bereich des Straßentunnelportals des ZaB sind sowohl stockförmige als auch gangförmige („Lagergänge“) Siderit-Ankeritgesteine aufgeschlossen (Abb. 7). Es können sowohl abrupte Erz-Nebengesteinskontakte (Abb. 8) als auch eher fließende Übergänge beobachtet werden. Bedingt durch den bereits lange zurückliegenden Bergbau in diesem Bereich sind Erze und Nebengesteine vielfach stark oxidiert. An gesägten Proben und Dünnschliffen können hier vielfältige und komplexe Beziehungen zwischen Nebengestein (Sauberg-Kalk) und dem Siderit-Ankeriterz studiert werden. Es werden mehrere Karbonatgenerationen unterschieden, die sich teilweise in ihrer Mineralchemie deutlich unterscheiden. In Abbildung 9 wird ein Paragenesesschema für die Karbonat- und Sulfidphasen mit dem Versuch einer zeitlichen Einordnung präsentiert (STROHMAIER, 2009; PAMSL, 2016).

Abb. 7. Etage Dreikönig, historisches Foto vor dem Bau des ZaB. Stockförmige störungsgebundene Siderit-Ankeritvererzung im rechten Bildteil, schichtungs-/schieferungsparallele Erzkörper (Lagergänge) im linken Bildteil im nicht-vererzten Sauberg-Kalk (Foto: W. PROCHASKA).

Abb. 8. Kontakte zwischen Siderit-Ankerit-Lagergang und Sauberg-Kalk, Etage Schuchart. Mächtigkeit des Lagergangs: 20 cm (Foto: F. MELCHER).

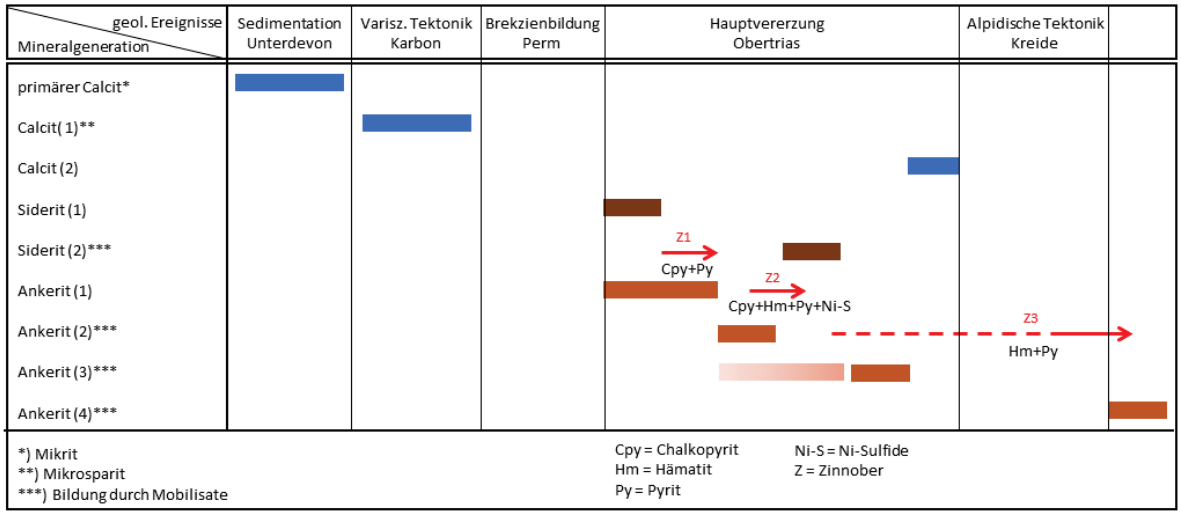

Abb. 9. Relative zeitliche Einordnung der Karbonat- und Sulfidgenerationen am Erzberg, modifiziert nach STROHMAIER (2009) und PAMSL (2016).

Stop 6.2.

Der Erzkalk ist vor allem in den höheren, heute unzugänglichen Bereichen von vertikalen Klüften durchzogen, in denen die als Erzbergit bekannten laminierten Aragonit-Calcit-Sintergesteine auftreten (Abb. 10). Solche Gänge weisen Zentimeter- bis Dezimeterweiten auf und können über Zehnermeter zur Teufe und im Streichen verfolgt werden. Sie werden entweder auf junge tektonische oder auf Massenbewegungen zurückgeführt. Neuere Untersuchungen zeigen, dass die Präzipitate sich durch Infiltration von meteorischen Wässern, Sulfidoxidation und nachfolgende Lösung der Nebengesteinskarbonate ableiten lassen (BOCH et al., 2019). Untersuchungen mittels „clumped isotopes“ ergaben kühle Wassertemperaturen von 0 bis 10 °C, entsprechend der alpinen Umgebung.

Altersdatierungen mittels ^{238}U-^{234}U-^{230}Th reichen von 285.000 ± 3.900 bis 1.030 ± 40 Jahren BP und belegen, dass die Bildung der Erzbergite im Pleistozän und Holozän, vorzugsweise nach dem letzten glazialen Maximum stattfand. Der in brekziierten Lagen mit Erzbergit assoziierte Dolomit auf Etage Schuchart wurde zwischen 19.210 ± 100 und 13.970 ± 80 Jahren BP über ein Mg-Calcit-Vorläuferstadium aus CO_2-entgasten Mg-reichen Lösungen gefällt (BALDERMANN et al., 2020). Die millimeterskalige Lamination der Erzbergite wird als Wachstumsgefüge interpretiert, während ein Lagenbau im Zentimeterbereich auf diagenetische Prozesse zurückgeführt wird. Oftmals sind Erzbergite auch mit den bekannten Eisenblüten assoziiert, so dass ein ähnlicher Bildungsmechanismus angenommen werden kann. BOCH et al. (2019) weisen auf das große Potenzial der Erzbergite zur Klärung paläoklimatischer und Paläoumweltbedingungen hin.

Abb. 10. Erzbergit-Mineralisation in Fe-führendem Sauberg-Kalk, Etage Schuchart (Foto: F. MELCHER).

Stop 6.3. Zentrum am Berg: eine Forschungs- und Entwicklungs- sowie Trainings- und Ausbildungsanlage für sämtliche Berufe im Fachbereich Geotechnik und Infrastrukturbau Untertage.

Mit dem „Zentrum am Berg“ auf Etage Dreikönig verfügt die Montanuniversität Leoben über ein weiteres Alleinstellungsmerkmal in der europäischen Universitätslandschaft. Dieses Zentrum ermöglicht Forschung auf höchstem Niveau in Bezug auf alle Problemstellungen den Tunnelbau betreffend, wie beispielsweise die Weiterentwicklung bestehender und Generierung neuer Vortriebstechniken. Es ermöglicht den Einsatz und die Erprobung neuer Materialien und Ausstattungsvarianten sowie die Anwendung alternativer Tunnellüftungssysteme. Auch für die gesamte Sicherheitstechnik inklusive der im Tunnel integrierten Löschsysteme ergeben sich völlig neue Perspektiven. Die Montanuniversität setzt damit auch einen nachhaltigen regionalpolitischen Impuls für den Großraum Obersteiermark und vor allem die Region rund um Eisenerz. Gedankt sei in diesem Zusammenhang vor allem den Fördergebern von Bund (BMBWF und BMK) und Land Steiermark, welche die Errichtung dieser einzigartigen Forschungsinfrastruktur erst ermöglicht haben. Das „ZaB – Zentrum am Berg”, ist eine Untertageanlage für Forschungs-, Entwicklungs-, Ausbildungs- und Trainingszwecke, die einerseits die Anforderungen der öffentlichen Institutionen erfüllen soll, aber gleichzeitig eine Weiterentwicklungsfabrik für die

zuständigen Universitäten und privaten Unternehmen darstellt. Die Untertageanlage besteht aus zwei parallel geführten Straßentunneln und zwei parallel geführten Eisenbahntunneln, sowie einem Versuchsstollen (Abb. 11), wodurch Forschung, Entwicklung, Ausbildung und Training unter realen Untertagebedingungen im 1:1 Maßstab ermöglicht werden. Die Eisenbahntunnel wurden im Wesentlichen im stark gestörten Porphyroid vorgetrieben, während die Straßentunnel Sauberger Kalk und etwa ab Tunnelmeter 250 eine stockförmige Ankerit-Sideritvererzung durchörterten. Am Tunnelende im „Herzen“ des ZaB treten stark tektonisierte Eisenerzer Schichten auf.

In der Anlage werden aktuell nationale und internationale Forschungsprojekte zu vielfältigen Fragestellungen entlang des gesamten Lebenszyklus von Untertageanlagen durchgeführt. Thematisch werden folgende Themenbereiche angesprochen:

- Geotechnisches Monitoring
- Numerische Simulation in der Geotechnik
- Sicherheitsforschung und Rettungsbedingungen
- Aerodynamische Fragestellungen
- Langzeitstabilität und Dauerhaftigkeit von Materialien
- Sanierung von Untertagebauwerken
- Ausrüstungstechnik

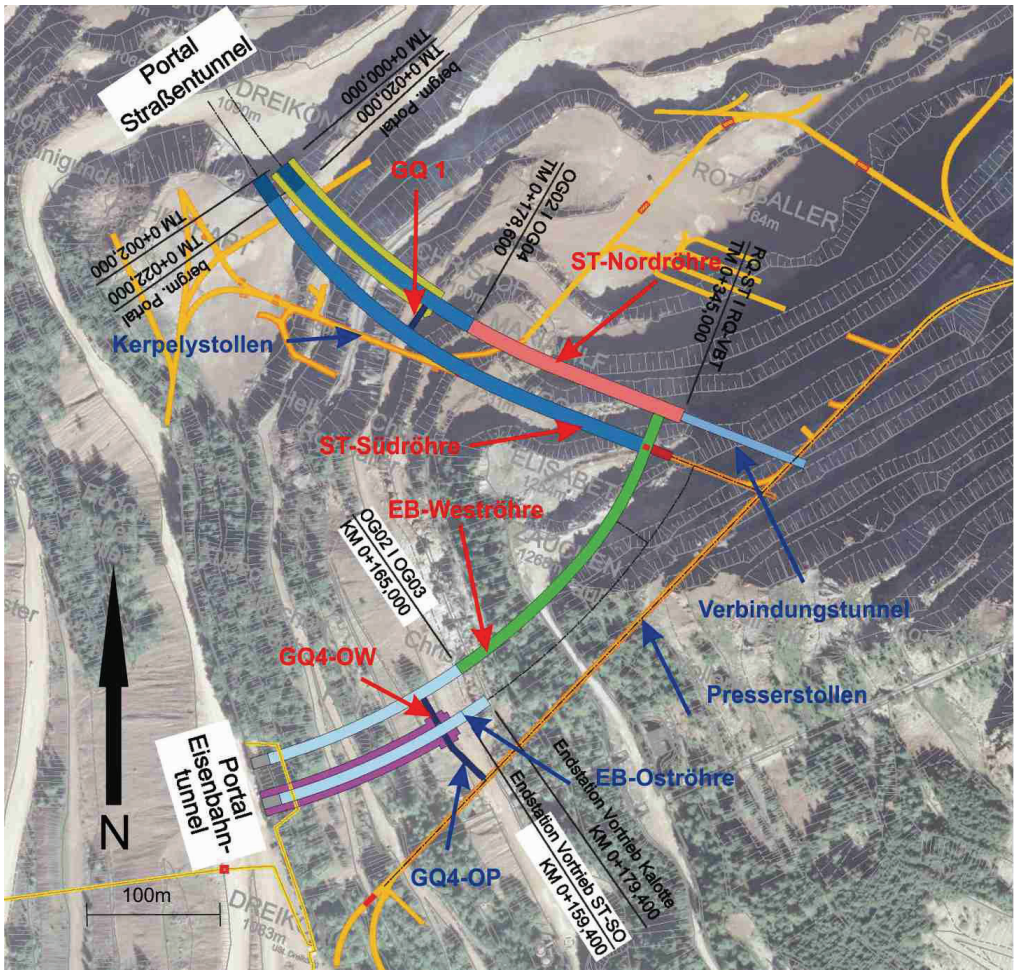

Abb. 11. Übersichtsbild über die neu aufgefahrenen Strecken im ZaB.

Die voll ausgestatteten Straßen-, Eisenbahn- und Versuchstunnel erlauben unterschiedlichste Trainingsmöglichkeiten und Versuchsdurchführungen für Einsatzkräfte, sowie für Betriebs- und Instandhaltungspersonal. Damit soll entscheidend zur Erhöhung der Sicherheit von Nutzern von unterirdischen Verkehrsanlagen beigetragen werden. Anhand von Schulungen soll auch die Instruktion von Service- und Instandhaltungspersonal stattfinden und die praktische Ausbildung für facheinschlägige Berufe angesiedelt werden.

Digitalisierung ist ein Schlüssel, um den konventionellen Tunnelbau „smart“ zu gestalten. Forschungsgruppen am Lehrstuhl arbeiten mit neuesten Technologien an innovativen und nachhaltigen Lösungen von morgen. Dabei wird die digitale Transformation der neuen österreichischen Tunnelbaumethode (NÖT) interdisziplinär vorangetrieben. Das Zentrum am Berg dient dabei als Forschungsstätte zur Evaluierung dieser neuen Methoden und zur Erprobung neuerster Technologien. Mittels Laserscanverfahren werden Punktwolke-Daten erzeugt und durch den Einsatz von Algorithmen aus der künstlichen Intelligenz zu einem Bild verarbeitet. Dies ermöglicht eine Objekterkennung ähnlich einem herkömmlichen Foto. So können Objekte nicht nur identifiziert, sondern auch mit Metadaten versehen werden. Die Vision ist es, jede noch so kleine Komponente im Tunnel mit der jeweiligen Historie zu hinterlegen. Die Abfrage dieser Information ist durch einen simplen Mausklick oder mittels Wimpernschlag durch eine Datenbrille jederzeit visualisierbar. Um die Vision umsetzen, arbeiten wir am Lehrstuhl auch mit jungen kreativen Start-up Unternehmen aus ganz Österreich zusammen.

5. Genese der Vererzung

Im Interaktiven Rohstoffinformationssystem der Geologischen Bundesanstalt (IRIS; https://iris.geologie.ac.at) wird der Erzberg mit 157 weiteren Eisen- (z.B. Radmer) und Buntmetallvorkommen (z.B. Kalwang, Radmer) und ehemaligen Lagerstätten dem Eisenerzbezirk (Eisenkarbonat/Kupfer) Norische Decke (Steirischer Erzberg) zugeordnet. Diesen Vererzungen gemein sind die Position innerhalb der paläozoischen Gesteine der Norischen Decke, das häufige Auftreten von Fe-Karbonaten sowie, soweit untersucht, eine ähnliche Fluidchemie. Unterschiede bestehen in der Mineralogie, Spurenelementzusammensetzungen und Form der Erzkörper von schichtgebunden, stratiform über wolkig-diffus bis zu Gangerzen.

Die Genese des Steirischen Erzberges sowie der kleineren Eisenerzvorkommen in der näheren Umgebung wurde viel und heftig diskutiert (REDLICH, 1922; HIESSLEITNER, 1929; REDLICH & PRECLIK, 1930; THALMANN, 1974, 1978; BERAN, 1975, 1977, 1979; SCHULZ & VAVTAR, 1991; SCHULZ et al., 1997; POHL & BELOCKY, 1999; PROCHASKA, 2012, 2016). Eine wichtige Beobachtung ist, dass alle Gesteine im Lagerstättenbereich - vom Porphyroid bis in die Präbichlbrekzie - von einer Mineralisationsphase betroffen sein können. Die ursprüngliche Idee war eine Metallbringung basierend auf einer epigenetisch hydrothermalen Metasomatose im Zuge der alpidischen Orogenese. REDLICH (1922) vermutete ein junges Vererzungsalter und betrachtete die im Hangenden der Vererzung auftretenden Werfener Schichten als Permeabilitätsgrenze für aufsteigende metallhaltige Lösungen. Er stufte die Vererzung des Steirischen Erzberges als „sehr jung, das heißt nach der letzten gebirgsbildenden Bewegung“ ein. Der Erzanreicherungsprozess sei metasomatischen Ursprungs. Der Transport der Eisenionen (und untergeordnet auch Mangan- und Magnesiumionen) müsste über fluide Phasen über ein Kluftsystem erfolgt sein. Durch Reaktion mit diesen wurde eine Verdrängung der Ca-Ionen und die Bildung von Siderit bzw. Ankerit angenommen. Die zweite Erklärung der Vererzung geht von einer primär sedimentären Bildung durch submarine Exhalation von Fe-haltigen hydrothermalen Lösungen in einen flachmarinen karbonatischen Ablagerungsraum aus (SCHULZ et al., 1997). Von THALMANN (1978) aus der benachbarten Sideritlagerstätte Radmer beschriebene feinschichtig gebänderte Sideritexturen wurden als Hinweis auf Relikte einer paläozoischen schichtgebundenen Sideritvererzung interpretiert. Basierend auf gefügekundlich-petrographischen Befunden wurde die Lagerstätte daher als Produkt polygenetischer Entwicklung dargestellt, beginnend mit der prä-permischen extern-sedimentären Anlagerung von Fe-Karbonaten in devonischen Gesteinen; die dominierenden kristallinen Erzlagenbaue (Sideritmarmore) werden durch selektive diagenetische Abbildungskristallisation und variszische sowie oberkretazische Metamorphose erklärt.

Eine erste geochronologische Datierung der Siderit-Ankeritgesteine mittels der Sm-Nd Isotopenmethode an Karbonat ergab ein obertriassisches Alter (208 ± 22 Ma; PROCHASKA & HENJES-KUNST, 2009, Abb. 12). In Verbindung mit fluidchemischen Daten und einer auffallenden Ähnlichkeit zu den Magnesitlagerstätten in paläozoischen Gesteinen des Ostalpins wird nun eine postvariszische, aber präalpidische epigenetische metasomatische Verdrängung der devonischen Karbonatgesteine durch hochtemperierte (300–400 °C) evaporitische Lösungen angenommen (PROCHASKA, 2012, 2016). Die mineralisierenden Fluide stellen aufgrund ihrer stark halitfraktionierten Zusammensetzung evaporitische, residuale Meerwässer mit hoher Salinität (bis zu 23 % NaCl-Äquivalent) dar (PROCHASKA et al., 2010). Solch hochsalinare, reduzierende und saure Fluide lösten während ihrer Zirkulation in der Trias Metalle aus dem variszisch deformierten und metamorph überprägten ostalpinen Deckenstapel.

Beim Aufstieg der Lösungen bildete sich durch Umwandlung von Kalkstein bei niedrigen Temperaturen Magnesit aus Fe-freien Lösungen. Gesteins-Fluidwechselwirkungen führten zur Anreicherung von Fe und zur metasomatischen Bildung von Siderit und Ankerit aus höher temperierten Lösungen. Aufgrund der komplexen Texturen und Mineralparagenese (Abb. 9) ist von einer mehrphasigen Vererzung auszugehen. Metasomatische Prozesse während und sogar nach der kretazischen Orogenese, die im Lagerstättenbereich Temperaturen von etwa 300 °C erreichte, sind anzunehmen. Letztlich belegen die geologisch sehr jungen Alter der Erzbergite und assoziierten Dolomite die anhaltende Dynamik am und im „Steirischen Brotlaib“.

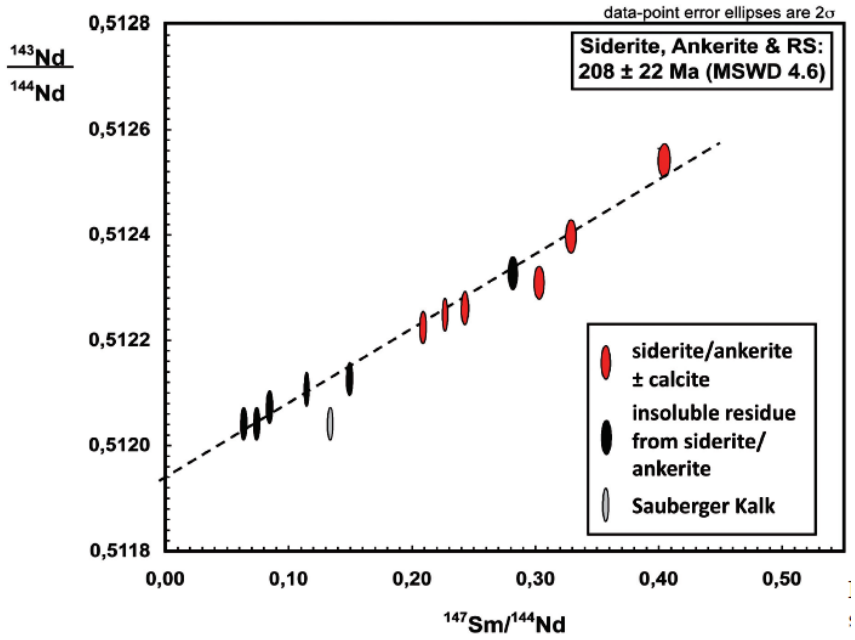

Abb. 12. Sm-Nd-Isochronendiagramm von Siderit, Ankerit und deren unlöslichen tonigen Rückständen von Proben vom Steirischen Erzberg (PROCHASKA & HENJES-KUNST, 2009).

Literatur

BALDERMANN, A., MITTERMAYR, F., BERNASCONI, S.M., DIETZEL, M., GRENGG, C., HIPPLER, D., KLUGE, T., LEIS, A., LIN, K., WANG, X., ZÜNTERL, A. & BOCH, R. (2020): Fracture dolomite as an archive of continental palaeo-environmental conditions. – Communications Earth & Environment, **1**/35.

BERAN, A. (1975): Mikrosondenuntersuchungen von Ankeriten und Sideriten des Steirischen Erzberges. – Tschermaks mineralogische und petrographische Mitteilungen, **22**, 250–265.

BERAN, A. (1977): Die Kluftankerite des Steirischen Erzberges und ihre mögliche Verwendung als Geothermometer. – Mineralium Deposita, **12**, 90–95.

BERAN, A. (1979): Die Stellung der Ankeritgesteine im Rahmen der Genese von Sideritlagerstätten der östlichen Grauwackenzone. – Tschermaks mineralogische und petrographische Mitteilungen, **26**, 217–233.

BOCH, R., WANG, X., KLUGE, T., LEIS, A., LIN, K., PLUCH, H., MITTERMAYR, F., BALDERMANN, A., BÖTTCHER, M.E. & DIETZEL, M. (2019): Aragonite-calcite veins of the ‘Erzberg’ iron ore deposit (Austria): Environmental implications from young fractures. – Sedimentology, **66**, 604–635.

EFFENBERGER, H. & MELCHER, F. (2017): Exkursion zum Steirischen Erzberg und zu den Radwerken III und IV in Vordernberg. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, **163**, 17–27.

FRIMMEL, H. (1988): Strontium isotopic evidence for the origin of siderite, ankerite and magnesite mineralizations in the Eastern Alps. – Mineralium Deposita, **23**, 268–275.

FRÜHAUF, S. (2017): Thermometrie an Erzen und Nebengesteine der Sideritlagerstätte Steirischer Erzberg. – Bachelorarbeit, Montanuniversität Leoben, 59 S.

HASITSCHKA, J. (2012): Die „Erfindung“ des steirischen Erzberges um das Jahr 712 oder: wer hat´s erfunden? – Res montanarum, Sonderband, **2012**, 11–24.

HIESSLEITNER, G. (1929): Zur Geologie der Umgebung des steirischen Erzberges. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **79**, 203–240.

HOLZER, H. (1980): Mineralische Rohstoffe und Energieträger – Erze. – In: OBERHAUSER, R. (Ed.): Der Geologische Aufbau Österreichs, 531–542.

LIBOWITZKY, E., BERAN, A. & GÖD, R. (2018): Millerite and other nickel sulphides from the siderite deposit “Steirischer Erzberg”, Styria, Austria. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, **164**, 65–76.

PAMSL, A. (2016): Montangeologische Bearbeitung der polymetallischen Eisenerze am Steirischen Erzberg. – Masterarbeit, Montanuniversität Leoben, 94 S.

POHL, W. & BELOCKY, R. (1999): Metamorphism and metallogeny in the Eastern Alps. – Mineralium Deposita, **34**, 614–629.

PROCHASKA, W. (2012): Die Sideritvererzungen des Steirischen Erzbergs – aktueller Stand der Forschung. – Res montanarum, Sonderband, **2012**, 189–198.

PROCHASKA, W. (2016): Genetic concepts on the formation of the Austrian magnesite and siderite mineralizations in the Eastern Alps of Austria. – Geologia Croatica, **69**, 31–38.

PROCHASKA, W. & HENJES-KUNST, F. (2009) Genese der Sideritvererzungen der Östlichen Grauwackenzone – aktueller Stand der Forschung. – Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2009 – Leoben, Blatt 101 Eisenerz, 153–169.

PROCHASKA, W., EBNER, F., BRYDA, G. & KOÇIU, A. (2010): Sideritlagerstätte des Steirischen Erzberges und Paläozoikum der Grauwackenzone am Polster/Präbichl. Exkursionsführer PANGEO 2010. – Journal of Alpine Geology, **53**, 47–62.

REDLICH, K.A. (1922): Der Erzzug Vordernberg – Johnsbachtal. I. Eisenerz. – Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, **15**, 207–262.

REDLICH, K.A. & PRECLIK, K. (1930) Zur Tektonik und Lagerstättengenesis des steirischen Erzberges. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **80**, 231–260.

SCHÖPFER, G. (2012): Der steirische Erzberg und die industrielle Entwicklung Österreichs. – Res montanarum, Sonderband, **2012**, 25–31.

SCHULZ, O. & VAVTAR, F. (1991) Anlagerungs- und Korngefüge als Merkmale für sedimentär-metamorphe Genese der Sideritlagerstätte Steirischer Erzberg. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **13**, 215–231.

SCHULZ, O., VAVTAR, F. & DIEBER, K. (1997): Die Siderit-Lagerstätte Steirischer Erzberg: Eine geowissenschaftliche Studie, mit wirtschaftlicher und geschichtlicher Betrachtung. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **20**, 65–178.

SPINDLER, P. (1991): Neue Untersuchungen zur Mineralogie und Geochemie der Basisbreccie des Steirischen Erzberges, Österreich. – Sitzungsberichte der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abteilung I, **199**, 1–26.

STROHMAIER, B. (2009): Der Kalkstock in der Sideritlagerstätte des Steirischen Erzbergs. – Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben, 147 S.

THALMANN, F. (1974): Probleme der Abbauplanung und Qualitätssteuerung am Steirischen Erzberg in Abhängigkeit von den geologisch-mineralogischen Verhältnissen. – Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, **66–67**, 245–263.

THALMANN, F. (1978): Zur Eisenspatvererzung in der nördlichen Grauwackenzone am Beispiel des Erzberges bei Eisenerz und Radmer/Bucheck. – Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **1978**, 479–489.

UMFER, H. (2012): Abbautechnik am Steirischen Erzberg einst, heute und morgen. – Res montanarum, Sonderband, **2012**, 217–229.