

Die Metallogeneese der Ostalpen Vorstellungen einst und heute

Leopold WEBER, Wien

Einleitung:

Wenn schon über die Genese einer einzelnen Lagerstätte diskutiert wird, wie sehr erst über die Metallogeneese eines ganzen Orogens?

Die ersten Vorstellungen über eine gesetzmäßige Verteilung der Erzlagerstätten im Ostalpenraum stammen von Bartel GRANIGG (1912), der sich die gerade aufkommende Lehre eines Deckenbaus zunutze machte. Ein weiterer Versuch erfolgte durch Wilhelm PETRASCHECK (1926), der die Vererzungen der Ostalpen auf einen zentralen, tief liegenden Pluton zurückführte. Alexander TORNQUIST versuchte kurz darauf nachzuweisen, dass zumindest die ostalpinen Blei-Zinklagerstätten zwar alpidisch, aber keineswegs zeitgleich entstanden sind. Sowohl die Vorstellungen einer Bindung an tektonische Einheiten sowie einer unitaristischen Lagerstättenbildung wurden in den Folgejahren von Robert SCHWINNER äußerst emotional bekämpft. Zu Beginn der 1950er Jahre wurden abermals an Hand der Blei-Zinkerzlagerstätten die Vorstellungen der ostalpinen Metallogeneese deutlich revidiert, zumal bei den kalkalpinen Blei-Zinkvererzungen eine sedimentäre Lagerstättenbildung favorisiert und dadurch das Denkmodell der „Unitaristen“ stark erschüttert wurde.

Eugen STUMPFL versuchte eine Brücke zwischen „Plutonisten“ (Befürworter einer magmatogenen Entstehung der Lagerstätten) und „Neptunisten“ (Befürworter einer marinen, sedimentogenen Lagerstättenbildung) zu schlagen: *„Eine Anzahl der größten Buntmetall-Lagerstätten der Welt hat sich, wie wir jetzt sehen, auf dem Meeresboden, also im Bereich Neptuns, gebildet. Gewiss ist die Zufuhr der Metalle nicht einfach der Ausfällung aus dem Meerwasser, sondern eher der Mischung metallreicher Lösungen mit dem Meerwasser zuzuschreiben. Nur selten hat Pluto, i.e. magmatische Aktivität direkt mitgewirkt. Viel eher sind hydrothermale Systeme, d.h. die Zirkulation von niedrigtemperierten Lösungen auf die Verfügbarkeit tektonischer Strukturen und auf lokal erhöhten Wärmefluss zurückzuführen.“* (STUMPFL 1988).

Nicht nur in der Vergangenheit wurden die Diskussionen äußerst lebhaft geführt. Gelegentlich kann dies mit der Reaktion flüssiger Laven mit dem Meerwasser verglichen werden. Wurden zu Beginn des 20. Jahrhunderts die ersten metallogenetischen Modelle lediglich auf Grund theoretischer Überlegungen abgeleitet, haben ab der Mitte des 20. Jahrhunderts vermehrt geochemische Methoden zur Klärung genetischer Zusammenhänge beigetragen.

In unzählbaren wissenschaftlichen Veröffentlichungen wurden einzelne Rohstoffvorkommen beschrieben und auch auf deren mögliche Entstehung eingegangen. Nur wenige behandeln aber in einer integrierender Weise die Rohstoffführung des alpinen Orogens.

Im Zuge der Erstellung der metallogenetischen Karte Österreichs wurden nicht nur grundlegende, neue Erkenntnisse über den tektonischen Aufbau der Ostalpen und der Böhmisches Masse erstmals zusammengetragen, sondern auch die Ergebnisse moderner Untersuchungsmethoden (Geochemie, Isotopen, flächendeckende geochemische und aeromagnetische Untersuchungen des Bundesgebietes) berücksichtigt. Die vorliegende Arbeit stellt zwar noch keine ausführliche metallogenetische Analyse des ostalpinen Vererzungsgeschehens, wohl aber eine Neuinterpretation dar. Dabei haben sich auch überraschende Erkenntnisse ergeben, die die komplexe Metallogeneese der Ostalpen in einem völlig neuen Licht erscheinen lassen. Neueste Ergebnisse von Isotopenuntersuchungen bei den Eisenspatvererzungen des Steirischen Erzbergs, den Magnesiten der Veitscher Decke sowie den kalkalpinen Blei-Zinkvererzungen weisen nämlich auf obertriadische bis unterjurassische Ereignisse hin, die mit keinen tektonischen, magmatischen oder metamorphen Ereignissen zusammenfallen.

„Nappismus“ ja oder nein?

Einer der ersten, der eine Bindung von Rohstoffvorkommen an bestimmte geologisch-tektonische Ein-

heiten erkannte, war der Leobener Lagerstättenforscher Bartel GRANIGG (**Abb. 1**). Er versuchte, die geradezu revolutionären Erkenntnisse der erst jungen Lehre vom Deckenbau der Ostalpen auf die Lagerstättenführung und die Auswirkungen auf die Lagerstättenuche anzuwenden. Auf die Entstehung der Lagerstätten ging er aber nicht ein. Er konnte aber aufzeigen, dass bei kartenmäßiger Betrachtung der Verteilung der Lagerstätten eines bestimmten Typs dieselbe Metallvergesellschaftung oft auf mehrere hundert Kilometer im Streichen verfolgbar sei. Auch in der Richtung senkrecht zum Streichen ließe sich mancher Lagerstättentypus bis zu 100 km verfolgen (**Abb. 2**) „...Man kann somit wohl mit Recht von ostalpinen Metallzonen sprechen...“ (GRANIGG 1912).



Abb. 1: B. GRANIGG
(Sammlung B. HUBMANN)

Auf Grund der Verteilung dieser Metallzonen auf einer geologischen Karte sei deutlich zu erkennen, dass die großen geologischen Einheiten ihre ganz eigentümliche Erzführung aufweisen, bzw. dass eine und dieselbe Metallzone in ihrer ganzen Erstreckung dasselbe, oder nahezu dasselbe geologische Niveau beibehalte, eine Erscheinung, die als die „geologische Niveaubeständigkeit der ostalpinen Metallzonen“ bezeichnet werden könne. Er unterscheidet eine Reihe von bedeutenden Erz-zonen:

I) Die Aureole von Gold-, Silber- und Kupfererz-lagerstätten der Zentralkerne der Hohen Tauern und ihrer Schieferhülle.

II) Die Erzlagerstätten in den Muralpengesteinen (Schladminger Deckengesteine), und zwar:

- A) Die metasomatische Spateisensteinlagerstätten vom Typus Zeyring – Hüttenberg.
- B) Die Kieslager zwischen den beiden Typen Lambrechtsberg und Oeblarn.
- C) Die arsenigen Goldquarzgänge.
- D) Der reine Bleiglanz-Zinkblende-Typus.

III) Die Lagerstätten der nördlichen Grauwackenzone inklusive der Spateisenstein-, Kupferkies-, Fahlerz-lagerstätten an der Basis der ostalpinen Trias, und zwar:

- A) Die kristallinen Magnesite des Karbons der nördlichen Grauwackenzone.
- B) Die Spateisenstein-, Kupferkies-, Zinnober-, Fahlerz-lagerstätten vom Silur bis zur Basis der ostalpinen Trias.

IV) Die Lagerstätten des zentralalpiner (ostalpinen) Paläozoikums und des Paläozoikums unmittelbar nördlich des Drauzuges, und zwar:

- A) Die der nördlichen Grauwackenzone analogen Magnesite.
- B) Die der nördlichen Grauwackenzone entsprechenden Zinnober-Fahlerzvorkommen.
- C) Die Eisensteinlagerstätten dieser Zone.
- D) Die Bleiglanz-Zinkblende-Lagerstätten dieser Zone.

V) Die Bleiglanz-Zinkblende-Lagerstätten der ostalpinen Trias, und zwar:

- A) Die nördliche Bleiglanz-Zinkblende-Zone zwischen Vorarlberg und Tiirnitz in Niederösterreich.
- B) Die südliche Bleiglanz-Zinkblende-Zone zwischen dem Jaucken (Gailtal) und dem Ursula-berg (kärntnerisch-steirische Grenze).

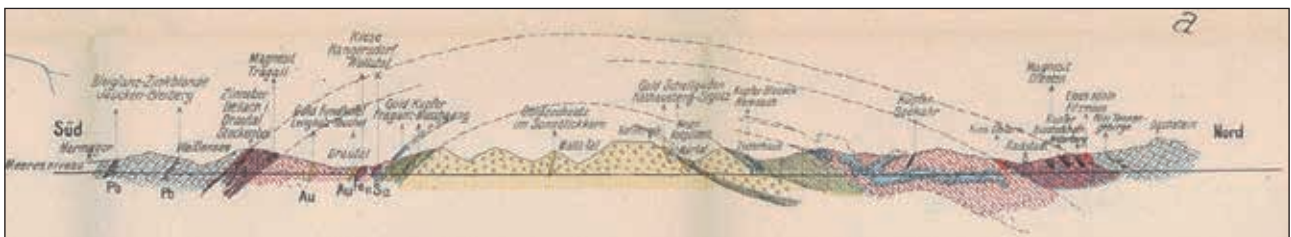


Abb. 2: aus GRANIGG, 1912
(Fig. 1: Schematischer Schnitt durch die Metallzonen am Ostende der Hohen Tauern)

Aus der Form der Mineralisationen leitete B. GRANIGG eine „Trimorphie“ der ostalpinen Lagerstätten ab: „...In den Graniten und Gneisen herrschen echte Gänge, in den geschieferten Gesteinen hängen Lagergänge, Linsen und ausgefüllte Rütterzonen oder Aufblätterungszonen (oft von namhaften Metasomaten begleitet), während im Kalk endlich, Stöcke und Butzen, Säulen und Schläuche die typischen Formen der Lagerstätten sind...“

Von Interesse waren für GRANIGG aber die Beziehungen zwischen den Lagerstätten und dem Deckenbau. Unter der Annahme, dass die Vererzungen älter als der Deckenbau seien, zog er den Schluss, dass die in den überschobenen Decken gelegenen Lagerstätten nur eine beschränkte Tiefe hätten, die im Maximum gleich der Tiefe jener Decke sei, in der die Lagerstätten einsetzen. Dabei wies er vor allem aber auf die Möglichkeit hin, die ursprünglichen Wurzeln dieser Lagerstätten dort zu suchen, von wo die einzelnen Decken abgeschert sind. Eine altersmäßige Einstufung der Bildungsprozesse der einzelnen „Erzzonen“ erfolgte aber nicht. Die Vererzungen der Ostalpen sind daher im Sinne GRANIGGS prätektonischer Natur.

„Unitarismus“ und Blutsverwandschaft: ja oder nein?



Abb. 3: Wilhelm PETRASCHECK (Archiv MUL)

Einen fundamentalen Versuch, insbesondere die Genese der ostalpinen Vererzungen zu interpretieren, unternahm Wilhelm PETRASCHECK (Abb. 3). Auch er wies wie GRANIGG auf Grund der auf Lagerstättenkarten erkennbaren Verteilung bestimmter Rohstoffvorkommen auf einen Zonarbau hin.

Hieraus schloss er jedoch, dass die Entstehung der Lagerstätten jung und auf einen hypothetischen magmatischen Tiefenherd zurückzuführen seien. Er wies aber darauf hin, dass die Lagerstätten jünger als der Deckenbau wären und widersprach damit der Auffassung von GRANIGG (PETRASCHECK [1926a, b]).



Abb. 4: Alexander TORNQUIST, um 1915 (Archiv TU Graz, Fotosammlung Personen)

Die räumliche Anordnung der Lagerstätten führte er auf ein Temperaturgefälle zurück. Insbesondere versuchte er darzulegen, dass vor allem die Goldquarzgänge der Zentralzone, die Sideritvererzungen und die mit diesen in engem Zusammenhang stehenden

Kupfervererzungen der Grauwackenzone, die Magnetitlagerstätten der Grauwackenzone und die „metasomatischen Blei-Zinkerzlagerstätten der Kalkalpen im Norden und Süden“ allesamt jung seien: „... Resümierend kann gesagt werden, dass die drei großen Gruppen epigenetischer Lagerstätten der Ostalpen, die Golderzgänge, die Siderit- und Kupferlagerstätten und auch die Blei-Zinklagerstätten an einer Reihe von Fällen erkennen lassen, dass sie jünger als die Hauptfaltung der Ostalpen sind. Die Dislozierungen, welche die Lagerstätten zeigen, sind kaum größer zu nennen, als jene, welche beispielsweise die tertiären Kohlenflöze erkennen lassen. Zeichen der Durchbewegung fehlen den Erzen. Die Störungen, welche die Lagerstätten zeigen, haben mehr den germanotypen Charakter der jüngsten tektonischen Phasen. Aus diesen Erscheinungen kann man auf Einheitlichkeit im Alter bei den Lagerstätten schliessen...“ Diese Lagerstätten seien somit gemeinsam entstanden. Als Quelle der mineralisierenden Lösungen wurden Exhalationen eines erkalten Magmas im Kern des Faltengebirges angenommen. Diese Anschauung eines einheitlichen, jungen Vererzungsvorganges der Ostalpen wurde auch als „unitaristische Vererzungstheorie“ bekannt.

Im Sinne W. PETRASCHECKS erfolgte das junge Vererzungsgeschehen im Wesentlichen posttektonisch.

Durch erzmikroskopische und geochemische Detailuntersuchungen versuchte der Grazer Lagerstättenforscher Alexander TORNQUIST die Metallogenese der Ostalpen näher aufzulösen (Abb. 4). Insbesondere wies er an Hand der Blei-Zinkvererzungen der Ostalpen auf junge, alpidische, altersmäßig jedoch

unterschiedliche Vererzungsvorgänge hin. Dabei maß er den Blei-Zinkvererzungen des Grazer Paläozoikums (Rabenstein, Haufenreith) eine besondere Bedeutung zu. Seine Erkenntnisse unterscheiden sich wesentlich von der Auffassung W. PETRASCHECKS:

In seinen unmittelbar nach der Veröffentlichung von PETRASCHECK erschienenen Arbeiten über die Blei-Zinklagerstätte von Rabenstein im Murtal stellte er die obermiozänen bis altplozänen („pontischen“) Blei-Zinkerz-Lagerstätten vom Typus Bleiberg in den Karawanken und den Gailtaler Alpen einem oberkretazischem bis mitteloligozänem Typus Rabenstein gegenüber (TORNQUIST 1927a, 1928a,b). Allein diese Feststellung widerspricht der unitaristischen Metallogeneese im Sinne W. PETRASCHECKS.

Nach TORNQUIST (1929a) sei der älteste Vererzungsvorgang der Zeitspanne von mittlerer bis oberer Kreide auf Hydrothermen eines tonalitischen Magmas zurückzuführen (Rabenstein). Der zweitälteste Vererzungsvorgang, beginnend im Untermiozän sei aber aus Lösungen eines quarzdioritischen Magmas (andesitischer Effusion) entstanden (beispielsweise Litija = Littai). Der jüngste Vererzungsvorgang sei im Pontikum (Jungpliozän) aus Hydrothermallösungen eines basaltischen Magmas erfolgt (Bleiberg-Kreuth). Somit widersprach er damit indirekt auch der von W. PETRASCHECK angenommenen Blutsverwandtschaft der metallhaltigen Lösungen.

In weiteren Arbeiten wurden zur Klärung der Metallogeneese auch geochemische und mineralparagenetische Aspekte herangezogen und magmennähere („perimagmatische“) von magmenferneren („apomagmatischen“) Vererzungen unterschieden (TORNQUIST 1930a): So seien die Ag-Sb-Erzlagerstätten in den östlichsten Ostalpen jungkretazisch und perimagmatisch aus tonalitischem Magma entstanden. Die ursprünglich oberflächlich ausgeschiedenen Typen seien durch Gebirgsabtragung nicht mehr vorhanden. Dagegen seien durch tertiäre Tektonik jene Lagerstätten vom Typus Wölch-Oberzeiring und Offberg in Remschnigg an die Erdoberfläche gelangt.

Als apomagmatisch seien die Blei-Zinkerzlagerstätten vom Typus Haufenreith mit akzessorischen perimagmatischen Erzen und Rabenstein ohne solche, beide im Grazer altpaläozoischen Gebirge zu deuten.

Im Altmiozän seien die Vererzungen in den Savefalten aus andesitisch-dazitischem Magma entstanden. Perimagmatisch seien die Antimonerzlagerstätten vom Typus Trojane, apomagmatisch die Zink-Bleierzlagerstätten vom Typus nördlich Schönstein (Sostan), südlich Litija (Littai), sowie die Quecksilberlagerstätten vom Typus Idria entstanden.

Als Vererzungen des Miozäns am und vor dem Ostrand der Alpen seien die perimagmatischen Antimonerzlagerstätten vom Typus Schlaining (Burgenland), des Wetterbauersattels (Grazer Paläozoikum) zu deuten. Apomagmatische Vererzungen seien aber noch unbekannt.

An Hand der As-Konzentrationen insbesondere in den Blei- und Zinkerzen versuchte TORNQUIST (1930b) weitere metallogenetische Unterschiede abzuleiten. Demnach seien die jungkretazischen Zinkblenden As-reich, der Bleiglanz As-frei, die miozänen Zinkblenden und Bleiglanze As-frei, sowie die pliozänen Zinkblenden As-reich und der Bleiglanz As-reich bis -hältig.

Schlussendlich weitete TORNQUIST seine metallogenetischen Überlegungen auch auf weitere Lagerstätten der Ostalpen aus. Er deutete die perimagmatischen As-Au-Erzlagerstätten der Hohen Tauern, die As-Ni-Co-Erzlagerstätten der Schladminger Tauern sowie die apomagmatischen Pb-Zn-Erzlagerstätten von Bleiberg-Kreuth und jene von Raibl als Bildungen eines und desselben Vererzungsvorganges pliozänen Alters (TORNQUIST 1931, 1933a,b,c).

In einer weiteren Arbeit präziserte TORNQUIST (1932) seine Erkenntnisse, indem er eine jungkretazische, eine altmiozäne und eine altplozäne Vererzungsperiode unterschied und magmennähere von magmenferneren Vererzungen differenzierte:

I. Jungkretazische Vererzungsperiode:

Perimagmatische (relativ magmanähe) Lagerstätten: *vorwiegend Kupferkies, hoch silberhaltiger Bleiglanz, Bournonit, Polybasit, ausgezeichnet durch Antimon- und Silbergehalt und geringeren Arsen- und Goldgehalt. Typus: Oberzeiring in Obersteiermark, Schneeberg in Südtirol.*

Apomagmatische (magmaferne) Lagerstätten: *Blei-Zinkerz-Lagerstätten, gegen die perimagmatische Grenze Kupferkies aufnehmend. Bleiglanz mit wenig Silber (200 bis 460 g/t Erzschlich). Typus: Rabenstein, Haufenreith im Grazer Gebirge.*

II. Altmiozäne Vererzungsperiode:

Perimagmatisch: Kupferkies-Antimonfahlerz-Lagerstätten mit Boulangerit und Antimonitlagerstätten, fast arsen- und goldfrei. Reine Antimon-Silberlagerstätten. Typus: Abfalterbach – Tilliach in Osttirol. Trojane in den Savefalten in Jugoslawien.

Apomagmatisch: Blei-Zinkerz-Lagerstätten mit wenig Kupferkies, praktisch silberfrei (20 g/t Bleiglanzschlich) und Quecksilberlagerstätten. Typus: St. Veit, Silberleiten in Nordtirol (?). Littai in den Savefalten in Jugoslawien, Idria.

III. Altplioizäne Vererzungsperiode:

Perimagmatisch: Arsenkies-Kupferkies-Boulangerit-Lagerstätten mit Bi, Ni und Co. Ausgesprochene Arsen-Goldlagerstätten mit wenig Antimon- und geringem Silbergehalt. Typus: Rathausberg, Siglitz in den Hohen Tauern (Salzburg), Mitterberg bei Bischofshofen. Schladming, Kobalt-Nickel-Arsenfahlerze

Apomagmatisch: Blei-Zinkerz-Lagerstätten mit kleinen Spuren von Silber. Typus: Bleiberg-Kreuth in den Gailtaler Alpen. Raibl in den Julischen Alpen. Auronzo in den Venetianer Alpen.

Die unitaristische Vererzungstheorie, die insbesondere von Wilhelm PETRASCHECK, später auch von Walther Emil PETRASCHECK favorisiert wurde, war seit Anbeginn nicht unumstritten. So wiesen CLAR und FRIEDRICH erstmals auf einen Zusammenhang zwischen Metallogenese und Metamorphosen hin (CLAR & FRIEDRICH ([1933]) (Abb. 5, 6).

FRIEDRICH (1937) hob die kennzeichnendsten Hauptelemente der ostalpinen Hauptvererzung aus seiner Sicht hervor: Diese wären die hofartige Anordnung um die Zentralmassive der Hohen Tauern, die Übereinstimmung der Mineralfazies mit jener der von den Zentralgneisen ausgehenden Regionalmetamorphosen, eine gesetzmäßige chemische Übereinstimmung und ausgezeichnete Vergleichbarkeit in der Ausscheidungsfolge, die er auf einen einheitlichen Ursprung zurückführte. Schließlich erkannte er eine Übereinstimmung im tektonischen Schicksal, insbesondere, dass sich die Lagerstätten jünger als die Haupttektonik erwiesen. Die Zufuhrwege der mineralisierenden Lösungen seien Gangspalten, aber auch Bewegungsbahnen an Deckengrenzen. Die Form der Vererzungen sei eng von den Bildungsbedingungen abhängig. Metalllösungen,

die entlang von Spalten hochdrangen, seien als Gänge ausgebildet, die nachträglich tektonisch zu Lagergängen umgewandelt worden seien.



Abb. 5: Eberhard CLAR (aus: PISTOTNIK, 1996)



Abb. 6: Othmar Michael FRIEDRICH (Archiv MUL)



Abb. 7: Robert SCHWINNER (Sammlung B. HUBMANN)

Sehr deutlich ablehnend äußerte sich jedoch Robert SCHWINNER (Abb. 7) insbesondere zum „orthodoxen Nappismus“ (R. SCHWINNER 1934). Im Gegensatz zu GRANIGG und W. PETRASCHECK, die einen auf ein Temperaturgefälle von innen nach außen erkennbaren Zonarbau und eine von den Bildungstemperaturen abhängige Lagerstättenverteilung ableiteten, versuchte SCHWINNER an Hand des Schlüsselementes Arsen nachzuweisen, dass ein Zonarbau im Sinne der Interpretation von W. PETRASCHECK nicht vorstellbar wäre.

Auch in seiner wenige Jahre später veröffentlichten Arbeit (SCHWINNER 1942) nahm er gegen die Auffassungen GRANIGGs und W. PETRASCHECKs vehement Stellung: „Demgemäß hatte schon bald, nachdem der Nappismus in den Ostalpen hereingebrochen war

(TERMIER 1904), GRANIGG (1917) (recte 1912!) diese Lehre als Grundlage für ein System der ostalpinen Lagerstätten auszuwerten versucht, und diese sehr übersichtlich in einer großen schematischen Lagerstättenkarte der Ostalpen dargestellt – damit allerdings auch gleich ohne Absicht, aber augenfällig aufgezeigt, dass in der Lagerstättenlehre mit dem orthodoxen Nappismus nach TERMIER nicht viel anzufangen ist“.

Vielmehr nahm SCHWINNER sehr ausführlich zur Darstellung der Lagerstätten von SCHNEIDERHÖHN (1941) auf einer Kartengrundlage von R. STAUB äußerst kritisch Stellung: „Der Verfasser (SCHNEIDERHÖHN, Anmerkung des Autors) hat nämlich nicht erkannt, dass STAUBs Karte einzig die Darstellung eines theoretischen Gedankengebäudes ist, und versucht, ihr Beziehung zu tatsächlicher geologisch – petrographischer Gegenständlichkeit zu geben. Das konnte nicht gut ausgehen!“

In seiner Replik ging CLAR (1945) deutlich auf die Kritik SCHWINNERs ein und legte aus seiner Sicht die seiner Meinung nach wohl eindeutigen Zusammenhänge zwischen Metallogenese und einer (alpidischen) Metamorphose dar, indem er die Auffassung von W. PETRASCHECK ausdrücklich unterstützte. „...Das heißt letztlich, wir können heute die alpidische Vererzung zugleich mit der alpidischen Metamorphose als Folgeerscheinung nur den tiefentektonischen Umwälzungen der alpidischen „Hauptbewegungsphase“ und den damit zusammenhängenden Wärme- und Lösungsbewegungen zuordnen...“. Er wies aber auch noch auf das Problem der Genese der Magnesitlagerstätten hin, die schwer aus einem sauren Hydrothermalregime ableitbar wären.

Abermals nahm SCHWINNER im Jahre 1946 äußerst kritisch auf die Annahmen CLARS und W. PETRASCHECKs zu einer unitaristischen, jungen Vererzung der Ostalpen Stellung, indem er systematisch fehlende Zusammengehörigkeit dieser vier Lagerstättengruppen und den Zonarbau zu widerlegen versuchte:

- 1) Die As-, Au-Vorkommen nach Art der Tauerngänge.
- 2) Die metasomatischen Lagerstätten vom Grauwackentypus, und zwar:
 - 2a) Magnesite vom Typus Veitsch,
 - 2b) Siderite (Typ Erzberg) und Fe-, Cu- und andere Sulfide.

3. Die metasomatischen Pb-, Zn-Lagerstätten (Kalkalpen).

Da bereits CLAR auf das Spatmagnetitproblem hinwies, zumal die Magnetitbildung nur schwer einem sauren Magmenregime zuzuordnen wäre, wäre die Säule 2a der unitaristischen Metallogenese nicht mehr tragfähig. Die Zone 2b zeige keinen erkennbaren Zonarbau.

Die Siderite der Zone 2b hätten im Süden kein Gegenstück, kein Grund also, sie einer Vererzung zuzuschreiben, die von der Mittelachse der Zentralalpen ausgegangen wäre.

Durchaus bemerkenswert ist dabei SCHWINNERs Hinweis zur Säule 3, dass es auch für die kalkalpinen Blei-Zinkerzlagerstätten keinen Grund gäbe, sie unmittelbar einer magmatischen Abfolge einzureihen, ja nicht einmal dafür, ihnen überhaupt einen magmatischen Ursprung zuzuschreiben. „Gegen diese Annahme spricht, daß diese Lager nicht bloß an einen bestimmten stratigraphischen Horizont gebunden sind, sondern sogar an eine bestimmte Fazies der Trias...“ (SCHWINNER 1946).

Insbesondere in seiner 1949 erschienenen Arbeit „Gebirgsbildung, magmatische Zyklen und Erzlagerstätten in den Ostalpen“ bezweifelte SCHWINNER erneut nicht nur die Existenz eines „Über-Plutons“, sondern versuchte, einzelne Lagerstätten in magmatische Zyklen eines Orogenstadiums einzugliedern. An magmatischen Zyklen unterschied er (SCHWINNER 1949):

- 1) Vorläufer: basische Ergüsse, meist submarin in die Geosynklinalen.
- 2) synorogene granitische Intrusionen, und zwar sind zu unterscheiden:
 - a) Hochphase: syntektonische Granitgneise und Migmatite in konkordanten Linsen,
 - b) Spätphase: durchgreifende granitische Stöcke mit normalem Hornfelskontakt.
- 3) Ausklang, Ergüsse, meist sauer; hydrothermale Bildungen.
- 4) Nachzügler: basischer Vulkanismus (kann lang anhalten).

Die Vorläufer (1) brächten jeweils nur wenig Erz „und nur solches, das zu den ‚grünen Gesteinen‘ passt“. Die Intrusionen der Hochphase (2a, konkordante Granitgneislinsen) seien arm bis ganz frei von

Erz. Der Haupterzgehalt des ganzen, bei der Orogenese in Umsatz gebrachten Magmas käme mit diskordant durchbrechenden Graniten der Spätphase (2b), besonders mit ihrem Differentiationsgefølge, oder noch später mit den saureren Ergüssen (3) und den an sie anschließenden hydrothermalen Bildungen in die Höhe. Die Nachzügler (4) seien wieder meist basische, sterile Laven.

An orogenen Zyklen unterschied er die „Algoman-Orogenese“, die „variszische Orogenese“ und die „alpine Orogenese“. „...Nach dem Vorstehenden ist klar, dass die unitaristische Hypothese der einheitlichen jungen Vererzung der Ostalpen von falschen Voraussetzungen ausgeht...“; „... Im Algoman-Zyklus haben die Vorläufer (1) immerhin etwas Erz gebracht, als magmatische Ausscheidung, Chromeisen in Peridotit (Kraubat), Kiese in Amphibolit („Branden“, wie diese Imprägnationen in den Schladmingern genannt werden – und wie man sie übrigens ganz gleich in der unteren Hochalmhülle, z. B. im Radlgraben bei Gmünd, findet). Konkordante Granite (2a) bringen überhaupt wenig Erz, außerdem erweist sich in jeder komplexen Region der erste Zyklus als verhältnismäßig arm...“; „...Vom variszischen Zyklus kennen wir wenig Vorläufer (1), und diese haben kaum Erz gebracht – ausgenommen ein paar magmatisch ausgeschiedene Magnetitknödel: Platte Graz – und auch die syntektonischen Intrusionen (2a) nicht...“; „...Vom alpidischen Zyklus haben die Vorläufer (1) Erz kaum gebracht, konkordante Massive (2a) sind nicht bekannt. In der Nähe der diskordanten Massive (2b), Predazzo, Adamello, ist einiges Erz bekannt, dürfte aber eigentlich eher an späteren Gängen (3) hängen. Zur selben Phase (3) gehören die Dacite und Andesite, die in den Südalpen vom Bacher bis zur karnischen Hauptkette große Entwicklung zeigen, aber nicht viel Erz gebracht haben – im Gegensatz zum Verhalten dieser Förderungen im Karpathengebiet. Zur gleichen Phase (3) ist auch der hydrothermale Nachschub zu rechnen, welcher die jung, vielleicht steirisch aufgerissenen Gangspalten der Hohen Tauern gefüllt hat. Die Nachzügler (4) die atlantischen Basalte des Alpenostrandes, haben, der Regel entsprechend, Erz nicht gebracht. Mit den Kalkalpen-Pb-Zn-Lagerstätten steht es ähnlich wie mit dem Spateisen-Erzberg; da ist noch die Vorfrage zu klären, ob wirklich aus „magmatischer Abfolge“, wieso diese magmatische Einwirkung auf eine bestimmte Triasfazies gebunden ist,

und warum diese Zone gegen W weitergeht, in die Lombardei, die inneren, magmennäheren Zonen aber nicht?“

Aufbauend auf der neu erschienenen Lagerstättenkarte (FRIEDRICH [1953]) unterstrich CLAR abermals, dass die größten Gruppen der ostalpinen Erzlagerstätten jünger als der Deckenbau seien, sowie dass auch manche Überschiebungsbahnen „selbst entgegen manchen theoretischer Erwartung die Vererzung an sich ziehen“ (CLAR 1953a, b).

In seiner umfassenden Arbeit „Die Vererzung der Ostalpen gesehen als Glied des Gebirgsbaues“ wies FRIEDRICH (1968) darauf hin, dass die vom „Kohlengeologen“ W. PETRASCHECK abgeleitete unitaristische Vererzungstheorie wohl zu allgemein wäre. FRIEDRICH und CLAR hätten immer wieder die Beziehungen zwischen Vererzung und Metamorphose aufgezeigt.

Die Neptunisten...

Die Initialzündung für die grundlegende Neuinterpretation der Genese der kalkalpinen Blei-Zinkvererzungen war die Bearbeitung durch SCHNEIDER (1953) und TAUPITZ (1954), durch welche der Nachweis einer sedimentären Anreicherung erbracht wurde. Damit wurde ein wesentlicher Eckpfeiler des unitaristischen Gedankenmodells ausgedreht. Rasch formierte sich eine aus namhaften Lagerstättenforschern bestehende Arbeitsgruppe, der u. a. Albert MAUCHER, Hans-Jochen SCHNEIDER (Deutschland), Luciano BRIGO, Paolo OMENETTO (Italien), Ivo STRUCL (Slowenien) und Maria SASS-GUSTIEWICZ (Polen) angehörten, zu der im Laufe der Zeit auch die Österreicher Ludwig KOSTELKA, Oskar SCHULZ, Walter SIEGL und Erich SCHROLL dazustießen.

CLAR (1955) nahm zu dieser Neuinterpretation kritische Stellung, indem er sowohl die „etablierte Lehrmeinung“ der epigenetischen Entstehung verteidigte, ohne aber die Neuerkenntnisse zu ignorieren: „...Gleichgültig wie das schließliche Ergebnis sein wird, ist doch sicher, daß die Beobachtungen von TAUPITZ und SCHNEIDER der Erforschung der kalkalpinen Pb-Zn-Lagerstätten einen mächtigen Impuls geben, der vor Erstarrung schützt...“

In gleicher Weise verteidigte er aber seine und die Auffassung W. PETRASCHECKs neuerlich, indem er angebliche primäre sedimentäre Anlagerungsgefüge bzw. sogar sekundäre Umlagerungsphäno-

mene bei Magnesitmineralisationen als nicht eindeutig genug erachtete: „Aber um diese Umlagerung ausreichend zu begründen, wird es notwendig sein, die Existenz wenigstens von Resten syngenetisch – sedimentärer Gefüge zwingend zu beweisen. Das steht aber noch aus, so daß die hydrothermal – epigenetische Deutung nicht erschüttert ist“ (CLAR 1956).

Auch FRIEDRICH stand den Erkenntnissen von SCHNEIDER und TAUPITZ, wonach alle kalkalpinen Blei-Zinklagerstätten sedimentär entstanden seien, ebenso wie den Annahmen einer sedimentären Magnesitgenese vorerst kritisch gegenüber. Er war überzeugt, dass in vielen Fällen Überschiebungsbahnen, geologische Störungsflächen als Leitlinien für die Vererzung wirkten.



Abb. 8: Gruppenfoto der „Blei-Zinkgruppe“ 1958 (Sammlung O. SCHULZ)

Im Jahre 1958 fand in Bleiberg eine wissenschaftliche Veranstaltung statt, anlässlich welcher namhafte Vertreter der Wissenschaft und des Bergbaues teilnahmen: J. BOLZE (Paris), Arnold CISSARZ (Berlin), Wolfram ENZFELDER („1“, Bleiberg), Norbert GLANTSCHNIGG (Bleiberg), Otto HEMPEL (Scharnitz), Herbert HOLLER („6“, Klagenfurt), Ferdinand JEDLICKA (Bleiberg), Franz KAHLER („5“, Klagenfurt), Ludwig KOSTELKA (Klagenfurt), Walther Emil PETRASCHECK („3“, Leoben), Winfried POESNIG (Leoben), Hermann RAINER (Bleiberg), Gerhard REHWALD (Bad Ems), Hans-Jochen SCHNEIDER (München), Oskar SCHULZ („4“, Innsbruck), E. SEELIGER (Berlin), Walter SIEGL („2“, Leoben), Karl Christoph TAUPITZ („7“, Düsseldorf) und Emil TSCHERNIG (Klagenfurt). Das Bild zeigt einen Teil der Exkursionsteilnehmer während der Grubenbefahrung vom 6. November 1958. Das Foto (**Abb. 8**) stammt aus der Sammlung von O. SCHULZ. Bemerkenswert ist in



Abb. 9: Oskar SCHULZ (Sammlung O. SCHULZ)

diesem Zusammenhang, dass sich sogar der damalige Vorstand der BBU an der wissenschaftlichen Diskussion beteiligte. Die wesentlichen Ergebnisse wurden von L. KOSTELKA und W. SIEGL zusammengefasst (KOSTELKA & SIEGL [1959, 1960]).

Aufbauend auf den Untersuchungen von SCHNEIDER und TAUPITZ wies auch Oskar SCHULZ (**Abb. 9**) auch bei weiteren karbonatgebundenen Blei-Zinkvererzungen der Nördlichen Kalkalpen und des Drauzugmesozoikums, ebenso aber auch bei zahlreichen weiteren Erzvorkommen anderer tektonischer Einheiten auf deren Horizontgebundenheit und synsedimentäre Entstehung hin (SCHULZ 1954, 1955, 1956, 1957, 1958, 1960a, 1960b, 1964, 1966a, 1966b, 1967, 1968, 1983).

Weitere grundlegende Arbeiten, die die sedimentäre Entstehung der kalkalpinen Blei-Zinkerzlagerstätten unterstreichen, stammen in der Folge von KOSTELKA (1965, 1971a,b, 1972), sowie CERNY (1989).

In diesem Zusammenhang darf auf zahlreiche weitere Arbeiten von SCHULZ verwiesen werden, in denen auf die Schicht- und Horizontgebundenheit ostalpiner Lagerstätten hingewiesen wurde (Eisenspatvererzungen: SCHULZ [1971, 1977]; Kupfererz- und polymetallische Lagerstätten: SCHULZ [1972a,b]).

In mehreren zusammenfassenden Arbeiten zog Oskar SCHULZ den Schluss, dass die Neuergebnisse über ostalpine Erzlagerstätten die in den letzten Jahren immer stärker in den Vordergrund getretene Auffassung einer zeitlich vielphasigen Metallogene vom Präkambrium bis in das Mesozoikum unterstützten (SCHULZ [1974, 1979a,b, 1986]). Wesentliche Metallanreicherungen hätten schon im Laufe des Paläozoikums stattgefunden. Schwerpunkte der Lagerstättenbildung lägen im Altpaläozoikum (Cu, Fe, W, Sb, Hg, Pb, Zn, Au, Mg) und in der mittleren Trias (Pb, Zn). Die meisten Erzkörper erwiesen sich als schicht- und zeitgebunden und

lassen im Nebengestein entsprechende diagenetische und tektonische, gegebenenfalls auch metamorphe Veränderungen erkennen. Extrusive thermale Metallzufuhren in marinen Ablagerungsräumen würden vorherrschen.

Erich SCHROLL (**Abb. 10**) leistete mit seinen umfangreichen, vor allem systematischen Untersuchungen von Spurenelementen und Isotopenverhältnissen ostalpiner Erze Pionierarbeit. Seine Untersuchungsergebnisse sind auch heute noch eine wesentliche Grundlage für die österreichische Lagerstättenforschung (SCHROLL 1951, 1953a,b,c, 1954a,b, 1955, 1959, 1961a,b, 1967, 1971, 1978, 1979a,b, 1981, 1983, 1984a,b, 1985a,b,c,d, 1995, 1996, 1997, SCHROLL & AZER [1959], SCHROLL & EICHER [1978], SCHROLL & KÖPPEL [1978], SCHROLL & PAK [1980, 1983], SCHROLL & WEDEPOHL [1972], SCHROLL, SCHULZ & PAK [1983], SCHROLL, PAPESCH & DOLEZEL [1985], SCHROLL, SIEGL & PAPESCH [1986], SCHROLL, SIEGL & PAK [1989], SCHROLL, KÜRZL, et al. [1990], SCHROLL, KÜRZL & WEINZIRL [1994]).



Abb. 10: Erich SCHROLL
(Foto: L. WEBER)

und 12) weitete in der Folge die „unitaristische Vererzungstheorie“ seines Vaters auf das alpin mediterrane Orogen aus: Dieses gliederte er in drei Längsabschnitte, von denen jede eine eigene metallogenetische Provinz darstellt:

- 1) die ostmediterrane Provinz (Kleinasien, Balkanhalbinsel, Ostkarpaten),
- 2) die westkarpatisch-alpine Provinz und
- 3) westmediterrane Provinz (Apennin, Betische Kordilliere, Atlas).

Auch HEGEMANN (1958a, b, 1960) versuchte die synsedimentäre Genese der ostalpiner karbonatgebundenen Blei-Zinkvererzungen sowie einer Reihe von oxidischen Eisenerzen auf geochemischem Wege aufzuzeigen.

Walther Emil PETRASCHECK (1963) (**Abb. 11**



Abb. 11: Walther Emil PETRASCHECK (Archiv MUL)

so wie Pb-Zn-Vorkommen des Iskertales und die Sideritlagerstätten Bulgariens und Rumäniens. Die westkarpatisch-alpine Erzprovinz hätte einen ganz anderen Charakter. Die Mehrzahl der Lagerstätten, darunter die wirtschaftlich bedeutendsten, seien auf keine sichtbaren magmatischen Erscheinungen zurückzuführen.



Abb. 12: Walther Emil PETRASCHECK „jun.“ (links) und Wilhelm PETRASCHECK „sen.“ (rechts) (Archiv MUL)

gehende Metallzufuhr zurückgeführt wurde. Unter Einbeziehung der Erkenntnisse von CLAR und FRIEDRICH, die erkannten, dass zeitliche und mineralfazielle Beziehungen der Vererzung zur spätalpinen Kristallisationsmetamorphose bestünden, seien demnach die erzbringenden Lösungen von gemischt magmatogener-metamorphogener Herkunft, entstanden in den wiederaufgeschmolzenen Krustenbereichen unter den Zentralalpen. Der alpine Geosynklinalvulkanismus hätte nur unbedeutende Kiesvorkommen geliefert. Auch bei den kalkalpinen Pb-Zn-Lagerstätten sprächen zahl-

Fast alle Erzlagerstätten der ostmediterranen metallogenetischen Provinz seien eindeutig jungen magmatischen Zentren zuordenbar, deren intrusive und extrusive Gesteinsgesellschaft in der nächsten Umgebung der Lagerstätten sichtbar sei. Nur wenige Lagerstätten seien von unbekannter Herkunft,

Nach wie vor wäre auf die großzügige zonale Anordnung hinzuweisen, die von Wilhelm PETRASCHECK (1926) auf eine einheitliche, von einem magmatischen Herd unter den Zentralalpen aus-

reiche Indizien für eine posttektonische hydrothermale Bildung. Für eine sedimentäre Entstehung sprächen echt-sedimentäre Erzgefüge, die nach SIEGL z. T. als Füllung von Lösungshohlräumen auch epigenetisch erklärbar wären. „...Fehlt somit in der westkarpatisch-alpinen Erzprovinz zumeist eine erkennbare Zuordnung der Lagerstätten zu sichtbaren magmatischen Zentren, so ist ihre tektonische Kontrolle sowie z. T. eine gewisse stratigraphische Kontrolle umso deutlicher...“ Die Lagerstätten seien an tiefgreifende, schuppenartige Störungslinien (Grauwackenzone, die quergreifende Görschitzfalllinie in den östlichen Zentralalpen, die Zips-Gömörer Erzlinien), an kuppelartige Aufwölbungen (östliche Hohe Tauern) und ganz besonders an Deckengrenzen geknüpft.

Die westmediterrane Erzprovinz sei nach W. E. PETRASCHECK (1963) nicht besonders erreich. An jungen Vulkanismus seien die Eisenlagerstätten von Elba, die Quecksilberlagerstätten von Monte Amiata und die südspanischen Blei-Zinklagerstätten gebunden. Auch andere Lagerstätten wären auf jungtertiären Vulkanismus zurückzuführen. W. E. PETRASCHECK stellt resümierend fest, dass die allermeisten Lagerstätten Kleinasiens und Südeuropas plutogen bis subvulkanisch, durch magmatische Vorgänge vom Eozän bis zum Miozän entstanden seien. Die Lagerstätten lägen in nächster Nähe der Eruptiva. Die Erzlagerstätten der Westkarpaten und der Alpen seien aus Lösungen gebildet worden, deren Zusammensetzung auf plutonische und metamorphe Herkunft schließen lasse. „...Ihre Bildungszeit scheint nicht überall unbestritten nach Fertigstellung des Deckenbaues zu liegen, dürfte aber nicht ganz einheitlich sein und sich von der Mitteltrias bis zum Oligozän erstrecken. Die Anordnung der Lagerstätten der Ostalpen entspricht einem großzügigen Zonarbau mit symmetrisch abnehmender Bildungstemperatur von einem Tiefenherdbereich unter den Zentralalpen. Die Lagerstätten der Westmediterranen Erzprovinz zeigen nur auf Elba, in Südspanien und an der algerischen Küste eine eindeutige Zugehörigkeit zu einem jungtertiären Magmatismus...“

Trotz dieser Unterschiede glaubte W. E. PETRASCHECK (1963) aber nach wie vor an eine gemeinsame Bildungsursache der Lagerstätten in den drei metallogenetischen Provinzen: „...Da nun die oberkretazisch-tertiäre Metallogenese in der ostmediterranen Provinz magmatogen ist, wird auch der oberkretazisch-tertiäre Magmatismus der beiden ande-

ren Provinzen, wenngleich er weit weniger deutlich mit den Lagerstätten verknüpft ist, für viele von ihnen heranzuziehen sein...“

In seiner 1966 erschienenen Arbeit verwies er darauf, dass zwar noch keineswegs alle Probleme der Blei-Zinkerzlagerstätten in den Kalkalpen widerspruchslos seien, räumte allerdings ein, dass es nunmehr fast sicher sei, dass die oberste, kühlthermale Blei-Zinketage des einheitlichen Zonengebäudes zu streichen sei (W. E. PETRASCHECK 1966). Demgegenüber stellte er die Bildung der Blei-Zinkerzlagerstätten des Grazer Paläozoikums in eine mittelkretazische Vererzungsphase.

Magnetitgerölle in Werfener Sandsteinen, die auf ein prätriadisches Alter hinweisen könnten, seien von SIEGL (1964) als Neubildungen interpretiert worden. Nach wie vor verwies er auf die Beobachtung, dass der Magnetit der Ostalpen nicht viel höher als die untere Trias hinaufsteige und schloss eine (junge) epigenetische Magnetitbildung nicht aus.

Ausgewalzte, vererzte Basiskonglomerate der Werfener Schiefer waren für ihn ein weiteres Argument, dass auch die Sideritlagerstätten nicht nur postskythisch, sondern auch „orogen-alpidisch“ sei: „...Also fand die Sideritzufuhr des Erzbergs und der verwandten Lagerstätten nach einer Deckenbewegung statt...“. Selbstkritisch wies er auch darauf hin, dass noch eine Erscheinung mit dem einheitlichen metallogenetischen Zonengebäude nicht gut vereinbar sei: „...Es fehlen die mineralparagenetischen Übergänge zwischen den Hauptzonen – seitlich ebenso wie nach der Tiefe...“ W. E. PETRASCHECK (1966). Zusammenfassend stellt W. E. PETRASCHECK fest, dass die Metallogenese zeitlich nunmehr auf die ganze Evolution der Ostalpen vom alpinen Geosynklijalstadium bis das spätorogene tonalitische Intrusionsstadium auseinandergezogen werden müsse.

In seiner 1974 erschienenen Arbeit verwarf er weitgehend die Vorstellungen einer einheitlichen tertiären Metallogenese „...The idea of a uniform Tertiary metallogenesis in the Alps, propagated fifty years ago and accepted over many decades, is no longer tenable in the light of new ideas and valuable results of investigations by Professor Maucher and his school. Maucher and Schneider (1967) and later Schulz and Kostelka (1973) have found that the lead-zinc deposits in the Southern Kalkalpen, which show both syndimentary and epigenetic

features, were formed in Triassic times...“ (W. E. PETRASCHECK [1974]). Auch wies er darauf hin, dass auch paläozoische Bildungsalter von Lagerstätten angenommen werden müssen.

Bereits Mitte der 70er Jahre wurden eine Reihe plattentektonischer Modelle für den Ostalpenraum entwickelt. Dabei wurde auch versucht, die Vererzungen der Ostalpen auf plattentektonische Ereignisse zurückzuführen. W. E. PETRASCHECK (1976) versuchte zu erklären, warum einerseits die Westalpen verglichen mit den Ostalpen bemerkenswert arm an Erzlagerstätten seien, andererseits, ob die Kupfer-Dominanz des Nordstammes und die Blei-Zink-Dominanz der südlichen Abschnitte ebenfalls auf plattentektonische Ereignisse zurückzuführen sei. Die Erzarmut der Schweizer Alpen erklärte er in der Weise, dass die penninischen Sedimente der Westalpen zumindest teilweise auf Ozeanböden abgelagert worden wären, während die penninischen Sedimente in den Ostalpen von einer sialischen Kruste unterlagert wären. In dieser waren seiner Meinung nach die Metalle vorkonzentriert und durch Mobilisation entsprechend transportiert worden. Die Kupfer-Vormacht im Nordteil des alpinen Orogens deutete er als Folge einer Subduktion einer ophiolithführenden Eugeosynklinale, die ursprünglich nahe der Südgrenze der europäischen Platte angeordnet war. Durch Palingenese wären schließlich die Metalle sowohl aus den Gesteinsabfolgen der Eugeosynklinale als auch der sialischen Kruste mobilisiert worden, die schließlich zur Bildung der Kupfer-, Eisen und Magnesit-Vererzungen führten, die bemerkenswerterweise oft durch Spuren von Cr und Ni als direkte Zeugen von Ultrabasiten „kontaminiert“ waren. Die Vormacht von Blei und Zink in den zentralen bzw. südlichen Teilen des alpinen Orogens interpretierte er als „metallogenetische Vererbung“. Der gesamte Bereich bestünde neben den Sedimenten der früheren Tethys aus zahlreichen Mikrokontinenten, die einst sowohl vom europäischen als auch vom nordafrikanischen Block herührten. Insbesondere das paläozoische Grundgebirge mit seinen reichen Pb-Zn-Vererzungen stelle eine bedeutende Metallkonzentration dar, die während der kretazischen und der tertiären Orogenphasen in das magmatogene Geschehen miteinbezogen worden wären.

Noch in seiner 1986 erschienenen Arbeit „The Metallogeny of the Eastern Alps in Context with the Circum-Mediterranean Metallogeny“ erneuerte

W. E. PETRASCHECK zwar die Ansicht eines jungen Vererzungsalters und verwies auf die Ergebnisse moderner Untersuchungsmethoden, wie Geochronologie, aber auch auf die Tatsache, dass durch die Ergebnisse derartiger Untersuchungsmethoden auch offene Probleme geschaffen wurden. Viele Altersbestimmungen hätten einen Zeitraum zwischen 70 und 120 Ma ergeben, in welchem auch das Metamorphosegeschehen in den Ostalpen ablief: „...From all these findings we may conclude that a regional thermal and in some way also metallogenic event has occurred during this epoch and that the outdated idea of an Upper Cretaceous-Tertiary metallogeny in the Alps was not so misleading. This event probably depends on the amount of fluids, which have been set free by the metamorphism...“

Die sedimentäre Erstanreicherung der kalkalpinen Blei-Zinkerzlagerstätten stand für W. E. PETRASCHECK bereits seit den frühen 1970-er Jahren außer Zweifel. Resümierend stellte er dennoch fest, dass eine tertiäre metallogenetische Epoche in den Alpen wahrscheinlicher sei als eine derartige in der Kreide. Dafür sprächen vor allem die Golderzgänge in den Hohen Tauern, die alle alpidischen Deckenstrukturen durchschneiden. Möglicherweise eoänen Alters wären die Sideritlagerstätten der Steiermark und Kärntens, zumal diese ein posttektonisches Gefüge aufwiesen und teilweise auch triassische Kalksteine mineralisiert waren. Die Antimonerzlagerstätten des Ostendes der Zentralalpen könnten auf den in der Nähe befindlichen Andesit zurückgeführt werden. Eine besondere Eigenheit der alpinen Metallogenese sei in der Tatsache begründet, dass flach liegende Subduktionszonen bestünden, durch welche lediglich der oberste Mantelbereich betroffen sei, sowie die ungewöhnliche Ansammlung von Deckensystemen in der kontinentalen Kruste, die das Aufdringen kretazisch-tertiärer Magmen verhinderten.

Die detaillierte Untersuchung der Sideritvererzungen der östlichen Grauwackenzone sowie der Kalkalpenbasis durch BAUMGARTNER (1977), HORTEL (1977) sowie WEBER (1977) erbrachte schließlich auch den Nachweis, dass diese keineswegs einheitlich, sondern mehrphasig entstanden sind. Neben präalpidischen Sideritvererzungen (Typus Erzberg) existieren fazies- und schichtgebundene lagerförmige Anreicherungen in den Prebichlschichten. In den untertriadischen Werfener Schichten wurden erstmals sedimentäre Eisensilikat-Ei-

senkarbonatvererzungen nachgewiesen. Darüber hinaus wurden auch alpidische Sideritgänge in den Werfener Schichten beschrieben, die an ein Klufsystem vorgosauischen Alters gebunden sind.

Es zeigt von Größe, wenn ein berühmter Lagerstättenforscher wie W. E. PETRASCHECK, selbst lange Zeit Architekt und lebhafter Befürworter der unitaristischen Hypothese, von der mittlerweile veralteten Auffassung schließlich abrückte und nach jahrzehntelanger wissenschaftlicher Tätigkeit seiner 1989 erschienen Arbeit „Die Entwicklung der Vorstellungen über die Metallogenese der Ostalpen“ die nachstehenden Zeilen voransetzte: „...*Die erste Auffassung* (gemeint ist die Anordnung der Lagerstätten in bestimmten stratigraphischen und tektonischen Einheiten, Anm. des Verfassers) *hat sich als richtig erwiesen. Die Blei-Zink-Erze der Kalkalpen wurden während der Trias teils syngenetisch durch aufsteigende Lösungen längs eines Rifts gebildet. Bei den polymetallischen Lagerstätten der Grauwackenzone und der Zentralalpen stehen mehrphasige Bildung oder Remobilisation zur Diskussion. Der Einfluß metamorphogener Fluide muß in Betracht gezogen werden...*“ (W. E. PETRASCHECK [1989]).

Komplementär zu den Untersuchungen an kalkalpinen Lagerstätten widmete sich seit den späteren 1960er Jahren Werner TUFAR den Mineralisationen im kristallinen Anteil der Ostalpen. Dabei gelang ihm der Nachweis, dass zahlreiche Erzvorkommen des ostalpinen Altkristallins nicht nur ein präalpidisches Alter aufweisen, sondern dass sie sogar durch Metamorphosen präalpidisch und alpidisch überprägt worden sind. Darüber hinaus versuchte er, bei zahlreichen Erzvorkommen deren syngenetische Entstehung mit dem Nebengestein nachzuweisen (TUFAR 1963, 1965, 1968, 1969, 1971a,b, 1972a,b,c, 1974, 1975, 1977, 1980a,b,c, 1981).

Wie sehr die Auffassung über die Entstehung von Lagerstätten im Laufe der Zeit variieren kann, zeigt das Beispiel der Wolframerzlagerstätte Mittersill in Salzburg. Nach Entdeckung dieser Lagerstätte, noch basierend auf dem Maucher'schen Modell einer zeit- und schichtgebundenen W-Sb-Hg Formation (HÖLL [1979]; HÖLL & MAUCHER [1976]) galt diese als Typlokalität stratiformer/schichtgebundener syngenetisch/syndiagenetischer Scheelitvererzungen.

Nach Entdeckung des K1-K3 Gneises und seiner Vererzungen im Zuge der Auffahrung des Westfelds

und seiner Datierung als variszischer Granit wurde dieses Modell in Frage gestellt und als granitgebundene Lagerstätte interpretiert (PESTAL [1983]; BRIEGLEB et al. [1985, 1991]; TRUDU & CLARK [1986]; RAITH & STEIN [2006]).

Selbst von den Mitarbeitern der Arbeitsgruppe von HÖLL wurde das syngenetische Modell zuletzt verworfen. Auch hier wurde die Bedeutung fraktionierter Granite für die Lagerstättenbildung nicht mehr in Frage gestellt, allerdings wurde die Bildung der primären W-Vererzung mit den älteren kambrischen Granitgneisen (K2 Gneis etc.) in genetischen Konnex gebracht. Es wurde ein zweiphasiges Vererzungsmodell mit einer 1. Vererzungsphase im Kambrium (ca. 520 Ma) und einer 2. Vererzungsphase zeitgleich mit dem K1-K3 Gneis um ca. 340 Ma entwickelt (EICHHORN et al. [1993]; HÖLL & EICHHORN [2000]).

Scheelit 1 aus dem Scheelit-Reicherz des Ostfeldes und die K2-Vererzung im Westfeld wurden zur älteren Phase gerechnet. Scheelit 2 wurde als intensivere Mobilisation des älteren Stoffbestandes erklärt (siehe z. B., EICHHORN & HÖLL, et al. [1997]).

Die variszische und alpidische Metamorphose verursachten weitere Mobilisationen von Scheelit. Im Licht der neuen variszischen Altersdaten von Molybdänit und vor allem von Scheelit 1 scheint auch dieses komplizierte Modell nicht mehr aufrecht zu halten zu sein. Basierend auf den neusten Untersuchungen wird die Lagerstätte Felbertal von den Autoren dieses Beitrags daher als polymetmorph überprägte granitgebundene Stockwerk-Ganglagerstätte variszischen Alters interpretiert.

Den Metamorphose-Ereignissen, die die ostalpinen Einheiten in unterschiedlichem Ausmaß überprägen, muss heute mehr denn je Bedeutung zugemessen werden. Ein weiteres Beispiel für eine metamorphogene Lagerstättenbildung sind die Goldvererzungen des Penninikums.

Isotopenanalysen – „der“ Schlüssel für Interpretation des Bildungsalters?

Tatsächlich lassen moderne wissenschaftliche Methoden, insbesondere die Untersuchung von Spurenelementkonzentrationen, Isotopenverhältnissen, Flüssigkeitseinschlüssen u. a. die Genese der Lagerstätten und deren Alter in einem neuen Licht erscheinen. SCHROLL (1990) wies darauf hin, dass

mehr als 80 % aller Erz- und Mineralvorkommen in voralpinen geologischen Einheiten liegen. Darin wird ein Hinweis gesehen, „...dass ein nicht unwesentlicher Anteil des Stoffinhaltes der Mineralisationen der Ostalpen auf eine alte Anlage zurückzuführen sein muss...“ Darüberhinaus würden die geochemischen Daten in Verbindung mit geologischen und mineralogischen Beobachtungen sowie geochronologischen Daten eine ausgeprägte stratigraphische Bindung der Erzmineralisationen erkennen lassen.

Abermals steht das Alter der Sideritvererzung des Steirischen Erzberges in Diskussion, nachdem mittels der Sm-Nd Methode Alter von 208 ± 22 Ma ermittelt wurden (PROCHASKA & HENJESKUNST, F. [2009]). Auch das Alter der Magnesitlagerstätte der Breitenau (223 ± 10 Ma; HENJESKUNST et al. [2014]) lässt an den bisherigen Auffassungen Zweifel aufkommen.

Die Arbeiten an der Metallogenetischen Karte Österreichs – Grundlage einer integrativen Betrachtung des metallogenetischen Geschehens

Der Fachausschuss für Lagerstättenforschung des Bergmännischen Verbandes Österreich hat sich im Jahre 1992 unter der Federführung des Autors dieser Arbeit zum Ziel gesetzt, die Metallogenese im ostalpinen Raum sowie der Böhmisches Masse näher zu erforschen.

Bereits 1997 wurde erstmals auf Grundlage einer von F. EBNER neu kompilierten tektonischen Karte 1:500.000 eine gedruckte Metallogenetische Karte Österreichs, sowie ein umfangreiches Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs (Erläuterungen zur metallogenetischen Karte Österreichs 1:500.000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe) herausgegeben (WEBER, L. ed. [1997]). Mitarbeiter an dieser Lagerstättendokumentation und an der Interpretation waren: I. CERNY, F. EBNER, R. EICHHORN, G.B. FETTWEIS, W. FRANK, R. GÖD, M.A. GÖTZINGER, W. GRÄF, W. GÜNTHER, R. HÖLL, E.C. KIRCHNER, V. KÖPPL, H. MALI, F. MELCHER, W. PAAR, W. PROCHASKA, J.G. RAITH, G. RANTITSCH, R.F. SACHSENHOFER, E. SCHROLL, O. SCHULZ, R. SEEMANN, A. SPIELER, G. STERK, W. TUFAR, F. VAVTAR und A. WEISS.

Im Jahre 2002 erschien die erste digitale metallogenetische Karte, die als CD-ROM verfügbar gemacht wurde.

In weiterer Folge stießen W. BERNHARD, G. DAXNER, M. HEINRICH, T. KNOLL, P. KOLLEGER, W. MÖRTH, W. POSTL, C. REICHL, A. SCHEDL, C. STRANZL und K. WEIDNER zum Team.

In kollegialer Zusammenarbeit wurden die damaligen Erkenntnisse der modernen Lagerstättenforschung zusammengetragen. Insbesondere wurde versucht, die zahlreichen Rohstoffvorkommen der Ostalpen und der Böhmisches Masse nach Gemeinsamkeiten wie gleicher Stoffbestand, gleiche Lagerstättenform, gleiche stratigraphische / lithologische Bindung, gleiche tektonische Position zu ordnen. Von Rohstoffvorkommen mit solchen Gemeinsamkeiten kann nämlich angenommen werden, dass sie auch gleichartig entstanden sind. Derartige Rohstoffvorkommen wurden daher zu abgrenzbaren metallogenetischen Bezirken zusammengefasst. Dabei konnte klar aufgezeigt werden, dass der Lagerstätteninhalt der einzelnen metallogenetischen Bezirke zum weitaus überwiegenden Teil auf äußerst unterschiedliche Entstehungsgeschichten hinweist.

Seit den frühen 2000er Jahren wurde zudem auch die Architektur der Ostalpen neu aufgearbeitet. Grundlegende wissenschaftliche Neubearbeitungen, insbesondere des präalpinen Basements waren für den Lagerstättenausschuss weiterhin Grund genug, die gesamte Rohstoffdatenbank im Hinblick auf die moderne tektonische Gliederung gründlich zu überarbeiten.

Ralf SCHUSTER kompilierte eine neue tektonische Karte Österreichs, welche durchaus mit einem „Abriss eines Gebäudes mit anschließender Neuerrichtung“ verglichen werden kann. Wesentliche Entscheidungshilfen lieferten dabei die zahlreichen Daten über das unterschiedliche, aber für die einzelnen tektonischen Einheiten jeweils charakteristische Metamorphosegeschehen, die es erlaubten, geologisch-tektonische Einheiten mit gleicher Metamorphosegeschichte zusammenzufassen. Somit entstanden auch je eine Karte der variszischen, permischen und kretazischen Metamorphose-Events (Kompilationsmaßstab jeweils 1: 1 Mio.).

Auf Basis dieser neuen Ergebnisse und Erkenntnisse wurden nunmehr über 6000 Rohstoffvorkommen in mehr als 200 metallogenetische Bezirke aufgliedert. Jedem dieser einzelnen metallogenetischen Bezirke ist eine eigenständige zeitliche Bildungsgeschichte, eine stoffliche Identität, insbesondere aber auch eine Bindung an eine bestimmte tektonische

Einheit zuzuschreiben. Bereits aus der Vielzahl der zeitlich und tektonisch unterscheidbaren metallogenetischen Bezirke ist die komplexe Metallogenese der alpinen Lagerstättenprovinz ableitbar (WEBER, SCHEDL & LIPIARSKI [2019]).

Die nachstehende Beschreibung der Rohstoffführung der einzelnen tektonischen Einheiten ist eine erste Interpretation und stellt noch keineswegs eine umfassende metallogenetischen Analyse des Vererzungsgeschehens der Ostalpen dar.

Die Charakteristika der in der Folge angeführten metallogenetischen Bezirke sind im „IRIS-Online“ detailliert beschrieben, sodass auf diese Ausführungen verwiesen werden darf. IRIS-Online wird zudem laufend aktualisiert.

Dieses Expert-tool „Interaktives Rohstoff-Informationssystem IRIS Online“ ist unter <https://www.geologie.ac.at/services/webapplikationen/iris-interaktives-rohstoffinformationssystem> abrufbar. In diesem kann auch auf die detaillierte Beschreibung der angeführten metallogenetischen Bezirke zurückgegriffen werden. Das Metamorphosegeschehen der einzelnen tektonischen Einheiten ist dem Thesaurus der Geologischen Bundesanstalt entnommen: <https://www.geologie.ac.at/services/thesaurus>

Subpenninikum

Die zentrale und auch tiefste Einheit der Alpen ist das **Subpenninikum**. Dabei handelt es sich um Decken von Gesteinen einer variszisch geprägten kon-

tinentalen Kruste, die aus jungproterozoischen, vorwiegend aber paläozoischen und mesozoischen Kristallinkomplexen und Metasedimentformationen aufgebaut wird. In diese Abfolgen intrudierte der **Zentralgneis**, der ebenfalls mehrfach metamorph überprägt wurde.

Wirtschaftlich bedeutend sind die Scheelitvererzungen des „Wolframerzbezirks Venediger-Deckensystem – Habach Komplex (Felbertal)“. Auf die in Zusammenhang mit den Metamorphosen entstandene polyphase Mineralisation wurde bereits verwiesen. In den variszischen Zentralgneisen und deren Hüllgesteinen („Altes Dach“) treten zudem unbedeutende kluft- bis schieferungsparallel eingelagerte Scheelitmineralisationen auf, die zu einem weiteren „Wolfram (Scheelit-) Erzbezirk Zentralgneis-Supersuite“ zusammengefasst wurden.

Aus metallogenetischer Sicht führen diese Einheiten auch Vererzungen im „Molybdän-Erzbezirk Zentralgneis-Supersuite (Alpeiner Scharte)“.

Bedeutend sind aber zweifelsohne die klassischen gang- bis kluftförmigen Vererzungen des „Golderzbezirks Venediger-Deckensystem (Rauris-Gastein-Tauerngoldgänge)“ (**Abb. 14**). Komplementär dazu bestehen die Vererzungen des „Golderzbezirks des Venediger-Deckensystems (Pölla-Maltatal)“ sowie des „Gold-(Arsen)erzbezirks Venediger-Deckensystem – Silbireck-Formation (Rotgülden-Schurfspitze)“.

Auch Buntmetallvererzungen sind im „Kupfer-Uranerzbezirk Venediger-Deckensystem – Tauern-

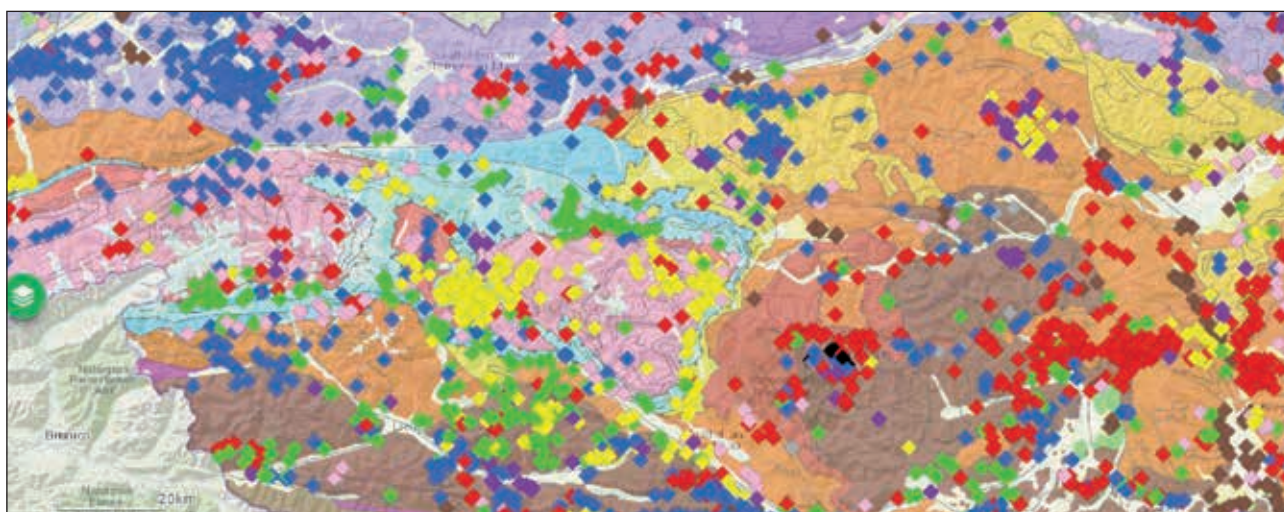


Abb. 13: Ausschnitt aus IRIS Online: Dargestellte Layer: tektonische Karte 1: 1 Mio, alle Lagerstätten (rot: Eisen- und Stahlveredler; blau: Nichteisenmetalle; violett: Sondermetalle; grün: Kieserze; rosa: Industriemineralien; braun: Energierohstoffe)

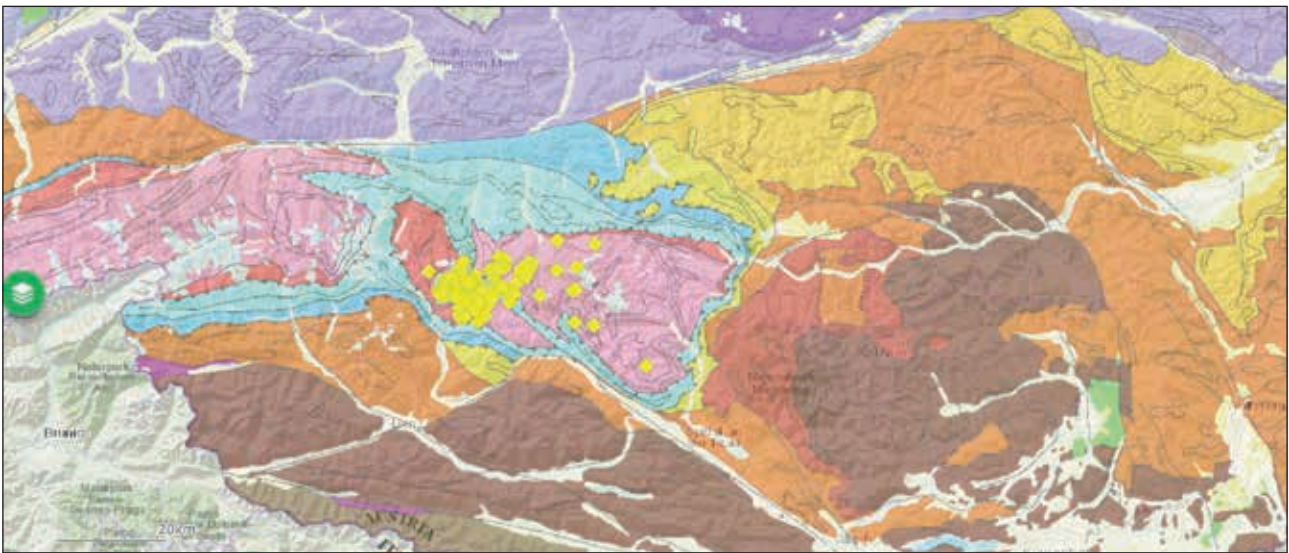


Abb. 14: Ausschnitt aus IRIS Online: Dargestellte Layer: tektonische Karte 1: 1Mio, lediglich gefiltert nach Lagerstätten des „Golderzbezirks Venediger-Deckensystem (Rauris-Gastein-Tauerngoldgänge)“

fenster (Rauris)“ entwickelt. Weiters sind polymetallische Mineralisationen im Venediger-Deckensystem im Hollersbach Komplex (Mühlbach/Brenntal, einschl. Haidbachgraben, Achselalm) bzw. – Peitingalm-Komplex (Hochfeld) bekannt.

Das subpenninische Deckensystem führt aber auch Gipsvorkommen karnischen Alters, die zu einem „Evaporitbezirk Venediger Deckensystem (Venn)“ zusammengefasst wurden.

Bemerkenswerterweise fallen die Mineralisationszeiträume der Wolfram- und Goldvererzungen mit Metamorphoseereignissen zusammen. So sind die Wolframvererzungen auf mehrere Metamorphose-events zurückzuführen, wobei jede Überprägung zu Mobilisationen und einer Verarmung der Wertstoffgehalte beigetragen hat. Der Bildungszeitraum der Tauerngoldgänge und der jüngsten (alpidischen) Wolframerzgeneration ist aber weitgehend zeitgleich. Diese Fakten sprechen somit deutlich für mehrphasige Vererzungsvorgänge, die sich mit einem unitaristischen Modell keineswegs in Einklang bringen lassen, insbesondere die Bedeutung von Metamorphosen.

Aus der Gegenüberstellung aller Lagerstätten (Abb. 13) zu jener, die lediglich die Lagerstätten des „Golderzbezirks Venediger-Deckensystem (Rauris-Gastein-Tauerngoldgänge)“ darstellt (Abb. 14), kann beispielhaft auf die Zugehörigkeit von Lagerstätten zu einzelnen genetisch unterschiedlichen metallogenetischen Bezirken rückgeschlossen werden.

Penninische Decken

In den **Unteren Penninischen Decken** sind nur wenige Erzvorkommen bekannt. Zu den bedeutendsten zählen die Vererzungen des „Antimonerzbezirks Rechnitzer Fenster (Schlaining)“. Komplementär dazu sind auch Kiesvererzungen im Bereich des Rechnitzer Fensters (Bernstein), sowie in der Bündnerschiefer-Gruppe des Tauernfensters (Hüttschlag) entwickelt, die jeweils zu eigenen Bezirken zusammengefasst wurden. Auch die polymetallischen Vererzungen der Pfunds-Zone (Pfunds) gehören einem eigenen Bezirk an. Zumindest für die sedimentogenen Kiesvererzungen kann ein jurassisches Bildungsalter vorausgesetzt werden.

Von den Goldvererzungen des Subpenninikums sind die gang- bis klüftförmigen Goldvererzungen des Glockner-Deckensystems (Hirzbach-Schiedalpe-Kloben) zu differenzieren, die sich nicht nur im unterschiedlichen Trägergestein, sondern vor allem durch eine unterschiedliche Mineralparagenese unterscheiden.

An Industriemineralen bestehen lediglich die Asbest- bzw. Talkvorkommen im Rechnitzer Fenster (Rechnitz).

In den **Mittleren Penninischen Decken** sind nur unbedeutende Mineralisationen bekannt, die einen „polymetallischen Erzbezirk Fimber-Zone (Rotenstein, Serfaus)“ bilden.

Gips tritt sowohl im Kontakt mit siliziklastischen Perm- und Unter-Trias-Gesteinen, triassischen Kar-

bonatgesteinen, als auch in jüngeren, bunten Bündnerschiefern auf. Diese wurden zu einem „Evaporitbezirk Zebblasjoch“ zusammengefasst.

In den **Oberen Penninischen Decken** sind mit Ausnahme eines kleinen Talk- und Gipsvorkommens keine bedeutsamen Mineralisationen bekannt.

Die Erzführung in den subpenninischen und penninischen Einheiten zeigt deutlich, dass die Vererzungen mehrphasig entstanden und an unterschiedliche Lithodeme gebunden, und keineswegs auf einen einheitlichen Vererzungsvorgang zurückzuführen sind.

Unterostalpin

Vererzungen sind nur im Radstadt-Deckensystem sowie im Semmering-Wechsel-Deckensystem entwickelt. Das Err-Bernina Deckensystem ist erzfrei.

Im **Radstadt-Deckensystem** sind lediglich unbedeutende Kiesvererzungen im Katschberg-Quarzphyllit-Komplex (Kleines Gurpitscheck) entwickelt.

Auch im **Semmering-Wechsel-Deckensystem** sind nur wenige Erzvorkommen bekannt. Die alpidische Metamorphose erreichte in dieser Deckeneinheit die untere Grünschieferfazies.

Die bedeutendsten sind wohl die in der **Semmering-Decke** gelegenen gangförmigen Eisenkarbonatvorkommen von Pitten, sowie die genetisch unterschiedlichen schichtkonkordanten Eisenkarbonat-Vererzungen im Permomesozoikum (Peterbauer).

Die **Wechsel-Decke** besteht aus dem präalpidisch metamorph geprägten Wechsel-Komplex und permotriassischen Metasedimenten. Die alpidische Metamorphose erreichte die untere Grünschieferfazies.

In dieser Einheit liegen die wirtschaftlich bedeutenden Leukophyllitlagerstätten von Aspang („Leukophyllitbezirk Wechsel-Decke“). In der Vergangenheit wurden auch die Barytvorkommen um den Kummerbauer Stadl („Barytbezirk Semmering-Decke“) sowie die Gipse im „Evaporitbezirk Semmering-Decke (Haidbachgraben)“ genutzt.

Galten die unterostalpinen Permoskyth-Quarzite (Semmering-Quarzit, Lantschfeld-Quarzit) bislang als „die“ Trägereinheit der ostalpinen Uranmineralisationen, haben sich im Zuge der Rekonstruktion der ostalpinen Tektonik neue, grundlegende Erkenntnisse ergeben. Uranmineralisationen sind so-

wohl im Tirolikum (Hochfilzen), im Unterostalpin (Tweng), insbesondere aber in den quarzitischen Permoskythabfolgen des Silvretta-Seckau-Deckensystems entwickelt. Überraschenderweise sind die Uranmineralisationen im Unterostalpin aber nur spurenhaft entwickelt, wogegen die bedeutendsten Vorkommen (Forstau, Rabenkoppe, Rettenegg) nicht mehr dem Unterostalpin, sondern dem oberostalpinen Silvretta-Seckau-Deckensystem angehören (siehe dieses).

Oberostalpin

Silvretta-Seckau-Deckensystem (SSD)

Das Silvretta-Seckau-Deckensystem (SSD), welches das Unterostalpin überlagert, ist die tiefste oberostalpine Einheit. Sie wird im Norden von den Decken der Grauwackenzone s.str. und im Süden vom Koralle-Wölz-Deckensystem überlagert.

Die prä-oberkarbonen Gesteine des SSD erfuhren eine variszische Metamorphose, die in weiten Bereichen amphibolitfazielle Bedingungen erreichte. Weiters finden sich in der Silvretta-Decke, in der Gaaler Schuppenzone am Hochgrössen und im Kraubath-Massiv Eklogite, für welche ein Metamorphosealter von 340 – 400 Ma angegeben werden kann. Typische Abkühlalter nach dem Höhepunkt der variszischen Metamorphose liegen im Westen in der Silvretta-Decke zwischen 315 und 295 Ma, im Osten in der Troiseck-Decke aber bei 360 – 370 Ma. Das eoalpidische Metamorphoseereignis führte in den prä-oberkarbonen Gesteinen zu einer retrograden Überprägung, während die postvariszischen Sedimente eine prograde Prägung erfuhren (Thesaurus – GBA).

Im SSD ist besonders das Fehlen von eigenständigen Eisenerzvorkommen auffallend. Auch Erze von Stahlveredlermetallen sind ausgesprochen selten und finden sich ausschließlich im proterozoischen „Chromit-Asbest-(Magnetit-)bezirk Speik Komplex (Kraubath)“. Während die Chromite wohl liquidmagmatisch entstanden sind, sind die Asbestanreicherungen auf hydrothermale Überprägung des Ultrabasisits, die Bildung der kryprokristallinen Magnesite sogar auf deszendente meteorische Wasser zurückzuführen.

Die Vererzungen des „Kupfer-Eisenerzbezirks Silvretta Decke – Venet-Komplex Landecker Phyllitgneise (Thialkopf)“ stellen stratiforme Erzlager mit

variszischer Metamorphoseprägung und postkristalliner Durchbewegung dar. Sie werden als syngenetische, prävariszische Erzanreicherungen interpretiert.

In der Silvretta Decke s.str. liegen die Kupfermineralisationen des „Kupfererzbezirks Permoskyth (Bartholomäberg)“, im Schladming-Seckau-Deckenkomplex jene des „Kupfererzbezirks Permo-mesozoikum -(Hochwurzten)“ sowie des „Kupfer-(Fahlerz-) -erzbezirks Krombach, Giglerbaue“.

Im SSD liegen eine Vielzahl von polymetallischen gang- bis kluftförmigen Erzvorkommen, von denen die bedeutendsten wohl südlich von Schladming gelegen sind („polymetallischer Erzbezirk Zinkwand-Vötternspitze“, „polymetallischer Erzbezirk Duisitz-Eschach-Roßblei“).

Die gangförmigen polymetallischen Vererzungen des Silvretta-Komplexes (St. Christoph) bilden ebenso wie die kleinräumigen Vorkommen in der Vorau-Decke (Prinzenkogel-Waldbach) sowie der Stolzalpen-Decke (Schwabegg-Ruden) eigenständige metallogenetische Bezirke.

Nicht unbedeutend sind die in diesem Deckenkomplex entwickelten Golderzbezirke in der Gaal-Schuppenzone (Flatschach-Knittelfeld), sowie im Speik-Komplex (Kothgraben), die sich aber von den Au-Vererzungen der penninischen Einheiten durch ihre unterschiedliche Mineralparagenese grundsätzlich unterscheiden.

Mit Ausnahme der oberostalpinen Uranvorkommen in den Permoskythabfolgen der Nordtiroler Kalkalpen wurden die an Permoskythquarzite (Semmering-Quarzit, Lantschfeld-Quarzit) gebundenen Uranvorkommen stets dem Unterostalpin zugeordnet. Die Neuauflösung der tektonischen Einheiten der Ostalpen hat aber ergeben, dass die bedeutendsten ostalpinen Uranerzvorkommen an die Permoskythabfolgen des SSD gebunden sind, wogegen jene in den Abfolgen des Unterostalpins nur von marginaler Bedeutung sind. Die Uran-Vorkommen des SSD (insbesondere Forstau, Rabenkoppe, Rettenegg) wurden daher zu einem eigenen Uranerzbezirk zusammengefasst.

Im Vergleich zu anderen tektonischen Einheiten des Oberostalpins ist das SSD arm an Industriemineralvorkommen. Hervorzuheben sind lediglich die Mineralisationen des „Leukophyllitbezirks Klein Feistritz“ sowie des „Evaporitbezirks Pirbachkogel-

Decke (Stanz / Mürtal)“. Die Gipse dieses Bezirkes wurden vormals stets den Keuperabfolgen des Unterostalpins zugeordnet.

Somit ist auch das für das SSD eine komplexe, mehrphasige Metallogenese anzunehmen, die wesentlich durch das Metamorphosegeschehen kontrolliert wurde.

Koralpe-Wölz-Deckensystem (KWD)

Das Koralpe-Wölz-Deckensystem (KWD) überlagert das Silvretta-Seckau-Deckensystem (SSD). Im Gegensatz zum SSD fehlen transgressiv auflagernde permomesozoische Sedimente.

Die Einheiten des KWD sind zumeist von einer permischen, insbesondere aber einer eoalpinen, im Süden eklogitfaziellen Metamorphose geprägt.

Das KWD enthält eine Reihe von wirtschaftlich bedeutenden Rohstoffvorkommen. Die Eisenglimmervorkommen wurden zu einem „Eisenerzbezirk (Eisenglimmer) Lavantal-Störungssystem (Waldenstein)“ zusammengefasst (Bergbau Waldenstein/Pack!). Bis zum Ende der 1970-er Jahre wurden karbonatische Eisenerze im Bergbau Hüttenberg abgebaut. Die Vielzahl dieser Erzvorkommen bilden den „Eisenerzbezirk (Eisenkarbonat) – Plankogel-Komplex s.l. (Hüttenberg)“. Darüber hinaus bestehen im KWD weitere Erzvorkommen, die auf Grund ihrer unterschiedlichen Paragenese bzw. regionalen Verteilung zu eigenen Bezirken zusammengefasst wurden („Eisenerzbezirk [Eisenkarbonat/Kupfer] Innsbrucker-Quarzphyllit-Decke [Mölser Eisenkar]“, „Eisenerzbezirk [Eisenkarbonat] Rappold-Komplex [Kohlbach bei Salla]“).

Das KWD umfasst bemerkenswerterweise eine Vielzahl polymetallischer Vererzungen, die je nach Mineralparagenese bzw. regionaler Verbreitung in eigenständige Bezirke aufgegliedert wurden: „polymetallischer Erzbezirk Rappold-Komplex (Oberzeiring)“, „polymetallischer Erzbezirk Ennstaler-Quarzphyllite (Walchen)“, „polymetallischer Erzbezirk Stuhleck-Kirchberg-Decke (Steinhaus-Knappenkeusche)“, „polymetallischer Erzbezirk Radenthein-Komplex (Ramingstein)“, „Polymetallischer Erzbezirk - Prijakt-Polinik Komplex (Teuchl)“, polymetallischer Erzbezirk – „Glimmerschiefer Decke“ (Moosburg)“, „polymetallischer Erzbezirk Schober Decke – Durreck-Komplex (Blindistögisch)“.

Im KWD liegt auch der „Spodumenpegmatitbezirk Weinebene“. Die Vielzahl kleinräumiger Quarz-Feldspat-Spodumenvorkommen, die auf krustale Anatexis während der permischen Hochtemperaturmetamorphose zurückzuführen sind, wurden zu einem eigenständigen „Quarz-Feldspat-Spodumenbezirk-Rappold-Komplex (Hohenwart)“, ebenso wie die einstmals genutzten Gangquarz-Feldspatvorkommen der Millstatt-Decke (Spittal /Drau) bzw. des Gradisch-Kogels zu eigenen Bezirken zusammengefasst.

Die zahlreichen genetisch unterschiedlichen Goldvererzungen dieses Deckensystems lassen sich in eigenständige Bezirke einordnen, wie z. B. jene des „Golderzbezirks Pusterwald“, des „Golderzbezirks - Kliening- und Wolfsberg-Fenster (Kliening)“, sowie des „Golderzbezirks Innsbrucker-Quarzphyllit-Decke (Zell/Ziller)“.

Im KWD sind darüber hinaus eine Reihe von wirtschaftlich bedeutenden Industriemineralvorkommen entwickelt. Der Magnesit des „Magnesitbezirks – Radenthein-Komplex (Millstätter Alpe)“ unterscheidet sich signifikant von den Magnesitvorkommen der Veitscher- bzw. der Norischen Decke. Auch die Magnesitvorkommen des „Magnesit-Scheelitbezirks Innsbrucker-Quarzphyllit-Decke (Tux)“ heben sich auf Grund der unterschiedlichen Paragenese von den übrigen Bezirken merklich ab.

Die zahlreichen Vorkommen des „Talk-Leukophyllitbezirks Rabenwald-Decke (Rabenwald)“ sowie des „Leukophyllitbezirks Stuhleck-Kirchberg-Decke (St. Jakob im Walde)“ zeugen von der Bedeutung der Lagerstättenführung dieses Deckensystems.

Somit führt auch das KWD Lagerstätten, die in unterschiedlichen Zeiträumen gebildet wurden.

Ötztal-Bundschuh-Deckensystem (ÖBD):

Das Ötztal-Bundschuh-Deckensystem (ÖBD) liegt zwischen dem Koralpe-Wölz Deckensystem (KWD) im Liegenden und dem Drauzug-Gurktal Deckensystem (DGD) im Hangenden. Die Gesteinsabfolgen unterlagen einer eoalpinen Metamorphose, die von einer Epidot-Amphibolit-Fazies im Liegenden zur unteren Grünschieferfazies im Hangenden reicht und somit eine aufrechte Metamorphosezonierung darstellt.

Im ÖBD des Kärntner Raumes liegt der „Eisenerzbezirk (Eisenkarbonat) Permomesozoikum Bundschuh-

Decke (Innerkrams)“ mit seinen schichtkonkordant im Nebengestein eingelagerten Vererzungen. Im Tiroler Bereich des ÖBD liegen ebenfalls schichtkonkordant entwickelte Vererzungen des „Eisenerzbezirks (Magnetit/Hämatit) Ötztal-Decke (Basis Stubai-Brennermesozoikum) (Hoher Burgstall)“.

Bemerkenswerterweise sind in diesem Deckensystem, wenngleich regional getrennt, auch Buntmetallvererzungen sowohl im Kärntner als auch im Tiroler Bereich in Anisabfolgen entwickelt („Blei-Zink Erzbezirk Bundschuh-Decke - Stangalm Mesozoikum [Erlacher Bock]“, „Blei-Zink Erzbezirk Ötztal-Bundschuh-Deckensystem – Stubai-Brennermesozoikum [Griesbach]“).

Diese Vererzungen unterscheiden sich jedoch von den u. a. altersunterschiedlichen Mineralisationen des „polymetallischen Erzbezirk Ötztal-Bundschuh Deckensystem – Stubai-Ötztal-Komplex (Tösens)“, zu denen auch die bedeutenden Lagerstätten Schneeberg und Pflersch in Südtirol zu zählen sind.

Drauzug-Gurktal Deckensystem (DGD):

Das Drauzug-Gurktal-Deckensystem (DGD) ist das höchste tektonische Element der Ostalpen. Die Deckenkomplexe wurden vorwiegend durch eine eoalpine grünschieferfazielle Metamorphose überprägt, wobei die höchsten Decken von der Metamorphose auch verschont geblieben sind.

Im DGD sind im Gegensatz zu den anderen tektonischen Einheiten vor allem Roteisensteinvererzungen entwickelt, die an altpaläozoische Sedimentabfolgen geknüpft sind („Eisenerzbezirk [Roteisenstein] Stolzalpen Decke – Magdalensberg-Gruppe [Christofberg]“, „Eisenerzbezirk [Roteisenstein] – Sausal [Mantrach]“, „Eisenerzbezirk (Roteisenstein) Grazer Paläozoikum [Heuberggraben]“).

Schichtkonkordante, ebenfalls an altpaläozoische Gesteinsabfolgen gebundene Magnetitvererzungen liegen in der Murau Decke im Eisenerzbezirk Pisweg sowie im Eisenerzbezirk Sonntagsberg. Im Grazer Paläozoikum besteht ein vergleichbarer Eisenerzbezirk mit den Vorkommen der Platte / Graz bzw. des Plankogels.

Zum „Eisenerzbezirk (Eisenkarbonat) Grazer Paläozoikum Hackenstein-Formation (Breitenau-Schafferwerke)“ werden kleinvolumige schichtkonkordante, manganhaltige Vererzungen („Toneisensteine“) gezählt.

Eisenreiche, offensichtlich aber gang- bis klufför- mige Vererzungen des Gailtalkristallins wurden zu einem eigenen „Eisenerzbezirk (Eisenkarbonat/ Kupfer) Gailtalkristallin (Monsell)“ subsummiert.

Imprägnations- bzw. klufförmige Wolframminera- lisationen des Thurntaler Komplexes wurden zu ei- nem eigenen Lagerstättenbezirk zusammengefasst („Wolframerzbezirk – Thurntaler Komplex [Gum- riaul])“.

Für das DGD sind zwei zeitlich, genetisch und hin- sichtlich des Trägergesteins unterschiedliche Blei- Zinkvererzungen charakteristisch:

Einerseits liegen in paläozoischen Gesteinsabfolgen die schichtkonkordanten und offensichtlich sedi- mentären Vererzungen des „Blei-Zink Erzbezirks Murau-Decke (Meiselding)“ sowie des „Blei-Zink Barytbezirks Grazer Paläozoikum - Schönberg For- mation (Arzberg)“. Demgegenüber sind die Verer- zungen des „Blei-Zink Erzbezirks Murau-Decke (Vellach-Metnitz)“ gang- bis klufförmig.

Von enormer wirtschaftlicher Bedeutung waren an- dererseits die Blei-Zinkvererzungen des Drauzug- mesozoikums. Die zahlreichen Vorkommen und Lagerstätten wurden auf Grund ihrer unterschiedli- chen stratigraphischen Position in einen „Blei-Zink Erzbezirk – Drauzugmesozoikum Anis (Keller- berg)“ und einen „Blei-Zink Erzbezirk – Drauzug- mesozoikum Karn (Bleiberg)“ untergliedert. Wie- wohl eine sedimentäre Erzbildung im Anis bzw. Karn anzunehmen ist, gibt es auch Meinungen einer epigenetischen Erzanreicherung, die neuerdings durch Rb-Sr Datierung der Sphalerite mit etwa 200 Millionen Jahren (!) (Oberste Trias, Unterer Jura) gestützt werden (MELCHER, HENJES- KUNST, F. et al. 2010, HENJES-KUNST, E. 2014). Zweifelsohne können primäre Vererzungen auch durch jüngere Mobilisationsprozesse überprägt worden sein.

Kiesvererzungen, die durchwegs in altpaläozoischen Gesteinsabfolgen liegen, finden sich im „Kieserzbe- zirk Kreuzeck-Gailtaler Alpen Decke – Michelbach- Strieden Komplex (Poltitzberg)“ sowie im „Kieserz- bezirk – Thurntaler Komplex (Tessenberg)“.

Kleinräumige polymetallische Vererzungen in un- terschiedlichen Nebengesteinen, auch unterschied- licher Ausbildung und Genese wurden jeweils in einen „polymetallischen Erzbezirk – Gailtalkristal- lin (Abfaltersbach)“, „polymetallischen Erzbezirk

Permomesozoikum Seengebirge-Decke (Rosegg)“ und einen „polymetallischen Erzbezirk Altpaläozo- ikum Seengebirge-Decke (Plescherken)“ zusam- mengefasst.

Auf kontaktmetamorphe Vorgänge gehen die Verer- zungen des „polymetallischen Skarnerzbezirks Lienz-Hochstein (Lienzer Schlossberg)“ sowie des „polymetallischen Skarnerzbezirks Kreuzeck- Gailtaler Alpen-Decke – Michelbach Komplex (Schlaiten)“ zurück. Diese Vererzungen sind Reak- tionserscheinungen oligozäner Tonalitin intrusionen.

Die zu einem „Quecksilber- (Roteisenstein-)bezirk Stolzalpe-Decke – Kaser-Eisenhut-Komplex (Ho- hes Kohr)“ zusammengefassten Vorkommen liegen in vulkanogen beeinflussten Gesteinen des Silurs, wogegen die Vererzungen des „Quecksilbererzbe- zirks Grazer Paläozoikum – Rannach-Decke (Tal- lakkogel)“ in Karbonatabfolgen des Mittleren Devons liegen.

Antimonbetonte Vererzungen der Kreuzeck-Gailta- ler Alpen-Decke wurden auf Grund ihrer regionalen Verbreitung und Mineralparagenese in einen „Anti- mon-Arsen-Gold-Erzbezirk – Gaugen-Goldeck“ bzw. einen „Antimon-(Arsen)erzbezirk – Michel- bach-Strieden-Komplex (Rabant)“ unterteilt.

Im DGD finden sich überraschend wenige Vorkom- men / Lagerstätten an Industriemineralen. Ein, wengleich wirtschaftlich bedeutendes Einzelvor- kommen stellt die Magnesitlagerstätte der Breiten- nau im Grazer Paläozoikum dar. Diese unterschei- det sich sowohl in stratigraphischer als auch tekto- nischer Sicht signifikant von den Vorkommen in der „Grauwackenzone s.str. („Veitscher Decke“) bzw. den Vorkommen der Norischen Decke s.str. (Dien- ten, Hochfilzen). Wengleich für den schichtkon- kordant im Nebengestein eingelagerten Lagerstät- tenkörper eine in einem pelagischen Ablagerungs- milieu entstandene sedimentäre Bildung ange- nommen wird, werden auch jüngere Bildungsalter (223 ± 10 Ma; HENJES-KUNST et al. 2014) und somit eine epigenetische Bildung diskutiert.

Demgegenüber sind die Vorkommen des „Magnesit- (Scheelit-)bezirks Stolzalpen-Decke (Mallnock)“ kleinräumig und zeichnen sich durch ihre W-Füh- rung aus.

Die Vielzahl kleiner Gipsvorkommen wurde zu ei- nem „Evaporitbezirk Untertrias Drauzug-Gurktal Deckensystem – Drauzugmesozoikum (Villacher

Alpe)“ zusammengefasst und sind mit jenen an der Kalkalpenbasis vergleichbar.

Auch die wenigen, an den Hauptdolomit gebundenen Ölschiefervorkommen des „Ölschieferbezirks Drauzugmesozoikum (Windische Höhe – Woschakgraben) sind mit jenen des „Seefelder-Typs“ in den Nördlichen Kalkalpen altersmäßig und faziell zu korrelieren.

Wie in keiner anderen tektonischen Einheit finden sich im DGD Lagerstätten in unterschiedlicher stratigraphischer Position, unterschiedlicher Entstehung und unterschiedlicher Wertstoffführung. Dadurch werden auch die mehraktigen Vererzungsvorgänge der Ostalpen deutlich.

Grauwackenzone s.str.

Lange Zeit galt die **Nördliche Grauwackenzone** als die Hauptträgerin von wirtschaftlich bedeutenden Rohstoffvorkommen (Eisenerze des Steirischen Erzberges, Magnesite und Grafite der Veitscher Decke, Kupferkiesvererzungen der westlichen Grauwackenzone). Auf Grund des nahezu ungestörten Transgressionsverbandes zwischen der Norischen Decke mit dem Tirolikum der Nördlichen Kalkalpen wurden beide Einheiten aber zu einem eigenen **Tirolisch-Norischen Deckensystem** (TND) zusammengefasst. Somit zählen lediglich die Mineralisationen der Veitscher Decke zur Grauwackenzone s.str. Wenngleich das oberkarbone Bildungsalter der Grafitvorkommen unbestritten ist, ist das Bildungsalter der Magnesite vom Typus Veitsch nach wie vor Gegenstand lebhafter Diskussion.

Tirolisch-Norisches Deckensystem (TND)

Die tektonisch tiefere **Norische Decke** s.str. des TND führt eine Reihe von Buntmetallagerstätten, die in mehrere Bezirke unterteilt werden können: „Kupfer-Eisenerzbezirk Glemmtal-Einheit (Kupferplatte)“, „Kupfererzbezirk Mitterberg-Mühlbach-Larzenbach“ und „Kupfer-Fahlerzbezirk – Glemmtal-Einheit (Röhrrerbichl)“.

Erze des Eisens und der Stahlveredler sind im „Eisenerzbezirk (Eisenkarbonat) St. Johann-Radstadt“, im „Eisenerzbezirk (Eisenkarbonat/Kupfer) Steirischer Erzberg“ und im „Manganerzbezirk Norische Decke (Kleinveitsch)“ entwickelt.

An die Norische Decke sind die Magnesite des „Magnesit-(Eisenkarbonat-)bezirks Dienten“, des

Magnesitbezirks Wildseeloder-Einheit (Weissenstein)“, sowie die Barytvorkommen des „Barytbezirks Wildseeloder-Einheit (Kitzbühler Horn)“ gebunden.

Schließlich liegen in dieser tektonischen Einheit auch die Vererzungen des „polymetallischen Erzbezirks – Wildseeloder-Einheit (Leogang)“, des „polymetallischen Kieserzbezirks Glemmtal-Einheit (Zell/See – Radstadt – Mandling)“, des „Fahlerzbezirks Wildseeloder-Einheit (Brunnalm)“ sowie des „Fahlerzbezirks von Schwaz-Brixlegg“.

Für die meisten Vererzungen werden präalpidische Anreicherungsprozesse und metamorphe Überprägungen angenommen.

Im **Tirolikum** des TND liegen zahlreiche Blei-Zinkerzlagerstätten, die sowohl regional als auf Grund ihrer stratigraphischen Position in mehrere Bezirke aufgegliedert werden können: „Blei-Zink (Fahlerz-)bezirk der Nördlichen Kalkalpen Anis (Arikogel)“, „Blei-Zink (Fahlerz-)bezirk Anis der Nordtiroler Kalkalpen (Sankt Veit-Tarrenton)“. Bemerkenswert ist, dass die Vererzungen der karnischen Blei-Zinkerzbezirke sich auch im Bajuvarischen Deckensystem finden. Im Gegensatz zu den Blei-Zinkerzvererzungen des Drauzugmesozoikums (Drauzug-Gurktaler Deckensystem) sind die Vererzungen des Tirolikums aber silberführend.

Erze des Eisens finden sich im „Eisenerzbezirk (Eisenkarbonat/Eisenglimmer) Permoskyth („Gollrad)“, die aber auch in den Bajuvarischen Decken entwickelt sind. An Abfolgen des Anis sind die Vererzungen des „Eisenerzbezirks (Eisenkarbonat/Eisenhydroxid) Sulzau-Werfen“ gebunden. Schließlich finden sich auch stratiforme, ebenfalls an Anisabfolgen gebundene Eisenerze im „Eisenerzbezirk (Eisenkarbonat) der Nordtiroler Kalkalpen (Erlachalm)“.

Erze der Sondermetalle haben sich im „Uranerzbezirk Alpiner Buntsandstein der Nordtiroler Kalkalpen (Hochfilzen)“ angereichert.

Industrieminerale wie Salz, Gips und Anhydrit finden sich sowohl im Tirolikum als auch im Bajuvarikum und Juvavikum jeweils an der Basis der Deckenkomplexe und bilden den Wertstoffinhalt des „Evaporitbezirks Permoskyth Östliche Kalkalpen“. In den Nordtiroler Kalkalpen liegt der „Evaporitbezirk Reichenhall Formation (Reith/Brixlegg)“, der aber nur im Tirolikum und Bajuvarikum entwickelt ist. Die Evaporite fungierten quasi als „Gleitmittel“

bei den Deckentransporten. Ohne diese wäre der Deckenbau der Nördlichen Kalkalpen wohl anders gestaltet.

Bajuvarikum

Tatsächlich finden sich die Eisenerz-Vererzungen des „Eisenerzbezirks (Eisenkarbonat / Eisenglimmer) Permoskyth (Gollrad)“ nicht nur im Tirolikum, sondern auch im Bavarikum. Demgegenüber sind die Vererzungen des „Manganerzbezirks der Nordtiroler Kalkalpen (Walderalm)“ auf das Bavarikum beschränkt.

Blei-Zinkvererzungen im Anis sind in den Nordtiroler Kalkalpen im Blei-Zink (Fahlerz-)bezirk Anis der Nordtiroler Kalkalpen (Sankt Veit / Tarrenton) bekannt, wogegen solche in Nördlichen Kalkalpen Ober- bzw. Niederösterreichs nur spurenhaft entwickelt sind. Karnische Blei Zinkvererzungen sind hingegen sowohl in den Nordtiroler Kalkalpen, als auch in den Nördlichen Kalkalpen Ober- bzw. Niederösterreichs zu finden.

Die Vererzungen des „Kieserzbezirks Bajuvarisches-Deckensystem – Raibl-Gruppe Außerfern (Säuling)“ sind lediglich auf die Gesteinsabfolgen des Bajuvarikums beschränkt. Imprägnative Buntmetallvererzungen sind im „Kupfererzbezirk Permoskyth (Arlberg)“ entwickelt.

Während Gips- und Anhydritvorkommen des Permoskyths im Basisbereich aller drei Deckensysteme verteilt sind, sind Karngipse lediglich im Bajuvarikum entwickelt („Evaporitbezirk Karn [Montafon – Außerfern]“, „Evaporitbezirk Karn [Gösting]“).

Liassische Ölschiefer sind im Bavarikum auf den „Ölschieferbezirk – Allgäu-Formation (Bächental)“ beschränkt, wogegen die Vorkommen im norischen Hauptdolomit sowohl im Tirolikum als auch dem Bavarikum zu finden sind („Ölschieferbezirk Nordtiroler Kalkalpen [Seefeld]“).

Juvavikum:

Das Juvavikum ist arm an Vererzungen bzw. Mineralisationen: In dieser Deckeneinheit sind lediglich die Vererzungen des „Manganerzbezirks der Östlichen Kalkalpen (Strubberg)“ sowie Evaporite des Oberperms („Evaporitbezirk Oberperm – Salzkammergut [Alt-Aussee, Wienern]“) bzw. des Permoskyths („Evaporitbezirk Permoskyth Östliche Kalkalpen [Puchberg]“) entwickelt.

Deckenübergreifende Mineralisationen sind nicht nur ein deutlicher Hinweis auf eine Faziesbindung, sondern auch auf eine prätektonische Genese.

Kohlen:

Die Entstehung von Kohlen ist eng mit Wasserspiegelschwankungen verbunden. Solche markanten Transgressionen und Regressionen fanden stets in Zusammenhang mit Gebirgsbildungsphasen statt. Wenig überraschend sind daher die Bildungszeiträume im O-Karbon (variszische Orogenese). Auf Grund der metamorphen Überprägung sind diese Kohlen zumeist zu Anthraziten gereift („Anthrazitbezirk Karnische Alpen [Kronalm]“, „Anthrazitbezirk-Stolzalpe-Decke-Stangnock-Formation-[Tur-rach]“).

Während einer Regressionsphase im Karn bildeten sich in den Ostalpen nicht nur Evaporite, sondern auch Kohlen („Stein-(Glanzbraun-)kohlenbezirk Bajuvarisches und Tirolisch-Norisches-Deckensystem – Lunz-Formation [Schrambach]“, „Steinkohlenbezirk Bajuvarisches und Tirolisch-Norisches-Deckensystem – Nordalpine Raibl-Gruppe [Gafleintal]“).

Auch die Steinkohlen des Ultrahelvetikums, die sich im Lias bildeten, sind auf solche Ereignisse zurückzuführen („Stein-[Glanzbraun-]kohlenbezirk Ultrahelvetikum [Gresten]“).

Das markante Transgressionsereignis an der Wende von Unter- zur Oberkreide war wiederum die Grundlage zur Bildung der „Gosaukohlen“, die in den basalen Anteilen der Gosau Becken entwickelt sind („Glanzbraunkohlen- [Gagat-]bezirk Kalkalpine Gosau-Gruppe [Gams]“, „Glanzbraunkohlenbezirk Gosau-Gruppe [Grünbach]“, „Glanzbraunkohlenbezirk Gosau-Krappfeld [Sittenberg-Dobranberg]“).

Die zahlreichen Wasserspiegelschwankungen im Neogen in Zusammenhang mit der alpidischen Orogenese führten in den inneralpinen Becken zur Bildung zahlreicher Braunkohlevorkommen:

Kössener Becken: „Braunkohlenbezirk Kössen“,

Ennstal Beckensystem: „Braunkohlenbezirk Stoderzinken)“,

Wiener Becken: „Braunkohlenbezirk Grillenberg-Neusiedl“, „Braunkohlenbezirk Zillingdorf“,

Eisenstädter Becken: „Glanz-Braunkohlenbezirk Brennbach“, „(Glanz-)Braunkohlenbezirk Ritzing“,

Steirisches Becken: „Braunkohlenbezirk Köflach-Voitsberg Fm. (Köflach)“, „Glanzbraunkohlenbezirk Wies-Eibiswald“, „Braunkohlenbezirk Tauchen-Fm. (Tauchen)“, „Braunkohlenbezirk Reiner-Fm. (Rein-Stiwoll)“, „Braunkohlenbezirk Mantscha-Fm. (Mantscha-Thal-Webling)“, „Braunkohlenbezirk Gleisdorf-Fm. (Büchl-Busenthal)“, „Braunkohlenbezirk Kleinsemmering-Fm. (Kleinsemmering/Weiz)“, „Braunkohlenbezirk Gleisdorf-Fm. (Reiting)“, „Braunkohlenbezirk Paldau Fm. (Paldau)“, „Braunkohlenbezirk Pannon C (Ilz-Klee-graben, Mutzenfeld)“, „Braunkohlenbezirk Henn-dorf Fm. (Henndorf)“,

Pannonisches Becken: „Braunkohlenbezirk Höll-Deutsch Schützen“,

Krumbach Becken: Braunkohlenbezirk Krumbach“,

Norisches Beckensystem einschl. Passail-Becken: „Braunkohlenbezirk Fohnsdorf“, „Braunkohlenbe-zirk Passail-Tulwitz“,

Lavanttaler und Klagenfurter Becken: „Braunkoh-lenbezirk St. Stefan“, „Braunkohlenbezirk Turia“.

Auch im Vorland der Ostalpen (Molassezone) bilde-ten sich ausgedehnte Kohlenvorkommen: „Braun-kohlenbezirk Vorarlberger Vorlandmolasse (Wirtato-bel)“, „Glanzbraunkohlen-Bitumenmergelbezirk pa-rautochthone Molasse (Häring)“, „Glanzbraunkoh-lenbezirk allochthone Molasse (Starzing)“, „(Glanz-) Braunkohlenbezirk-Vorlandmolasse-Südrand Böh-mische-Masse-(Thallern)“, „Braunkohlenbezirk Vor-landmolasse (Salzackkohle-Trimmelkam)“, „Braun-kohlenbezirk Vorlandmolasse (Hausruck)“, „Braun-kohlenbezirk Vorlandmolasse (Kobernausser Wald)“.

Metallogenetische Bezirke in der Region Almen-land des Grazer Paläozoikums:

Mit Ausnahme des Kiesvorkommens im Naintsch-graben treten die Erzlagerstätten des Almenlandes ausschließlich im Drauzug-Gurktal-Deckenkomplex auf. Sie können zu jeweils eigenständigen metallo-genetischen Bezirken zusammengefasst werden.

Lagerstätten der Unteren Deckengruppe:

Die Magnetite des „Eisenerzbezirks (Magnetit) Grazer Paläozoikum (Platte / Graz, Plankogel)“ sind an altpaläozoische Nebengesteine (Dolomit-schiefer, Tuffe, Tuffite) gebunden. Diese Vererzun-gen sind als Folge eines submarinen Vulkanismus entstanden.

Die silberführenden Blei-Zinkvererzungen des Al-menlandes gehören dem „Blei-Zink Barytbezirk Grazer Paläozoikum – Schönberg Formation (Arz-berg)“ an. Diese entstanden an der Wende vom Obersilur zum Unterdevon als sedimentäre Ablage-rungen auf dem Meeresboden. Diese Vererzungen sind mit den Vererzungen des Blei-Zinkerzbezirks in der Murau-Decke (Meiselding) sowohl zeitlich als auch genetisch unmittelbar vergleichbar. Ein un-mittelbarer genetischer Zusammenhang mit den kalkalpinen Blei-Zinkvorkommen des Drauzug-mesozoikums kann jedoch nicht abgeleitet werden.

Das Fahlerzvorkommen vom Wetterbauersattel bei Mixnitz tritt in unterdevonen Dolomiten auf. Diese Vererzungen erinnern an die typomorphen und of-fensichtlich zeitgleich gebildeten Vererzungen des „Fahlerzbezirks Tirolisch-Norisches Deckensystem (Schwaz-Brixlegg)“.

Somit stellt das Altpaläozoikum eine wichtige me-tallogenetische Epoche dar.

Das goldführende Arsenkiesvorkommen von Gasen (Strassegg, Strasseck) liegt in der Unteren Decken-gruppe. Obwohl eine Verwandtschaft zu den Blei-Zinkvererzungen des Grazer Paläozoikums ange-nommen werden darf, wurde dieses keinem eigenen Bezirk zugeordnet.

Lagerstätten der mittleren Deckengruppe:

Auch wenn die zu einem eigenen Bezirk zusam-mengefassten Magnesite des Grazer Paläozoikums an die Gesteinsabfolgen der Hackensteiner Fm. bzw. Breitenau-Sub-Fm gebunden, diese Minerali-sation schichtkonkordant im Nebengestein (Unter-silur) eingelagert sind und von einer Reihe von Fachleuten eine sedimentäre, somit altpaläozoische Anreicherung angenommen wird, haben neuere Un-tersuchungsergebnisse überraschende Ergebnisse geliefert. Untersuchungen der Sm-Nd Isotopen wei-sen auf ein obertriadisches Bildungsalter hin (PROCHASKA & HENJES-KUNST [2010]; HENJES-KUNST, PROCHASKA et al. [2014]). Die Magnesite der Breitenau unterscheiden sich da-rüber hinaus signifikant sowohl aus tektonischer als auch stratigraphischer Sicht von jenen der Nori-schen (Dienten) bzw. der Veitscher Decke (Veitsch).

Zum „Eisenerzbezirk (Eisenkarbonat) Grazer Paläozoikum Hackenstein-Formation (Breitenau-Schafferwerke)“ wurden 15 Vorkommen zusam-mengefasst, die an die Obere Hackensteiner-Fm

gebunden sind. Dabei handelt es sich nach GOLLNER et al. (1982) um „sedimentäre Toneisensteine mit einem teilweise hohen Mangangehalt“. Die Vererzungen sind linsenförmig und erreichen Mächtigkeiten bis über einen Meter und halten mehrere Meter an. Sie sind möglicherweise an mehrere Horizonte gebunden.

Auch die ebenfalls in der Hackensteiner-Fm auftretenden Roteisensteinvorkommen bildeten sich im Altpaläozoikum als Folge einer starken vulkanischen Aktivität. Diese wurden zu einem „Eisenerzbezirk (Roteisenstein) Grazer Paläozoikum (Heuberggraben)“ zusammengefasst.

Erzvorkommen im Koralm-Wölz-Deckensystem

Das Kieslager von Naintsch liegt als schichtkonkordante Vererzung in den Gesteinsabfolgen des Koralm-Wölz-Deckensystems. Das Bildungsalter ist unbekannt.

Schlussfolgerung

Die ersten Versuche, die Metallogenese der Ostalpen zu interpretieren, zielten auf eine scheinbar symmetrische Verteilung der Lagerstätten ab. Während GRANIGG ein prätektonisches Vererzungsalter annahm, war W. PETRASCHECK von einem einheitlichen und jungen, vor allem posttektonischen Vererzungsakt überzeugt. TORNQUIST war von jungen, mehraktigen Vererzungsereignissen überzeugt, die sich in der oberen Kreide bis ins jüngere Pliozän verteilten.

Insbesondere die Annahmen GRANIGGs und W. PETRASCHECKs wurden von SCHWINNER äußerst kritisch diskutiert und sowohl die zonare Verteilung der Lagerstätten als auch ein tief unter den Zentralalpen gelegener Pluton als gemeinsame Quelle der Hydrothermallösungen als unrealistisch angesehen.

Noch vor den Erkenntnissen der Blei-Zinkgruppe um MAUCHER erkannte SCHWINNER schon eine Faziesbindung der kalkalpinen Blei-Zinkerzlagerstätten, einen möglichen Zusammenhang von Vererzungsereignissen mit Metamorphosen und somit fehlende Zusammenhänge mit den anderen ostalpinen Vererzungen.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden zahlreiche Vererzungen auf sedimentäre Anreicherungsprozesse zurückgeführt. Auf Grund der Bindung an zumeist altpaläozoische Gesteinsabfolgen

wurde auch auf ein entsprechendes Bildungsalter rückgeschlossen.

Die Deutung einer unitaristischen, jungen Lagerstättenbildung im Sinne W. PETRASCHECKs wurde von W. E. PETRASCHECK in den 1970-er Jahren neuinterpretiert, in dem er als Bildungszeitraum nunmehr die gesamte alpidische Orogenese heranzog, wobei aber die meisten Vererzungen nach wie vor posttektonisch entstanden sein sollen.

Seit dem Jahre 1992 wurden im Zuge der Ausarbeitung der Metallogenetischen Karte über 6000 Rohstoffvorkommen hinsichtlich ihrer Lagerstättenform, ihres Wertstoffinhalts, ihrer lithostratigraphischen und tektonischen Position charakterisiert. Lagerstätten mit gleichen Eigenschaften wurden zu über 200 verschiedenen metallogenetischen Bezirken zusammengefasst. Bereits aus dieser Analyse kann abgeleitet werden, dass diese, in unterschiedlichen tektonischen und lithostratigraphischen Einheiten gelegenen eigenständigen metallogenetischen Bezirke auf eine äußerst komplexe Bildungsgeschichte hinweisen, die mit den klassischen Auffassungen einer einheitlich jungen Vererzung nicht mehr in Einklang stehen.

In der ostalpinen Lagerstättenprovinz bestehen zahlreiche Erzvorkommen, deren sedimentäre Entstehung unbestritten ist. Somit kann auch auf deren zeitliche Bildung rückgeschlossen werden. In gleicher Weise sind aber auch Vererzungen bekannt, die auf eine epigenetische Bildung zurückzuführen sind und deren Bildungsalter noch unklar ist. Verschiedene Vererzungen können auf Metamorphoseereignisse zurückgeführt werden und sind somit auch zeitlich einordenbar. Die Metamorphosen wirkten sowohl lagerstättenkonstruktiv, durchaus aber auch destruktiv, indem ältere und reichere Vererzungen durch eine Mobilisation verdünnt wurden.

Irrweg oder wissenschaftliche Sensation?

Gerade in den letzten Jahren haben Isotopenanalysen von Vererzungen Altersdaten erbracht, die weder mit dem Bildungsalter der Nebengesteine, noch tektonischen bzw. metamorphogenen Ereignissen in Einklang zu bringen sind. Was bedeuten Sm-Nd Isotopenalter von Magnesiten der Breitenau und Sideriten des Steirischen Erzbergs von rd. 200 Mio. Jahren, die auf Obertrias bzw. Unterjura hinweisen tatsächlich? Sind unsere Vorstellungen, dass hydrothermal entstandene Vererzungen auf magmatogene

oder metamorphogene Ereignisse zurückzuführen zu verwerfen? Unterschätzen wir womöglich das Diagenesestadium?

Ein Schwerpunkt der Rohstoffforschung der letzten Jahre waren Untersuchungen der Isotopenverhältnisse und Aufbau einer Isotopen-Datetei. Die künftigen Forschungsarbeiten werden sich daher sehr intensiv mit weiteren Messungen, insbesondere aber der Interpretation dieser Daten befassen müssen. Überraschungen sind zu erwarten.

Ein erster Schritt und Grundlage für eine metallogenetische Analyse ist sicherlich die Einteilung von zusammengehörenden Rohstoffvorkommen zu klar definierbaren metallogenetischen Bezirken. Eine metallogenetische Analyse ist keineswegs eine zweckfreie akademische Übung. Die räumliche Verteilung von Rohstoffvorkommen in einer bestimmten geologisch – tektonischen Einheit erlaubt auch rohstoffwirtschaftliche Schlussfolgerungen. So kann davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit, weitere, allenfalls noch nicht bekannte Rohstoffvorkommen zu finden, innerhalb der Punktwolke der auf einer Karte dargestellten Rohstoffvorkommen eines metallogenetischen Bezirkes höher ist und gegen den diffusen Wolkenrand nach außen abnimmt.

Zudem kann auch durch das bessere Erkennen von Zusammenhängen zwischen Erzführung und Bindung an bestimmte tektonische und / oder lithostratigraphische Einheiten auch auf die Genese von Lagerstätten rückgeschlossen werden. Damit können wichtige Erkenntnisse für die Lagerstättensuche abgeleitet werden.

Auch nach rd. 30 Jahren Forschungstätigkeit an der Metallogenetischen Karte Österreichs sind noch viele Fragen ungeklärt....

Dank

Mein Dank gilt Herrn Univ. Prof. Dr. Frank MELCHER für die konstruktiv kritische Durchsicht des Manuskriptes. Für die Bereitstellung von Bildmaterial bin ich Herrn Prof. Dr. B. HUBMANN sowie den Archiven der Montanuniversität Leoben und der TU Graz zu Dank verpflichtet.

Literatur:

- Walter BAUMGARTNER, Zur Genese der Erzlagerstätten der östlichen Grauwackenzone und der Kalkalpenbasis (Transgressionsserie) zwischen Hirschwang/Rax und Neuberg/Mürz. In: Berg- u. Hüttenmänn. Mh. 121 (1977), 51–54.
- Degenhart BRIEGLER, Die Scheelitlagerstätte im Felbertal bei Mittersill (Land Salzburg). In: Ber. Dt. Min. Ges. 2 (1991), 48–50.
- Degenhart BRIEGLER / Friedrich FINGER / Hartwig KRAIGER / Gerhard PESTAL / Hans-Peter STEYRER, The K1-Gneiss from the Scheelite-mine Felbertal (Hohe Tauern/Austria). in: Fortschritte der Mineralogie: Beihefte; 63.1 (1985), 33.
- Immo CERNY, Die karbonatgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten des alpinen und außeralpinen Mesozoikums – Die Bedeutung ihrer Geologie, Stratigraphie und Faziesgebundenheit für Prospektion und Bewertung. In: Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A. 11 (1989), 5–125.
- Eberhard CLAR, Ostalpine Vererzung und Metamorphose. In: Verh. Geol. B.-A. (1945), 29–37.
- Eberhard CLAR, Geologische Begleitbemerkungen zu O.M. Friedrichs Lagerstättenkarte der Ostalpen. In: Radex Rdsch. (1953a), 408–416.
- Eberhard CLAR, Über die Herkunft der ostalpinen Vererzung. In: Geol. Rdsch. 42 (1953b), 107–127.
- Eberhard CLAR, Bemerkungen zur Entstehungsfrage der kalkalpinen Pb-Zn-Erzlagerstätten. In: Mitt. Geol. Ges. Wien 48 (1955), 17–28.
- Eberhard CLAR, Zur Entstehungsfrage der ostalpinen Spatmagnetite. In: Carinthia II 60 (1956), 22–31.
- Eberhard CLAR / Othmar Michael FRIEDRICH, Über einige Zusammenhänge zwischen Vererzung und Metamorphose in den Ostalpen. In: Zs. prakt. Geol. 41 (1933), 73–79.
- Roland EICHHORN / Rudolf JAGOUTZ / Emil JAGOUTZ, Urs SCHÄRER, Dating scheelite stages: A strontium, neodymium, lead approach from the Felbertal tungsten deposit, Central Alps, Austria. In: Geochimica et Cosmochimica Acta 61 (1997), 5005–5022.
- Roland EICHHORN / Urs SCHÄRER / Emil JAGOUTZ / Rudolf JAGOUTZ, Die Scheelit Lagerstätte Felbertal – das Alter der Vererzung und der metamorphen Überprägungen. In: Ber. Dt. Min. Ges. 1993/1, Beih. z. Eur. J. Mineral. 5 (1993), 122.
- Othmar Michael FRIEDRICH, Überblick über die Metallprovinz der Ostalpen. in: Zs. Dt. Geol. Ges. 89 (1937), 286.
- Othmar Michael FRIEDRICH, Lagerstättenkarte der Ostalpen (Erze und einige nutzbare Minerale) 1:500.000. in: Radex-Rdsch. 7/8 (1953a).
- Othmar Michael FRIEDRICH, Zur Erzlagerstättenkarte der Ostalpen. In: Radex Rdsch. (1953b), 371–407.
- Othmar Michael FRIEDRICH, Die Vererzung der Ostalpen, gesehen als Glied des Gebirgsbaues. In: Arch. f. Lagerstättenforschung in den Ostalpen 8 (1968), 136 S.
- Hannes GOLLNER / Oskar A.R. THALHAMMER / Werner TSCHELAUT / Christian ZIER, Die Laufnitzdorf-Gruppe – eine pelagische Fazies im Grazer Paläozoikum. in: Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk. 112 (1982), 63–73.
- Bartel GRANIGG, Über die Erzführung der Ostalpen. In: Mitt. Geol. Ges. 5 (1912), 345–367.
- Friedrich HEGEMANN, Über extrusiv-sedimentäre Erzlagerstätten der Ostalpen. I. Teil: Magnetit- und Hämatitlagerstätten. In: Erzmetall 11 (1958a), 209–217.
- Friedrich HEGEMANN, Geochemische Untersuchungen über die Bildungsweise einiger ostalpiner Erzlagerstätten. In: TMPM, N.F. 6 (1958b), 432–438.
- Friedrich HEGEMANN, Die Entstehung der kalkalpinen Blei-Zinkerz-lagerstätten. In: N. Jb. Miner. Mh. 7/8 (1960), 170–185.
- Elisabeth HENJES-KUNST, The Pb-Zn deposits in the Drau Range (Eastern Alps, Austria/Slovenia): A multi-analytical research approach for investigation of the ore-forming mechanisms (Diss. MUL Leoben 2014).
- Friedhelm HENJES-KUNST, Walter PROCHASKA / Andrea NIEDERMAYR / Nora SULLIVAN / Ethan BAXTER, Sm–Nd dating of hydrothermal carbonate formation: An example from the Breitenau magnesite deposit (Styria, Austria). In: Chemical Geology 387 (2014), 184–201.
- Rudolf HÖLL, Time- and Stratabound Early Paleozoic Scheelite, Stibnite and Cinnabar Deposits in the Eastern Alps. In: Verh. Geol. B.-A. (1979), 369–387.
- Rudolf HÖLL / Roland EICHHORN, Tungsten mineralization and metamorphic remobilization in the Felbertal scheelite deposit, Central Alps, Austria. In: Rev. Econ. Geol. 11 (2000), 233–264.
- Rudolf HÖLL / Albert MAUCHER, The strata-bound ore deposits in the Eastern Alps- in: Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits, Vol.5 (Amsterdam 1976), 1–36
- Alexander HORTEL, Zum Alter einiger Sideritvorkommen im oberostalpinen Permoskyth im Gebiet der Hohen Veitsch (Stmk). In: Berg- u. Hüttenmänn. Mh. 122, 2a (1976), 35–41.
- Ludwig KOSTELKA, Eine genetische Gliederung der Blei-Zinkvererzungen südlich der Drau. In: Carinthia II 75 (1965), 29–38.
- Ludwig KOSTELKA, Introduction to the Lead-Zinc Deposits of Bleiberg-Kreuth (Kärnten, Austria). in: Sedimentology of parts of Central Europe, Guide-book XIII Int. Sediment. Congress (1971a).
- Ludwig KOSTELKA, Beiträge zur Geologie der Bleiberger Vererzung und ihrer Umgebung. In: Carinthia II, Kahler Festschrift, Sh. 28 (1971b), 283–289.
- Ludwig KOSTELKA, Die Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth in Zeit und Raum. In: Blei und Zink in Österreich. Veröffentl. Naturhist. Museum Wien 6 (1972), 8–14.
- Ludwig KOSTELKA / Walter SIEGL, Bericht über die Diskussionstaugung in Bleiberg zum Thema: „Die Entstehung von Blei-Zinklagerstätten in Karbonatgesteinen“. In: Erzmetall, 12 (1959), 245–249.
- Ludwig KOSTELKA / Walter SIEGL, Die Entstehung von Blei-Zinklagerstätten in Karbonatgesteinen. In: Zs. f. Erzbergbau 12 (1960), 245–249.
- Frank MELCHER / Friedhelm HENJES-KUNST / Elisabeth HENJES-KUNST / H. SCHNEIDER / Martin THÖNI, Rb-Sr Isotopendatierung an Sphalerit sowie Sr- und Sm-Nd-Isotopendaten von Karbonat und Fluorit der Zn-Pb Lagerstätte Bleiberg (Kärnten) In: PANGEO 2010 Abstracts, Journal of Alpine Geology 52 (2010), 178–180.
- Gerhard PESTAL, Beitrag zur Kenntnis der Geologie in den mittleren Hohen Tauern im Bereich des Amer- und des Felbertales (Pinzgau/Salzburg). (Diss. Univ. Wien 1983).
- Wilhelm PETRASCHECK, Das Alter alpinen Erze. In: Verh. Geol. B.-A. (1926a), 108–109.
- Wilhelm PETRASCHECK, Metallogenetische Zonen in den Ostalpen. C.R. XIV, Congr. Geol. Intern. Madrid (1926b).
- Walther Emil PETRASCHECK, Die alpin-mediterrane Metallogenese. In: Geol. Rdsch. 53 (1963), 376–389.
- Walther Emil PETRASCHECK, Alpine Metallogenesis and Plate Tectonics – still a Problematic Correlation. in: Problems of Ore Deposition, IAGOD Symp. (Varna 1974) 504–509.
- Walther Emil PETRASCHECK, Die zeitliche Gliederung der ostalpinen Metallogenese. In: Sitz.-Ber. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Kl. Abt. I, 175 (1966), 57–74.
- Walther Emil PETRASCHECK, Mineral Zoning and Plate Tectonics in the Alpine- Mediterranean Area. Geol. Ass. Canada, Special Paper 14 (1976), 353–359.
- Walther Emil PETRASCHECK, The Metallogeny of the Eastern Alps in Context with the Circum-Mediterranean Metallogeny. In: Schriftenreihe der Erdwiss. Komm. 8 (1986), 127–134.
- Walther Emil PETRASCHECK, Die Entwicklung der Vorstellungen über die Metallogenese der Ostalpen. In: Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A. 10 (1989) (Friedrich Festschrift), 53–58.
- Julian PISTOTNIK, Univ. Prof. Dr. Dr. h.c. mult Eberhard CLAR – 23. Juli 1904 – 7. Dezember 1995. In: Jb. Geol. B.-A. 139 (1996), 145–150.

- Walter PROCHASKA / Friedhelm HENJES-KUNST, Genese der Sideritvererzungen der Östlichen Grauwackenzone – aktueller Stand der Forschung. in: Arbeitstagung Geologische Bundesanstalt 2009 Leoben, (2009), 153–169.
- Walter PROCHASKA / Friedhelm HENJES-KUNST, Sm-Nd dating of hydrothermal carbonate formation - the case of the Breitenau magnesite deposit. In: PANGEO 2010 Abstracts, Journal of Alpine Geology 52 (2010), 79–264.
- Johann Georg RATH / H.J. STEIN, Variscan ore formation and metamorphism at the Felbertal Scheelite deposit (Austria): constraining tungsten mineralisation from Re-Os dating of molybdenite. In: Contributions to Mineralogy and Petrology 152 (2006), 505–521.
- Hans-Jochen SCHNEIDER, Neue Erkenntnisse zur Stoffkonzentration und Stoffwanderung in Blei-Zink-Lagerstätten der nördlichen Kalkalpen. In: Fortschr. Mineralogie 32, (1953), 26–30.
- Hans SCHNEIDERHÖHN, Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde (Jena 1941).
- Erich SCHROLL, Spurenelementparagenese (Mikroparagenese) ostalpiner Bleiglanze. In: Anz. mathem.-naturwiss. Kl., Akad. Wiss. (1951), 6–12.
- Erich SCHROLL, Über Minerale und Spurenelemente, Vererzung und Entstehung der Blei-Zinklagerstätte Bleiberg-Kreuth/Kärnten in Österreich. In: Mitt. Österr. Miner. Ges., Sh. 2 (1953a), 1–60.
- Erich SCHROLL, Mineralparagenese und Mineralisation der Bleiberg-Kreuther Blei-Zink-Lagerstätte. In: Carinthia II 143 (1953b), 47–53.
- Erich SCHROLL, Über Unterschiede im Spurengehalt bei Wurtziten, Schalenblenden und Zinkblenden. In: Sitz. Ber. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Kl., Abt. I. 162 (1953c), 305–332.
- Erich SCHROLL, Ein Beitrag zur geochemischen Analyse ostalpiner Blei-Zink-Erze, Teil I. in: Mitt. Österr. Mineral. Ges. SH. 3 (1954a).
- Erich SCHROLL, Bemerkungen zur „alpinen“ Metallogene der kalkalpinen Blei-Zink-Lagerstätten. In: TMPM 5 (1954b), 96–98.
- Erich SCHROLL, Über das Vorkommen einiger Spurenmetalle in Blei-Zink-Erzen der ostalpiner Metallprovinz. In: TMPM 5 (1955), 183–208.
- Erich SCHROLL, Germanium in mineralischen Rohstoffen Österreichs. In: Mont. Rdsch. (1959), 23–26.
- Erich SCHROLL, Seltene Elemente in biogenen Sedimenten. In: TMPM 7 (1961a), 488–490.
- Erich SCHROLL, Anomalous composition of lead isotopes in the lead-zinc deposits of Calcareous Alps sediments. In: Rudarsko Met. Zb. 2 (1961b), 139–154.
- Erich SCHROLL, Über den Wert geochemischer Analysen bei stratigraphischen und lithologischen Untersuchungen von Sedimentgesteinen am Beispiel ausgewählter Profile der ostalpiner Trias. In: Geol. Sbornik 18/2 (1967), 315–330.
- Erich SCHROLL, Beitrag zur Geochemie des Bariums in Carbonatgesteinen und klastischen Sedimenten der ostalpiner Trias. In: TMPM 15 (1971), 258–278.
- Erich SCHROLL, Zur Korrelation geochemischer Charakteristika der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth mit anderen schichtgebundenen Vererzungen in Karbonatgesteinen. In: Österr. Akad. Wiss., Schriftenr. erdwiss. Komm. 3 (1978), 131–158.
- Erich SCHROLL, Beitrag der Geochemie zur Kenntnis der Lagerstätten der Ostalpen. Proc. 3rd ISMIDA (Leoben 1977). In: Verh. Geol. B.-A. (1979a), 461–470, Wien.
- Erich SCHROLL, Progress in the knowledge of indicator elements. In: AHRENS, L.H. (ed.): Origin and distribution of the elements (Berlin – Heidelberg 1979b), 213–216.
- Erich SCHROLL, REM-Untersuchungen an Schalenblenden: Ein Beitrag zur As- und Tl-Führung von Sphaleriten. In: Fortschr. Miner. 59 (1981), 178–179.
- Erich SCHROLL, Geochemical Characterization of the Bleiberg Type and Other Carbonate Hosted Lead-Zinc-Mineralizations. In: Proceedings IV. ISMIDA (Berchtesgaden), (1983), 189–197.
- Erich SCHROLL, Geochemical indicator parameters of lead-zinc ore deposits in carbonate rocks. In: WAUSCHKUHN, A. et al. (ed.): Syngene and epigenesis in the formation of mineral deposits (Berlin – Heidelberg 1984a), 294–305.
- Erich SCHROLL, Mineralisation der Blei-Zinklagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten). In: Der Aufschluss 35 (1984b), 339–350.
- Erich SCHROLL, Blei-Zink-Lagerstätten in Sedimenten. In: Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A. 6, (1985a), 157–165.
- Erich SCHROLL, From the guide element to the geochemical classification. In: GERMANN, K. (ed.): Geochemical Aspects of the ore formation in recent and fossil sedimentary environments, Monograph. Series on Mineral Deposits, 1–14, (Berlin – Stuttgart 1985b).
- Erich SCHROLL, Geochemische Parameter der Blei-Zink-Vererzung in Karbonatgesteinen und anderen Sedimenten. In: Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A. 6 (1985c), 167–178.
- Erich SCHROLL, Die Minerale Österreichs. In: Mitt. Österr. Min. Ges. 130 (1985d), 33–44.
- Erich SCHROLL, Die Metallprovinz der Ostalpen im Lichte der Geochemie. In: Geol. Rdsch. 79 (1990), 479–493.
- Erich SCHROLL, The Triassic carbonate-hosted lead-zinc ore mineralizations in the Alps (Europe). The metallogenic position of Bleiberg Type. Int. Field Conference on carbonate hosted lead-zinc deposits., Ext. Abstr., (1995), 270–273.
- Erich SCHROLL, Geochemische und geochronologische Daten und Erläuterungen. In: Leopold WEBER, (Ed.) Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs: Erläuterungen zur metallogenetischen Karte von Österreich 1:500.000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe. In: Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A. (1997), 395–537.
- Erich SCHROLL / Don F. SANGSTER, The triassic carbonate-hosted Pb-Zn mineralization in the Alps (Europe). The mineralogical position of Bleiberg-type deposits. In: Carbonate-hosted Lead-Zinc Deposits: 75th Anniversary Volume (1996), 182–194.
- Erich SCHROLL / Ibrahim AZER, Ein Beitrag zur Kenntnis ostalpiner Fahlerze. In: TMPM 7 (1959), 70–105.
- Erich SCHROLL / U. EICHER, Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopenbestimmungen an einigen Kalksteinen und Kalziten aus der Blei-Zinklagerstätte Bleiberg-Kreuth/Kärnten. In: Anz. mathem.-naturwiss. Kl., Österr. Akad. Wiss. (1978), 7, 159–161.
- Erich SCHROLL / Viktor KÖPPEL, Bleiisotopenzusammensetzung von Bleierzen aus dem Mesozoikum der Ostalpen. In: Proc. 3rd ISMIDA, Leoben 1977, = Verh. Geol. B.-A. (1978), 403–409.
- Erich SCHROLL / Viktor KÖPPEL / Immo CERNY / Peter SPINDLER / Albrecht von QUADT, Charakterisierung der „Schwellen- und Lagunenfazies“ in Bleiberg, Josefscholle: Ein Versuch zur Anwendung der Multivariattechnik. In: Mitt. Österr. Miner. Ges. 141 (1996), 209–210.
- Erich SCHROLL / Hans KÜRZL et al., Geochemometrie – multivariate Charakterisierung von sedimentgebundenen Pb-Zn-Vererzungen auf der Basis geochemisch-geologischer Meßdaten und Fakten. – Unveröffentl. Ber., FWF Proj. G6768 GEO; Bd 1-V, (Leoben, Wien 1990).
- Erich SCHROLL / Hans KÜRZL / Otto WEINZIRL, Geochemometrical studies applied to the Pb-Zn deposit Bleiberg/Austria. In: Fontboté et al. (eds): Sediment hosted Zn-Pb ores, 228–245, (Berlin – Heidelberg – New York 1994).
- Erich SCHROLL / Edwin PAK, Schwefelisotopenzusammensetzungen von Baryten aus den Ost- und Südalpen. In: TMPM 27 (1980), 79–91.
- Erich SCHROLL / Edwin PAK, Sulfur isotope investigations of ore mineralizations of the Eastern Alps. In: Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe (H.J. SCHNEIDER, ed.), (Berlin – Heidelberg 1983), 169–175.
- Erich SCHROLL / W. PAPESCH / Peter DOLEZEL, Beitrag der C- und O-Isotopenanalyse zur Genese ostalpiner Sideritvorkommen. In: Mitt. Österr. Geol. Ges. 78 (1985), 181–191.

- Erich SCHROLL / Oskar SCHULZ / Edwin PAK, Sulphur Isotope Distribution in the Pb-Zn-Deposit Bleiberg (Carinthia, Austria). In: *Mineralium Deposita* 18 (1983), 17–15.
- Erich SCHROLL / Walter SIEGL / W. PAPESCH, Kohlenstoff- und Sauerstoffverteilung in einigen Magnesiten. In: *Anz. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Kl.* (1986), 1–4.
- Erich SCHROLL / Walter SIEGL / Edwin PAK, Sulphur isotopes of minerals of Austrian magnesite occurrences. In: *Monograph Series on Mineral Deposits* 28 (Berlin – Stuttgart 1989), 233–236.
- Erich SCHROLL, Karl H. WEDEPOHL, Schwefelisotopenuntersuchungen an einigen Sulfid- und Sulfatmineralen der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg/Kreuth, Kärnten. In: *TMPM* 17 (1972), 286–290.
- Oskar SCHULZ, Gefügekundlich-tektonische Analyse des Blei-Zink-Bergbaugesbietes Lafatsch (Karwendelgebirge, Tirol). In: *Berg- u. Hüttenmänn. Mh.* 99 (1954), 85–95.
- Oskar SCHULZ, Montangeologische Aufnahme des Pb-Zn Grubenrevieres Vomperloch, Karwendelgebirge, Tirol. In: *Berg- u. Hüttenmänn. Mh.* 100 (1955), 259–269.
- Oskar SCHULZ, Beiträge zur Kenntnis der Raibler Dolomit-Vererzung, Grube Max in Kreuth. In: *Österr. Akad. Wiss., Anz. mathem.-naturwiss. Kl.* (1956), 181–185.
- Oskar SCHULZ, Zur Raibler Dolomitvererzung der Grube Max in Kreuth (Kärnten). In: „Diskussionsbeiträge zum Thema: Entstehung von Blei-Zinklagerstätten in Karbonatgesteinen“ (München 1956), *Berg- u. Hüttenmänn. Mh.* 102 (1957), 241–242.
- Oskar SCHULZ, Die Pb-Zn-Vererzung der Raibler Schichten im Bergbau Bleiberg-Kreuth (Grube Max), als Beispiel submariner Lagerstättenbildung. In: *Karinthia* 37 (1958), 277–278.
- Oskar SCHULZ, Die Pb-Zn-Vererzung der Raibler Schichten im Bergbau Bleiberg-Kreuth (Grube Max) als Beispiel submariner Lagerstättenbildung. In: *Carinthia* II, Sh. 22 (1960a), 1–93.
- Oskar SCHULZ, Beispiele für synsedimentäre Vererzungen und paradiagenetische Formungen im älteren Wettersteindolomit von Bleiberg-Kreuth. In: *Berg- u. Hüttenmänn. Mh.* 105 (1960b), 1–11.
- Oskar SCHULZ, Lead-zinc deposits in the Calcareous Alps as an example of submarine-hydrothermal formation of mineral deposits. In: Amstutz, G.C. (ed.): *Sedimentology and Ore Genesis, Development in Sedimentology 2*, (Amsterdam – London – New York 1964), 47–52.
- Oskar SCHULZ, Neuergebnisse an synsedimentären Mineralen der Lagerstätte Bleiberg-Kreuth. In: *Anz. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Kl. Abt. I* (1966a), 215–219.
- Oskar SCHULZ, Die diskordanten Erzgänge vom „Typus Bleiberg“, syndiagenetische Bildungen. In: 1st ISMIDA, Trento-Mendel, *Arti Grafiche Saturnia* (1966b), 149–161.
- Oskar SCHULZ, Sedimentäre Barytgefüge im Wettersteinkalk der Gailtaler Alpen. In: *TMPM* 12 (1967), 1–16.
- Oskar SCHULZ, Die synsedimentäre Mineralparagenese im oberen Wettersteinkalk der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten). In: *TMPM* 12 (1968), 230–289.
- Oskar SCHULZ, Horizontgebundene altpaläozoische Eisenspatvererzung in der Nordtiroler Grauwackenzone, Österreich. In: *TMPM* 15 (1971), 232–247.
- Oskar SCHULZ, Horizontgebundene altpaläozoische Kupferkiesvererzung in der Nordtiroler Grauwackenzone, Österreich. In: *TMPM* 17 (1972a), 1–18.
- Oskar SCHULZ, Neuergebnisse über die Entstehung paläozoischer Erzlagerstätten am Beispiel der Nordtiroler Grauwackenzone. In: 2nd ISMIDA (Bled 1971), *Geologija* 15 (1972b), 125–140, Ljubljana.
- Oskar SCHULZ, Metallogene im Paläozoikum der Ostalpen. In: *Geol. Rdsch.* 63 (1974), 93–104.
- Oskar SCHULZ, Synsedimentäre Fe-Anreicherung in der Innsbrucker Quarzphyllitzone am Beispiel der Sideritlagerstätte Eisenkar, Mölstal (Tuxer Voralpen). In: *Veröffentl. Mus. Ferdinandeum* 57 (1977), 103–177.
- Oskar SCHULZ, Beiträge zur Metallogene in den Ostalpen. In: *Verh. Geol. B.-A.* (1979a), 237–264.
- Oskar SCHULZ, Metallogene in den österreichischen Ostalpen. In: *Proceedings. 3rd ISMIDA (Leoben 1977) – gleichzeitig Verh. Geol. B.-A.* (1979b), 471–478.
- Oskar SCHULZ, 30 Jahre Pb-Zn-Forschung in den triadischen Karbonatgesteinen der Ostalpen. In: *Sitz.-Ber. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Kl., Abt. I.* 192 (1983), 239–266.
- Oskar SCHULZ, Die ostalpinen Lagerstätten mineralischer Rohstoffe in der Sicht neuer Forschungsergebnisse. In: *Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.* 7 (1986), 257–287.
- Robert SCHWINNER, Die Verbreitung des Elementes Arsen in ihrer Beziehung zum Gebirgsbau der Ostalpen. In: *TMPM* 46 (1934), 56–72.
- Robert SCHWINNER, Tektonik und Erzlagerstätten in den Ostalpen. In: *Zs. dt. Geol. Ges.* 94 (1942), 169–175, 180–183.
- Robert SCHWINNER, Ostalpine Vererzung und Metamorphose als Einheit? In: *Verh. Geol. B.-A.* (1946/1949), 52–61.
- Robert SCHWINNER, Gebirgsbildung, magmatische Zyklen und Erzlagerstätten in den Ostalpen. In: *Berg- u. Hüttenmänn. Mh.* 94 (1949), 135–144.
- Walter SIEGL, Die Magnesite der Werfener Schichten im Raum Leogang bis Hochfilzen sowie bei Ellmau in Tirol. In: *Radex Rdsch.* 3 (1964) 179–191.
- Eugen F. STUMPFL, Neptunismus in der Lagerstättenforschung – Mode des Jahrzehnts oder letztes Wort? – Bergbau im Wandel. – Tagungsbericht zum Leobner Bergmannstag 1987 (Graz, Essen 1987), 193–197.
- Karl-Christoph TAUPITZ, Die Blei-Zink- und Schwefelerzlagerstätten der Nördlichen Kalkalpen westlich der Loisach. (Diss. Bergakad. Clausthal, 1954).
- Alexander TORNQVIST, Die Blei-Zinkerz-Lagerstätte von Rabenstein bei Frohnleiten im Murtales: Post- und prätektonische Erzlagerstätten in den Ostalpen. In: *Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk.* 63 (1927a), 3–25.
- Alexander TORNQVIST, Das System der Blei-Zinkerz-Pyrit-Vererzung im Grazer Gebirge. In: *Sitzber. Österr. Akad. Wiss., Math. Nat. Wiss. Kl., Abt. I* 137 (1928a), 383–399.
- Alexander TORNQVIST, Die geologischen Probleme der Blei-Zink-Vererzung der Ostalpen. in: *Verh. Geol. B.-A.* (1928b), 234–240.
- Alexander TORNQVIST, Die Vererzungsperioden in den Ostalpen. In: *Metall und Erz* 26 (1929), 241–246.
- Alexander TORNQVIST, Perimagmatische Typen ostalpiner Erzlagerstätten. In: *Sitz. Ber. Österr. Akad. Wiss. Math. Nat. Wiss. Kl. Abt. I* 139 (1930a), 291–308.
- Alexander TORNQVIST, Der Arsengehalt in ostalpinen apomagmatischen Blenden und Bleiglanzen. In: *Verh. Geol. B.-A.* (1930), 197–202.
- Alexander TORNQVIST, Die Vererzungsphasen der jungen ostalpinen Erzlagerstätten. In: *Sitz. Ber. Österr. Akad. Wiss., Math. Nat. Wiss. Kl. Abt. I* 140 (1931), 219–229.
- Alexander TORNQVIST, Neue Untersuchungen ostalpiner Erzlagerstätten. In: *Metall und Erz* 29 (1932), 431–434.
- Alexander TORNQVIST, Vererzung und Wanderung des Goldes in den Erzen der Hohen Tauern-Gänge. In: *Sitz. Ber. Österr. Akad. Wiss., Math. Nat. Wiss. Kl., Abt. I*, 142 (1933a), 41–80.
- Alexander TORNQVIST, Vererzung und Wanderung des Goldes in den Erzen der Hohen-Tauern-Gänge. in: *Anz. Österr. Akad. Wiss., Math. Nat. Wiss. Kl.* 70 (1933b), 55–56.
- Alexander TORNQVIST, Die Wanderung des Goldes in den Erzen der Hohen Tauern, in: *Forschungen und Fortschritte* 9 (1933c), 190.
- Alfonso TRUDU / A.H CLARK, The Felbertal (Mittersill) scheelite deposit, Austria, a W-Mo-Be vein system related to felsic plutonism, not a submarine-exhalative deposit. In: *Genesis of tin-tungsten deposits and their associated granitoids, Proc. Joint Meet. Work. Gr 2 & 4, IGCP Proj.*, (Canberra 1986).
- Werner TUFAR, Die Erzlagerstätten des Wechselgebietes. In: *Joanneum, Mineralog. Mitt. bl.* 1(1963), 1–60.

Werner TUFAR, Die alpidische Metamorphose an Erzlagerstätten am Ostrand der Alpen. In: Verh. Geol. B.-A., Sh. G (1965), 256–264.

Werner TUFAR, Der Alpen-Ostrand und seine Erzparagenesen. (Freiberger Forsch. Hefte C230, 1968), 275–294.

Werner TUFAR, Das Problem der ostalpinen Metallogene, beleuchtet am Beispiel einiger Erzparagenesen vom Alpenostrand. In: Sitz.-Ber. Österr. Akad. Wiss. mathem.-naturwiss. Kl. Abt. I, 177 (1969), 1–20.

Werner TUFAR, Bleiglanz-Granat-Verwachsungen in der Lagerstätte von Ramingstein im Lungau (Salzburg). In: N. Jb. Miner. Mh. 4 (1971a), 183–192.

Werner TUFAR, Syngenetische präalpidische Lagerstätten aus den Ostalpen. In: Fortschr. Mineral., Beih. 49 (1971b), 122–123.

Werner TUFAR, New Views on the Problem of the Siderite-Magnesite Deposits of the Eastern Alps Shown by the Example of some Parageneses from the eastern Border of the Alps. In: Proceedings 2nd ISMIDA (Bled 1971), Geologija 15 (1972a), 230–235.

Werner TUFAR, Zur Blei-Zinkvererzung des Grazer Paläozoikums. in: Joanneum, Mineralog. Mitt.bl. (1972b), 64–75.

Werner TUFAR, Neue Aspekte zum Problem der ostalpinen Spatlagerstätten am Beispiel einiger Paragenesen vom Ostrand der Alpen. Geol. Transact. & Rep., 15, Proceedings 2nd Int. Symp. Min. Dep. Alps (1972c), 221–235.

Werner TUFAR, Zur Altersgliederung der ostalpinen Vererzung. In: Geol. Rdsch. 63 (1974), 105–124.

Werner TUFAR, Die Blei-Zink Lagerstätten im Grazer Paläozoikum (Steiermark). In: Fortschr. Miner. 53, Beih. 1, I-II (1975), 81.

Werner TUFAR, Die Evolution der Lagerstätten. In: Giessener Geol. Schriften 12 (1977), 343–428.

Werner TUFAR, Ore Deposits of the Eastern Alps. Excursion Guide, C6, 8th Intern. Geochem. Exploration Symp. (1980a), 1–78.

Werner TUFAR, Ore Mineralization from the Eastern Alps, Austria as strata-bound-syngenetic formations of pre-alpine and alpine age. In: Proceedings 5th IAGOD Symp. (1980b), 513–544.

Werner TUFAR, The Eastern Alps and their ore deposits. In: Erzmetall 33 (1980c), 153–162.

Werner TUFAR, Die Vererzung der Ostalpen und Vergleiche mit Typlokalitäten anderer Orogengebiete. In: Mitt. Österr. Geol. Ges. 74/75 (1981), 265–306.

Leopold WEBER, Alter und Genese der Eisenspat-Eisensilikatvererzung im Westteil der Gollrader Bucht (Stmk). In: Berg- u. Hüttenmänn. Mh. 122 (1977), 78–80.

Leopold WEBER (ed.) Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs.- Erläuterungen zur metallogenetischen Karte Österreichs 1:500.000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe. in: Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.19 (1997), 1–607.

Leopold WEBER /Albert SCHEDL / Piotr LIPIARSKI, IRIS Online (Interaktives Rohstoff Informations System), ein Beispiel für ein weltweit einzigartiges digitales Rohstoff-Informationssystem. In: Berg- und Hüttenmänn. Mh. 164 (2019), 56–66.

Internetabfragen (Stand 17. Nov. 2021)

<https://www.geologie.ac.at/services/webapplikationen/iris-interaktives-rohstoffinformationssystem>

<https://www.geologie.ac.at/services/thesaurus>

Autor:

Univ.-Prof. Dr. Leopold Weber (EurGeol)

Gentzgasse 129/2/45

1180 Wien

office@geologie-weber.at