

Verh. Geol. B.-A.	Sonderheft G	S. 256—264	Wien, Oktober 1965
Z. deutsch. geol. Ges. Jahrgang 1964	Band 116 2. Teil	S. 512—520	Hannover, Oktober 1965

Die alpidische Metamorphose an Erzlagerstätten am Ostrand der Alpen

VON WERNER TUFAR, Aarhus *)

Mit 3 Abbildungen

Die tiefste tektonische Einheit des Semmering- und Wechselgebietes bildet die Wechselserie, die neuerdings dem Pennin zugezählt wird und innerhalb des überlagernden Unterostalpins ein Fenster bildet. Das charakteristische Gestein der Wechselserie ist der Wechselgneis, ein Albitgneis. Ursprünglich waren es Phyllite und Glimmerschiefer, die albitisiert wurden. Daneben treten aber auch Grünschieferserien, Albit — Epidot — Amphibolite usw. auf. Um die im Zentrum angeordneten Wechselgneise finden sich randlich ebenfalls schiefrige und phyllitische Typen mit neugesproßtem Albit. Die Gesteinsmetamorphose der Wechselserie wird allgemein als alpidisch aufgefaßt.

Das Unterostalpin besteht aus einer vormesozoischen Altkristallinserie, der Grobgneisserie, d. h. aus vormesozoischen Graniten (Mürztaler Grobgneis, Wenigzeller Granit, Birkfelder Granit, Aspanger Granit, Kirchberger oder Eselsberggranit, Pittener Augengneis usw.), die in eine phyllitische Schieferhülle intrudierten und mit dieser verfaltet wurden, weiters aus einer kompletten Triasserie, dem Semmering-Mesozoikum. Die Umbildung der anatektischen Granite zu Gneisen („Grobgneisen“) erfolgte durch die alpidische Gebirgsbildung, die in den Hüllgesteinen z. B. eine Chloritisierung der Granate hervorruft. Die Basis des Semmering-Mesozoikums bildet der permoskythische Semmering-Quarzit (Metaquarzit, Metaarkosen und Metakonglomerate), mit dem sich stellenweise auch Porphyroide finden, darüber dann Rauhwacken, Dolomite und Kalke. Die Obertrias ist karpatisch („Bunter Keuper“) entwickelt. Jura konnte im Semmering-Mesozoikum nicht nachgewiesen werden. Die alpidische Gesteinsmetamorphose der Grobgneisserie erreicht den Grad der Albit-Epidot-Amphibolitfazies, sofern nicht Diaphthorese vorliegt, während die Metamorphose im Semmering-Mesozoikum stellenweise den Grad der Grünschieferfazies erreicht.

Das Unterostalpin besteht im besprochenen Gebiet aus zwei Decken, einer höheren, schwächeren und fast erzleeren Decke, der Mürz-Tachenbergdecke (Kampalpendecke) und einer tieferen Decke, der Pretul-Kirchbergdecke, welcher das ausgedehnte Kristallin zwischen Pretul und Birkfeld im W und Kirchberg und Aspang im O angehört.

Auf der Grobgneisserie finden sich als Auflagerungen stellenweise Gesteinsserien höherer Metamorphose, so bei Siegraben, Vorau und Schäßfern, die dem Mittelostalpin zugezählt werden. Altersmäßig wird auch für die Gesteine dieser mittelostalpinen Auflagerungen eine praealpidische Metamorphose angenommen.

*) Adresse des Autors: Dr. WERNER TUFAR, Geologisk Institut, Aarhus Universitet, Aarhus C, Dänemark.

Durch die Untersuchungen verschiedener Erzlagerstätten am Ostrand der Alpen konnte in vielen Vorkommen eine tektonische Beanspruchung festgestellt werden, die durch die alpidische Orogenese hervorgerufen wurde, wobei diese in einzelnen Lagerstätten zu Metamorphoseerscheinungen führte. Diese Beobachtung-

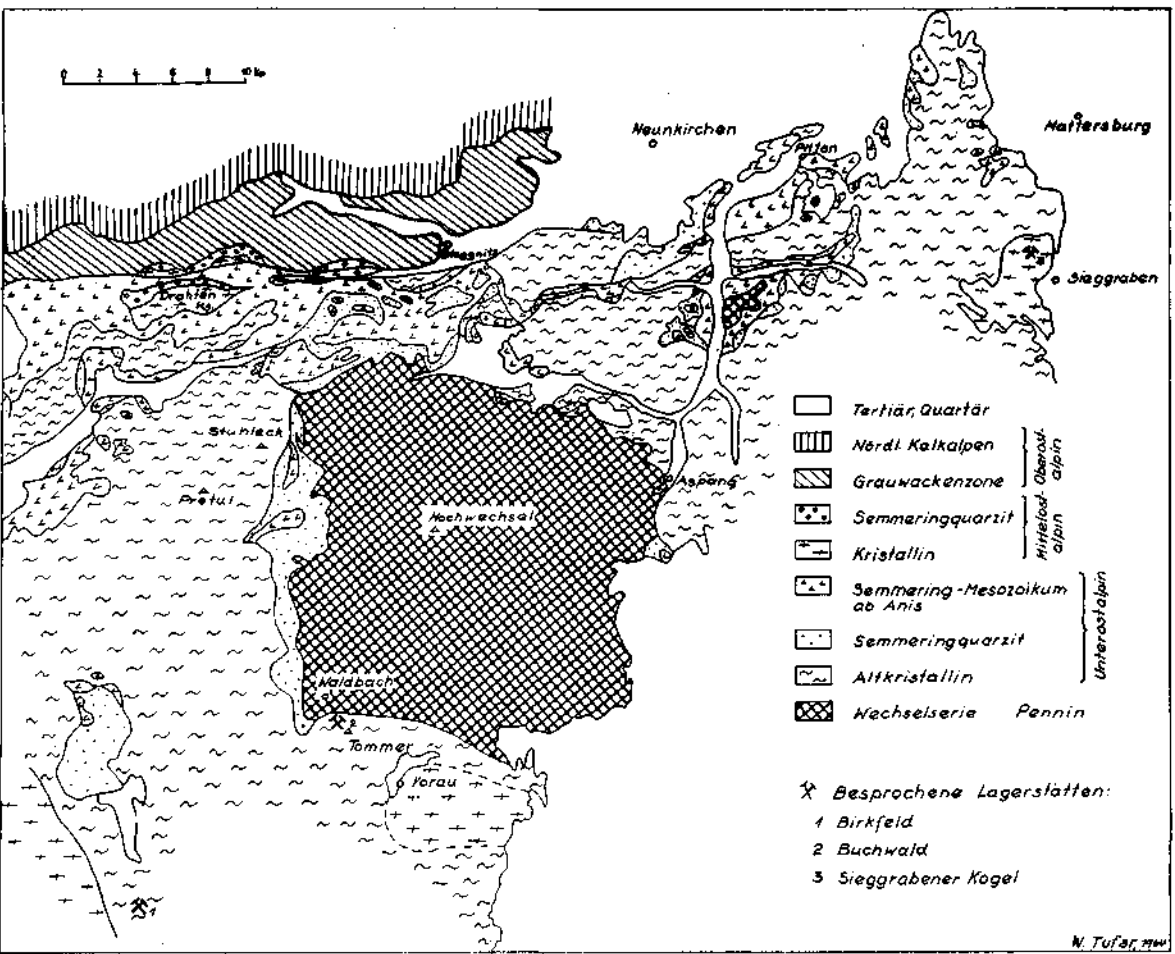


Abb. 1: Geologische Karte des Wechselgebietes. Nach H. P. CORNELIUS, H. HOLZER, F. KÜWEL, H. MOHR, R. SCHWINNER, A. TOLLMANN, H. WIESENEDER und eigenen Beobachtungen.

gen können aber auch als Hilfsmittel bei der altersmäßigen Einstufung dieser Vorkommen herangezogen werden. Im folgenden seien einige Beispiele angeführt, bei denen ein voralpidisches Alter der Lagerstätten als durchaus möglich erscheint.

Die alpidische Orogenese ist natürlich als mehrphasiger Vorgang aufzufassen und das Erkennen einer, vor allem oft mehrphasigen, alpidischen Metamorphose an Erzlagerstätten in diesen hauptsächlich voralpidischen Kristallingebieten ist insofern von Bedeutung, weil man auch dadurch schon mit großer Wahrscheinlichkeit die Tatsache ableiten kann, daß diese Lagerstätten praealpidisch angelegt wurden. Als Beispiele dafür seien die Eisenlagerstätten vom Buchwald ober Waldbach und Siegraben, sowie die Ilmenitvererzung des Saussuritgabbros von Birkfeld kurz näher besprochen. Bei diesen drei Vorkommen kann neben dem tektonischen Beanspruchungsgrad der Lagerstätten schon aus paragenetischen Studien eine voralpidische Anlage der Vererzung als wahrscheinlich angenommen werden:

Der Gabbro von Birkfeld wird als voralpidischer „Pluton“ aufgefaßt, der stellenweise reichlicher Ilmenit enthält. Die beiden anderen, hier besprochenen Erzvorkommen, Buchwald und Siegraben führen als charakteristische Gangart jeweils Granat, der in diesem Teil der Ostalpen aus sicher alpidisch metamorphen Gesteinen vollkommen unbekannt ist.

Beim Saussuritgabbro von Birkfeld handelt es sich um einen praealpidischen Gabbro mit stellenweise angereichertem Ilmenit. Obgleich die genetische Deutung gerade dieses Gesteines sehr schwer ist, ist dennoch die altersmäßige Einstufung in praealpidisch ziemlich sicher. Die alpidische Metamorphose bewirkt eine Umbildung des Gabbros bis zu Hornblende — Prasiniten und im Zusammenhang damit finden sich auch Korund- und Spinellgesteine.

Der Ilmenit dieses Gabbros ist nicht, wie dies sonst bei echt magmatischen Ausscheidungen meist der Fall ist, allotriomorph ausgebildet, sondern läßt trotz späterer alpidischer Metamorphose noch idiomorphe Entwicklung nach der Basis erkennen und zeigt auch keinerlei Entmischungen, wie etwa von Hämatit, Magnetit, Spinell, Rutil oder Korund.

Wenngleich Magnetit in diesem Gestein vollkommen zu fehlen scheint, bewirkt die alpidische Gesteinsmetamorphose dennoch alle Erscheinungen, wie sie für die metamorphe Titanomagnetit-Ilmenit-Paragenese typisch sind. Der Ilmenit wird postkristallin stark tektonisch beansprucht und deformiert. Das Titaneisen löscht oft sehr stark undulös aus und es kommt zu einer starken Druckzwillingsbildung nach $\{10\bar{1}1\}$ wobei die Zwillingslamellen oft verbogen und zerbrochen sind. Daneben kommt es aber auch zu Translationen. Durch die intensive Metamorphose wird der Ilmenit abgebaut und zu Rutil und Titanit umgewandelt, die sich als unregelmäßige Einschlüsse im Ilmenit finden, wobei sich der Titanit immer als Saum zwischen Titaneisen und Rutil findet und diesen ebenfalls verdrängt, sich also Titanit bei Ausklingen der Metamorphose auch aus Rutil bildet. Wie schon eingangs erwähnt wurde, konnte Rutil als Entmischung im Ilmenit nirgends festgestellt werden. Neu aufsprießende Gangart, wie z. B. Biotit, verdrängt den Ilmenit. Abschließend kommt es zur Kataklyse, wobei der Ilmenit und Gangarten zerbrechen und von Markasit, der meist schon ganz in Pyrit umgewandelt ist, verdrängt werden.

Bei den nun zu besprechenden zwei Vorkommen Buchwald ober Waldbach, noch im unterostalpinen Altkristallin, und Siegrabener Kogel im Mittelostalpin der Siegrabener Deckscholle, handelt es sich um

zwei der interessantesten Eisenlagerstätten dieses Gebietes, die, obwohl sie verschiedenen tektonischen Horizonten angehören, dennoch bis zu einem gewissen Grade sehr ähnlich sind.

Das Nebengestein der Lagerstätte vom Buchwald ober Waldbach bildet ein Serizitphyllit, der schon dem Unterostalpin angehört, nahe an der Grenze zum Wechselfenster und Albitphyllit im Liegenden und einem Granatglimmerschiefer („Tommerschiefer“) im Hängenden.

Der Erzkörper, maximal 2,5 Meter mächtig, keilt nach etwa 14 Metern Länge vollkommen aus und besteht infolge der alpidischen Durchbewegung aus zwei Komponenten, nämlich:

1. Dem Erzkörper im engeren Sinne und
2. der Hülle.

Der Erzkörper im engeren Sinne baut sich aus folgenden Bestandteilen auf: Älteste Bildung ist Quarz und Siderit. Eine darauffolgende Durchbewegung und Stoffzufuhr führt zur Magnetitprossung im Siderit und zu einer Granatbildung, die die Besonderheit dieser Lagerstätte bildet. Der Granat verdrängt den gerundeten, älteren Quarz, aber auch den Eisenspat, diesen sogar nach dem Rhomboeder. Parallele Granatschichten enthalten die Reste des Siderites und ausgewalzen Quarz. Die verlegten Einschlußzüge im Granat deuten auf eine Durchbewegung zur Zeit der Entstehung hin. Der Magnetit bildet verlegte Einschlußzüge in derben Granatfelsstücken, im Siderit ist er zumeist idiomorph ausgebildet. Der Mangengehalt des Siderites ist mit 9,90% $MnCO_3$ relativ hoch.

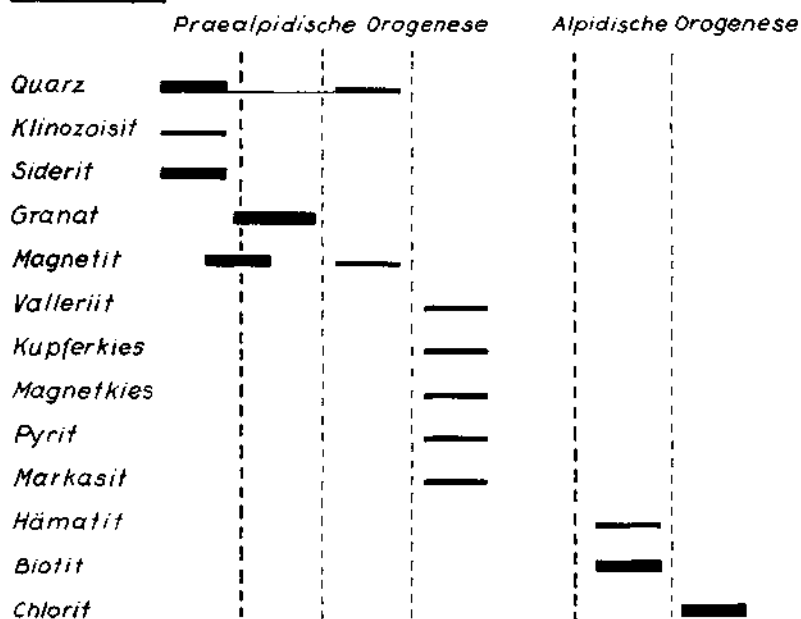
Eine anschließende mechanische Beanspruchung der Lagerstätte bewirkt, daß die Granatfelsen mit den Sideritresten zerbrechen und von Quarz ausgeheilt werden. Anschließend daran werden verschiedene Sulfide zugeführt, nämlich Kupferkies mit Vallerit, Magnetkies, Pyrit und als Abschluß Markasit. Danach findet die letzte Phase der Lagerstättenbildung statt, die bereits der alpidischen Orogenese zugerechnet wird.

Die alpidische Orogenese ruft eine neuerliche, sehr starke Durchbewegung hervor, wobei es aber zu einer Kalizufuhr kommt. Der bis dahin noch mehr oder weniger einheitliche Erzkörper wird in Blöcke zerlegt, die in O—W-Richtung ausgewalzt werden. Die Trennung in Erzkörper im eigentlichen Sinne und Hülle wird vollzogen. Die Hülle umgibt den Erzkörper und stellt einen mehr durchbewegten und ausgewalzten Teil des ursprünglichen Erzkörpers dar, wobei der Siderit der Hülle verlorengelht. Durch die Kalizufuhr geht der Granat der Hülle zum Teil in Biotit über und dies kann als Diaphthorese aufgefaßt werden. Eine weitere rückschreitende Metamorphose bewirkt eine „Chloritisierung“, die in diesem Gebiet verbreitet ist. Der Chlorit bildet sich aus Biotit und Granat, teilweise auch im Erzkörper. Die Granate der Hülle stecken in einem Kranz von Biotit und Chlorit, die beide die Magnetitzüge des ursprünglichen Granates oft übernehmen. In kompakteren Magnetitpartien des Erzkörpers konnte stellenweise eine ganz schwache Martitisierung festgestellt werden, die etwas älter als die Chloritisierung sein dürfte.

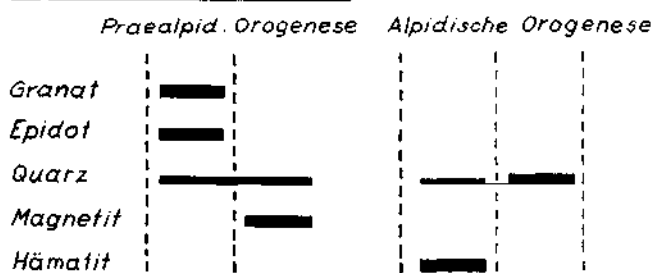
Eine Lagerstätte recht ähnlicher Paragenese und Entstehung findet sich am Siegrabener Kogel in der mittelostalpinen Siegrabener Deckscholle. Der Mineralinhalt dieses Vorkommens stellt ebenso wie der der umgebenden Gesteinsserien eine Bildung zumindest der Mesozone dar. Wie schon eingangs erwähnt wurde, wird die Gesteinsmetamorphose dieses Kristallgebietes allgemein als vormesozoisch aufgefaßt.

Mineralisationsphasen der Lagerstätten Buchwald und Siegraben

Buchwald:



Siegrabener Kogel:



- - - stärkere
 - - - schwächere *Durchbewegung*

Der Inhalt der Lagerstätte beschränkt sich auf nur wenige Mineralien, nämlich Magnetit und Hämatit als Erze, Granat, Epidot und Quarz als hauptsächliche Gangarten. Sulfide konnten bis jetzt keine nachgewiesen werden, nicht einmal Pyrit.

Die Bildung dieses Vorkommens fand, ähnlich wie bei der Lagerstätte Buchwald ober Waldbach unter den Bedingungen einer Regionalmetamorphose statt, wie dies auch schon aus den Verwachsungen der einzelnen Mineralien hervorgeht. Älteste Bildung ist Granat mit Epidot und Quarz, der Magnetit ist etwas jünger. Ein Teil des Lagerstätteninhaltes dürfte vielleicht auch auf eine kleine sedimentäre Eisenanreicherung vor der Metamorphose zurückgeführt werden. Charakteristisch ist wieder der Granat, der fast reine Granatfelsen bilden kann, oder sich in ausgewalzten Lagen im Erz findet. Der Granat von Siegggraben hat eine sehr hohe Andraditkomponente, die ebenfalls auf eine stärker metamorphe Bildung hinweist. Auch der Granat von Buchwald kann durch seinen Chemismus, z. B. seine relativ hohe Spessartinkomponente in ein relativ stärkeres Niveau der Metamorphose gestellt werden. Vergleichsweise sei auch eine Granatanalyse von Schneeberg in Südtirol angeführt. Diese Lagerstätte entstand ebenfalls unter den Bedingungen einer Regionalmetamorphose, die allerdings jünger, nämlich alpidisch ist („Tauernkristallisation“).

	Siegggraben Burgenland	Buchwald Waldbach	Schneeberg Südtirol
SiO ₂	36,73%	35,55%	36,08%
Al ₂ O ₃	8,92%	14,12%	19,50%
Fe ₂ O ₃	18,53%	13,92%	3,06%
FeO	9,13%	20,77%	28,44%
TiO ₂	0,20%	0,33%	0,32%
MnO	0,10%	6,90%	3,54%
CaO	25,03%	4,90%	5,44%
MgO	1,56%	3,72%	3,81%
	100,20%	100,21%	100,19%

Vor der Kristallisation des Magnetites, der ebenfalls noch unter Metamorphosebedingungen gebildet wurde, kam es zu einer Durchbewegung, wobei der Granat zerbricht und von Magnetit ausgeheilt und verdrängt wird.

Eine spätere starke tektonische Durchbewegung und damit verbundene Metamorphose gehört bereits dem alpidischen Zyklus an und führt zur Verschieferung der Lagerstätte. Es werden dabei aszendente Lösungen zugeführt, die eine Verdrängung von Magnetit durch Eisenglanz bewirken. Diese Martitisierung des Magnetites ist besonders stark an Korngrenzen, Rissen und Sprüngen des tektonisch beanspruchten Magnetites ausgebildet, selbstverständlich finden sich auch in den Magnetitkörnern Eisenglanzadeln. Der gesamte Eisenglanz der Lagerstätte entstand durch diese Martitisierung des Magnetites und sämtliche Übergangsstufen von reinem Magnetit als Ausgangsprodukt über schwach martitisierten Magnetit, Hämatit mit Magnetitresten bis zu reinem Eisenglanz können in der Lagerstätte nachgewiesen werden. Aber selbst am Eisenglanz ist eine tektonische Beanspruchung noch feststellbar, die sich in Druckzwillingsbildung, undulösem Auslöschern, Translationen und Bruch äußert.

Es sind also unabhängig voneinander zwei Phasen der Lagerstättenbildung vorhanden, nämlich eine Metamorphose, die zur Bildung der Lagerstätte führt und die als praealpidisch angesehen wird, wobei das Kristallin dieser Deckscholle

und das Vorkommen gleichzeitig gebildet wurden, also einem gemeinsamen Vorgang angehören und wesentlich später eine Orogenese und damit verbundene Metamorphose, die zur Verschieferung der Lagerstätte führte und bei der es zur Bildung des Hämatites aus Magnetit kam. Diese Orogenese wird als alpidisch angenommen. Jüngste Bildung sind reine erzeleere Quarzgänge, die in diesem Gebiet weit verbreitet sind und die Lagerstätte auch diskordant durchadern. Aber selbst diese Quarzgänge lassen noch tektonische Beanspruchungen erkennen.

Sowohl in Siegraben als im Buchwald ober Waldbach fand die alpidische Orogenese die Lagerstätte jeweils schon fertig vor und bewirkte eine Metamorphose des Vorkommens, bei der die Lagerstätten verschiefert wurden und es zu einer Diaphthorese kam. Diese war aber in Siegraben stärker, denn im Buchwald ober Waldbach führt diese rückschreitende Metamorphose nur zu einer ganz schwachen Martitisierung der kompakteren Magnetiterzpartien, zur Biotitsprossung und hauptsächlich zur Chloritisierung, die aber in Siegraben vollkommen fehlt. In Siegraben bewirkt diese Diaphthorese eine Martitisierung des Magnetites, die sehr stark ausgebildet ist.

An einer Reihe anderer Lagerstätten dieses Gebietes, die hier nicht näher besprochen werden können, kann man ebenfalls durch die alpidische Orogenese hervorgerufene Metamorphoseerscheinungen erkennen und man darf vielleicht auch bei diesen Vorkommen auf eine praealpidische Anlage schließen, wie z. B. bei einigen Pb-Zn-Vorkommen, so etwa im Altkristallin der Fröschnitz. Diese Pb-Zn-Vererzung, verbunden mit Baryt, weiters mit einer Eisenvererzung (Siderit, Magnetit), zeigt natürlich starke Durchbewegung, Umkristallisation, Verschieferung usw., hat große Ähnlichkeit mit der Pb-Zn-Vererzung des Grazer Paläozoikums und unterscheidet sich deutlich von den jungen Baryt-, Eisen- und Pb-Zn-Vorkommen, wie man sie im Semmering-Mesozoikum findet. Einen weiteren Hinweis auf vielleicht voralpidische Anlage geben bei diesen Vorkommen auch absolute Altersbestimmungen (320 Millionen Jahre beim Arzberg in der Fröschnitz; gleiches Alter hat auch der Bleiglanz vom Silberloch S Ratten, einer metamorphen Kieslagerstätte mit beibrechenden Blei-Zink-Erzen).

Verzeichnis der Lagerstätten:

- | | |
|--|--|
| 1: Walpersbach-Schleinz | 19: Gr. Otter-SW-Hang |
| 2: Harathof-Steinberg | 20: Gr. Otter-S-Fuß-Otterthal |
| 3: Pitten | 21: Trattenbach |
| 4: Brunner Berg W Pitten | 22: Kirchberg/Wechsel |
| 5: Seebenstein-Schiltern | 23: Knappenkeusche S Steinhaus/Semmering |
| 6: Ober-Unterarzberg | 24: Fröschnitz-Arzberg |
| 7: Gaisriegel (Stupfenreith) | 25: Fröschnitzgraben-Dürrgraben |
| Haidenberg W Klingfurth | 26: Kleiner Pfaffengraben-Natzlbauer |
| 8: Scheiblingkirchen-Gleißfeld | 27: Rettenegg-Ort |
| 9: Kirchau-Zottelhof | 28: Prinzenkogel-Kaltenegg |
| 10: Weingart Reitersberg, Thernberg NW | 29: Hallwachsschmiede |
| 11: Krumbach-Lehnergraben | 30: Arzberg ober Waldbach (Baryt) |
| 12: Myrthengraben/Semmering | 31: Arzberg ober Waldbach (Fe) |
| 13: Hirschenkogel/Semmering | 32: Waldbach-Ort |
| 14: Fröschnitzgraben-Dürrgraben (25) | 33: Buchwald ober Waldbach |
| 15: Erzkogel SSW Sonnwendstein (Fe) | 34: Silberloch S Ratten |
| 16: Erzkogel SSW Sonnwendstein (Baryt) | 35: Puchegg/Vorau |
| 17: Kleinkogel | 36: Siegrabener Kogel |
| 18: Wiesenhöhe W Gr. Otter | 37: Birkfeld |

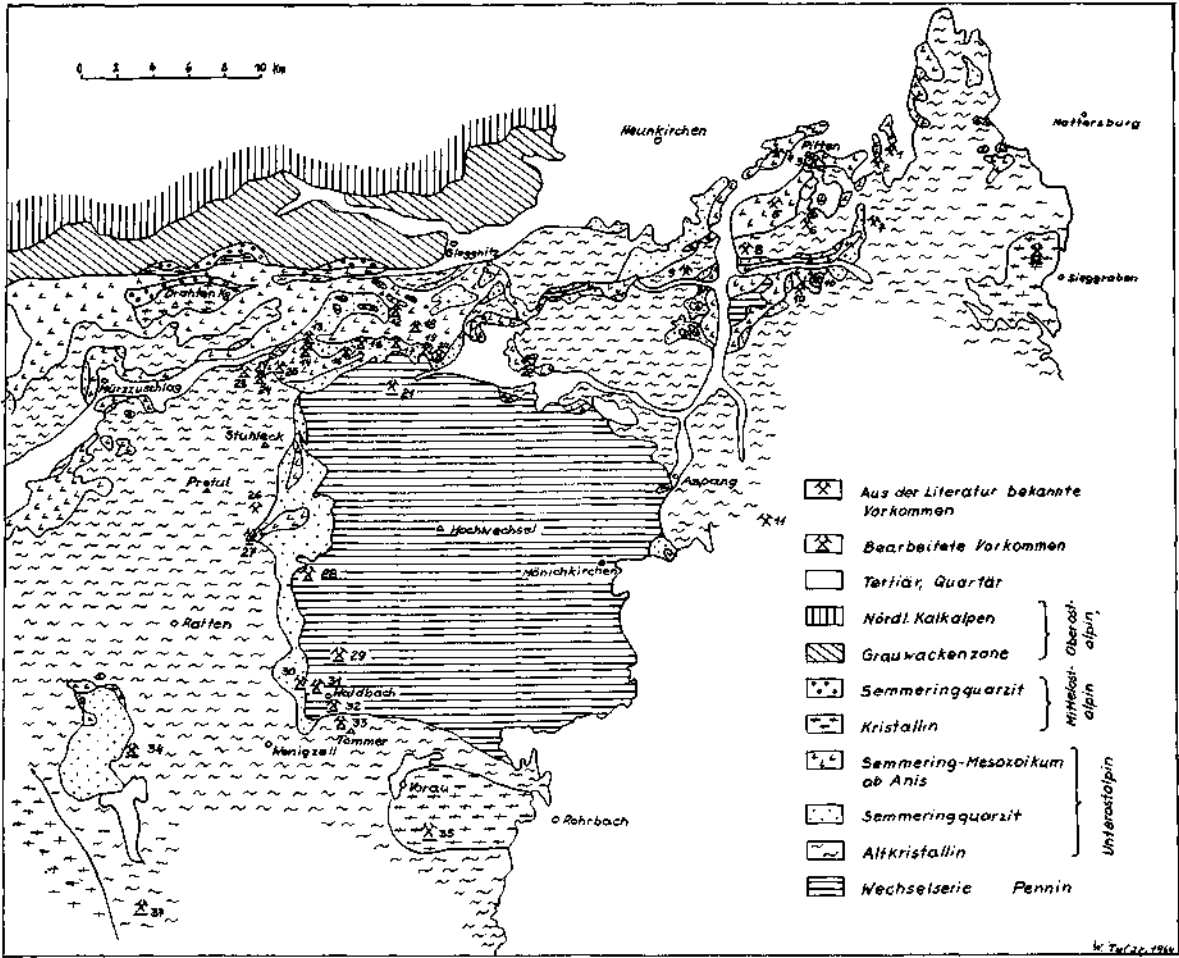


Abb. 3: Die Erzlagerstätten des Wechselgebietes. Entworfen von WERNER TUFAR 1962, erweitert 1964. Geologische Grundlage nach der Karte von H. MOHR, ergänzt durch die Aufnahmen von H. P. CORNELIUS, H. HOLZER, F. KÜMEL, R. SCHWENNER, A. TOLLMANN, W. TUFAR und H. WESENER.

Die Auswirkungen der alpidischen Metamorphose können aber selbst an älteren alpidischen Lagerstätten noch beobachtet werden. So geht in einer Eisenkarbonatlagerstätte des Semmering-Mesozoikums die stellenweise Magnetit sprossung auf diese Metamorphose zurück. Eine Phase der alpidischen Orogenese bewirkt die Sprossung des Magnetites in den Eisenkarbonaten, aber auch Eisenglanz wird von Magnetit verdrängt und es kommt dabei zu Verwachsungen, die als Pseudomorphosen von Magnetit nach Hämatit aufgefaßt werden können, denn die ehemaligen Eisenglanztafeln werden von Magnetit ausgefüllt, in dem sich noch die Reste des ursprünglichen Hämatites finden, also der umgekehrte Fall wie in Siegraben!

Abschließend soll noch kurz auf eine Erscheinung in diesem Gebiet eingegangen werden: Schon beim Vorkommen Buchwald ober Waldbach und Siegraben konnte die Entstehung dieser Lagerstätten jeweils nur durch Wechselwirkungen einer allerdings praealpidischen Metamorphose erklärt werden, ohne geringste Beeinflussung durch ein Magma. Ähnliche Vorgänge scheinen sich aber ebenfalls während der alpidischen Orogenese und der damit verbundenen Metamorphose abgespielt zu haben, so z. B. im Semmering-Mesozoikum.

Hier gibt es eine Reihe von Barytlagerstätten, die sowohl im Permoskyth-Quarzit wie im Anis-Ladin-Dolomit auftreten, aber jeweils an den Quarzit gebunden sind. Da in Verbindung mit diesen Vorkommen kein Magmatismus nachgewiesen werden konnte, liegt es also nahe, bei diesen Lagerstätten auf die Wechselwirkungen während der alpidischen Deckenüberschiebungen und der damit verbundenen schwachen Metamorphose im unterlagernden Semmering-Mesozoikum zu denken. Es wird dabei an eine Art „Lateralsekretion“ im weiteren Sinne gedacht. Da die Permoskyth-Quarzite petrographisch durch ihren hohen Feldspatgehalt eigentlich großteils Metaarkosen sind, könnte man daran denken, daß während der Metamorphose in diesem Gebiet Porenlösungen zirkulierten, die aus den Feldspäten etwas Barium lösten und Baryt ausfällten. Abgesehen von den Schwerspatgängen wurde junger xenomorpher Baryt als akzessorisches Mineral aus dem Quarzit beschrieben und würde für die oben dargelegte Deutungsmöglichkeit sprechen. Die Erwärmung dieser Lösungen zu „hydrothermalen Lösungen“ ergibt sich aus der geothermischen Tiefenstufe durch Überlagerung während der Überschiebungen.

Es darf vielleicht noch hingewiesen werden, daß sich eine Reihe anderer Lagerstätten, vor allem kleinere Vorkommen in diesem Gebiet, sowohl im Semmering-Mesozoikum wie im Kristallin, bei einem vollkommenen Fehlen sicherer magmatischer Erscheinungen, die als Lagerstättenbringer herangezogen werden könnten, auf solche Weise am einfachsten erklären lassen.

Ausgewählte Literatur:

- TOLLMANN, A.: Der Deckenbau der Ostalpen auf Grund der Neuuntersuchung des zentral-alpinen Mesozoikums. — Mitt. Ges. Geol. Bergbau Stud. Wien, Bd. 10, 1–62, Wien 1959.
- TUFAR, W.: Die Erzlagerstätten des Wechselgebietes. — Joanneum, Min. Mitteilungsblatt, H. 1, 1–60, Graz 1963.
- TUFAR, W.: Geochemische Untersuchungen an österreichischen Baryten, im Druck.
- TUFAR, W.: Die Vererzung vom Siegrabener Kogel (Burgenland), im Druck.
- TUFAR, W.: Die Erze des „Sausuritgabbros“ von Birkfeld (Steiermark), im Druck.
- WIESENER, H.: Die Korund-Spinellfelse der Oststeiermark als Restite einer Anatexis. — Joanneum, Min. Mitteilungsblatt, H. 1, 1–30, Graz 1961.
- WIESENER, H.: Die alpine Gesteinsmetamorphose am Alpenostrand. — Geolog. Rdsch., Bd. 52, 238–246, Stuttgart 1962.