

**BEMERKUNGEN ZU EINIGEN ARBEITEN ÜBER
DIE KUPFERLAGERSTÄTTE MITTERBERG
UND GEDANKEN ÜBER IHRE GENESIS**

Von
O. M. FRIEDRICH (Leoben)

In neuer Zeit erschienen nach einer zur Mineralogentagung in Leoben 1953 von meinem ehemaligen Mitarbeiter K. MATZ (12) verfaßten, ausgezeichneten Zusammenfassung der damaligen Kenntnisse und Anschauungen über diese Lagerstätte drei Arbeiten über sie: ein Beitrag von G. GABL in diesem Archiv über die Geologie des Gebietes (9), eine ausführliche Bearbeitung der Lagerstätte von J. BERNHARD (1) und die Dissertation von H. UNGER (17). Wenn wir uns nachstehend vor allem mit der Arbeit von J. BERNHARD ausführlich auseinandersetzen, geschieht dies nicht, um an ihr Kritik zu üben, sondern um die positiven Angaben von ihrem Beiwerk zu trennen und als Grundlage für neue Betrachtungen zu verwerten. Es sei vorweg betont, daß ich positiv zu dieser Arbeit stehe, weil ich glaube, daß ihr ernstes Bemühen zu Grunde liegt — sonst würde ich mich nicht mit ihr so ausführlich befassen, denn für mindere Arbeiten lohnt sich ein Eingehen nicht; solche läßt man besser dem Vergessenwerden anheimfallen. Doch besteht auch hier die Gefahr, daß Irrtümer ins Schrifttum eingehen und dann von einem Autor nach dem anderen abgeschrieben und weitergeschleppt werden und dann sind sie schier unausrottbar geworden.

Bei unseren Betrachtungen wollen wir uns nur auf wichtig erscheinende Dinge beschränken, auf kleine Irrtümer oder Fehler nicht eingehen, höchstens betonen, daß eine straffere Fassung, die die vielen Wiederholungen vermeidet, günstiger gewesen wäre. M. E. hätte sich leicht ein Drittel des Umfanges einsparen lassen.

Wir wollen nachstehend die Punkte in der Reihenfolge besprechen, wie sie in der Arbeit aufscheinen und dort, wo es nötig erscheint, die Seitenzahlen (S..) beisetzen.

Sehr störend empfindet man die jeweils vorgesetzten Zahlen (Dezimalklassifikation). Wenn ein Autor sie nötig

hat, um seine sonst vielleicht krausen Gedanken zu ordnen, so sei ihm dies im Konzept unbenommen. Wenn man sie schon anwendet, dann soll man dies aber auch konsequent tun - doch davon merkt man (z. B. S. 55, 430) kaum etwas! Und gerade diese Inkonzernenz stört.

Bekannt sind die innerhalb des Erzganges auftretenden bzw. diesen durchsetzenden "Gangdiabase". Bei einer so ausführlichen Bearbeitung wäre zu erwarten gewesen, daß diese eingehender gesteinskundlich untersucht werden. Wenn es unter Berufung auf KARL heißt, sie "sind zwar nicht mehr als Diabase anzusprechen, wohl aber als ehemalige Ergußgesteine", so ist dies doch zu dürftig. Dies geht schon daraus hervor, daß ein tatsächlicher Erguß, also ein Austreten an die Erdoberfläche oder auf den Meeresboden unbekannt ist. Da wäre die Bezeichnung "Ganggestein" jedenfalls richtiger.

Von den Gesteinen wollen wir uns vormerken, daß die Fellerbach-Schichten = Bunte Serie (HEISSEL) als Unterperm, die "Grünen Werfener" von Mitterberg (HEISSEL) mit Anhydrit und Gips als Oberperm eingestuft werden, über die die normalen Werfener Schichten als unterste Trias folgen. In diese "Grünen Werfener Schichten" gehen weder die Gesteinsgänge, noch der Erzgang hinein; dies ist für spätere Schlußfolgerungen wichtig, denn es geht daraus hervor, daß die Gangvererzung in ihren beiden frühen Generationen spätestens mit dem Absatz dieser Grünen Werfener Schiefer ablief.

Die Lagerstätte erweist sich entgegen früheren Behauptungen (W. PETRASCHECK 1932) als echter Gang, der weder der Schieferung, noch der Schichtung folgt. Es ist nach HEISSEL und KARL noch unbekannt, "auf welche tektonische Anlage der auffallend geradlinige Gangverlauf zurückzuführen sei" (S. 13, 61), außer er hängt nach TRAUTH mit dem OW-Faltenbau der Grauwackenzone zusammen.

Die sehr breit gebrachten Ausführungen über die Gefügeanalysen hätten nur dann den ihnen zugemessenen Wert, wenn das Gebirge autochthon wäre. So wissen wir aber durch die nicht anzweifelbaren Erkenntnisse über den Deckenbau der Alpen, daß die Grauwackenzone eine Schubmasse darstellt, deren Heimat wesentlich südlicher lag, jedenfalls S der Zentralalpen (CLAR 5). Es kann durchaus nicht als selbstverständlich vorausgesetzt werden, daß der Deckenschub eine streng parallele Verschiebung ergab, sondern es ist mit erheblichen Schwenkungen und auch Kippungen zu rechnen. Dies erkennt man an Schüb- bzw. Gleitmassen immer wieder, beispielsweise sehr schön bei den Massen der Stauseekatastrophe von Longarone. Daher können diese Gefügedaten wohl nur so weit gelten, als sie sich auf Verhältnisse innerhalb des geschobenen Blockes beziehen, nicht auf großräumige Betrachtungen.

Wenn schon der Tektonik so breiter Raum zugemessen wird, dann wäre zu erwarten, daß auf verschiedene Fragen des Gangverlaufes näher eingegangen würde. So erwartet man nach der Abb. 2 (S. 7) Erörterungen, wie sich das Ostende des Hauptganges zum Buchberggang verhält, ob etwa das Salzachtal eine Störung darstellt, wenn ja, nach welcher Richtung die Fortsetzung des Hauptganges zu vermuten sei, ob eine Scharung einstens bestanden habe oder ob der Buchberggang zum System der Querstörungen gehört usw. Es fällt auch auf, daß die südlichen Gänge, also der Braudergang, der Burgschwaiggang und der Birksteingang nur zwischen dem Salzachtal und dem Mühlbachtal bekannt sind. Folgen diese beiden Täler Störungen, die diese Gänge beiderseits abschneiden? Der auffallend geradlinige Verlauf des Mühlbachtals läßt an diese Möglichkeit denken; trifft dies nicht zu, so müßte darüber nachgedacht werden, ob diese Gänge irgendwo zum Hauptgang zuscharen; denn dort wäre

nach allgemein bergmännischer Erfahrung eine reiche Vererzung zu erwarten. Wie können alle diese Fragen geklärt werden, oder sind sie vom Betrieb aus schon gelöst? Das wären nur einige Fragen, auf die man in einer ausführlichen Gefügetektonik einer Ganglagerstätte wenigstens Hinweise erwartet.

Auf S. 8 bleibt gleich oben manches unklar; wenn es heißt: "Während die metamorphen Gesteine der Grauwackenzone durch sichere Fossilfunde altersmäßig gegliedert und eingestuft werden konnten..." erhebt sich die Frage, ob etwa die Fossilfunde an die Metamorphose gebunden sind(??) oder warum nichtmetamorphe Gesteine keine Fossilien führen u. dgl. mehr.

Auf S. 25 wurden die "Pyrite I mit Zonenbau als ein Typ" bezeichnet, "dessen Bestandteile Pyrit, Arsenkies, Bravoiit und Gersdorffit sind". Das ist in dieser Form sicher unrichtig, denn Arsenkies und Gersdorffit sind Minerale mit anderem Gitterbau als ihn der Pyrit aufweist, man kann sie daher nicht als Bestandteile von Pyrit ansprechen. Es kann sich, wenn tatsächlich die einzelnen Schichten Arsenkies usw. sein sollten, nur um (rhythmische? oder irgendwie gesetzmäßige) Verwachsungen, von Pyrit mit diesen beiden Mineralien handeln. Zonare Kiese mit Pyrit als Hauptmineral sind in ostalpinen Erzen überaus häufig: Ich habe schon 1939 solche abgebildet (Bg. hm. Moh. 47, S. 207) und ausführlich beschrieben. Auch später (1959, 1965) und jüngst (1967) bin ich auf solche zonare Kiese in Bild und Wort eingegangen.

Soweit ich solche zonar gebauten Kiese mit Pyrit als Hauptkomponente kenne, handelt es sich entweder um Bravoiit oder - wie ich schon 1939 erkannte - um ursprünglich gemengte Gele, deren Komponenten sich zu mehr oder minder genau definierten Mineralen zusammenfinden, viel-

fach aber noch nicht den genauen Gitterbau der betreffenden Minerale erreichten bzw. in denen die eine (Fe) oder die andere Komponente (S) durch andere Elemente (Ni, Co usw. bzw. As) gittermäßig vertreten wird. Solche Kiese reflektieren meist geringer als Kristalle mit ungestörtem Gitterbau, oder die Farbe ist bei höherem As-Gehalt weniger gelb usw. Es ist richtiger, in solchen Fällen von gemischten oder gemengten Kiesen zu sprechen, denn der Ausdruck "Pyrit... dessen Bestandteile Pyrit, Arsenkies, Bravoiit und Gersdorffit sind" ist hierfür unzutreffend, da dem Mineral Pyrit eben ein ganz bestimmter Gitterbau zukommt. Ist dieser nicht gegeben oder nicht erreicht, kann man nicht von Pyrit sprechen, sondern höchstens von Kies, außer, das betreffende Mineral hat den Gitterbau des Pyrits, wie dies beim Bravoiit oder beim Villaminit, beim Vaesit oder beim Cattierit zutrifft. Mischkristalle mit diesen könnte man noch als Pyrit gelten lassen, nicht aber solche mit ganz anderem Bau.

Über die möglichen Gehalte des Pyrits an Neben- und Spurenelementen unterrichtet neuerdings eine sehr ausführliche Arbeit von B. CAMBEL u. J. JARKOVSKY (4).

Wenn auf S. 30 behauptet wird, daß der Gersdorffit von Mitterberg entgegen den Angaben von RAMDOHR (Erzminerale, 1960) nicht spaltbar sei, so trifft dies sicher nicht allgemein zu. Mir liegen viele Anschliffe mit vorzüglicher Spaltbarkeit, auch mit den dreiseitigen Spaltausbrüchen vor. Da es sich hierbei meist um alte Schliffe aus den Jahren um 1920 bis 1940 handelt, könnte es sein, daß die schonendere, aber auch viel aufwendigere maschinelle Schliffherstellung, wie sie heute meist durchgeführt wird, die Spaltrisse nicht so stark hervorruft wie die frühere Schleiferei von Hand aus. Abgesehen davon wird in vielen meiner Schliffe der Gersdorffit ausgezeichnet nach seinen Spaltrissen verdrängt, sodaß ich keine Sonderheit des Gersdorffits von Mitterberg erkennen kann.

Warum der Millerit in freien Nadeln in Drusenräumen deszendiert sein soll, wird nicht begründet, ist deshalb auch nicht glaubwürdig. Überdies finden sich Drusenräume nach K. MATZ (12) vor allem in den jüngeren Quergängen häufig; sie führen die Minerale der jüngeren Abfolge (siehe S. 163). Die Angabe von Millerit als hydrothermales Umwandlungsprodukt einer alpidischen Mobilisation wird, ebenso wie diese ganze alpidisch sein sollende Umwandlung, angezweifelt; darauf kommen wir noch zurück.

Entschieden abgelehnt wird die Deutung, daß die verbreiteten Eisenglanztafeln durch Hitzemartitisierung aus Magnetit hervorgegangen seien. Eisenglanz ist in unseren Spatlagerstätten weit verbreitet, tritt sowohl in Ankerit wie auch in Eisenspat, Sideroplesit oder in Mesitin oft in handtellergroßen Tafeln auf, ohne eine Spur von Ankerit darauf, daß er aus Hitzemartit entstanden sei. Er bildet sich beim Absatz eisenhaltiger (Ferro-)Karbonate stets dann, wenn die Lösungen schwach oxydierenden Zuständen ausgesetzt waren. In einigen Lagerstätten, so in Waldenstein oder in der Scheiben bei Unzmarkt, herrscht er weit aus vor. Im Laufe des Vererzungsablaufes wird der Eisenglanz vielfach von Siderit verdrängt; dies habe ich schon in Abb. 5 (S. 175) meines Beitrages im FREUND'schen Handbuch 1954 dargelegt. Ähnlich wie in der Abb. 6 dortselbst hätte ich auch von Mitterberg zeigen können, daß dieser Eisenglanz örtlich zu Magnetit reduziert wird. Mir liegen Schliffe vor, die sowohl die unvollständige Verdrängung von Eisenglanztafeln durch Magnetit klar zeigen, wie auch die völlige Umsetzung, wobei die tafelige bzw. im Schriff blättrige Form dieser Gehäufte die Pseudomorphosennatur eindeutig erkennen lassen. Es handelt sich um verbreitete Änderungen des Redoxpotentials der vererzenden Lösungen, wie sie hier auch durch andere Umstände ("grüne Werfener Schichten") angedeutet werden. Ein schönes Beispiel dafür

liefert mir ein Schliff eines "schwarzen Magnesits" der Lagerstätte, der mir 1950 bei einer Befahrung des Bergbaues übergeben worden war. Die Schwärze rührt von feinstem Magnetitstaub her, der in unregelmäßigen Nebeln und Fahnen den Magnesit durchsetzt. Er ist entweder aus einem durch Roteisenpigment gefärbten roten Kalk (z. B. Sauberger Kalk) durch Reduktion des Fe_2O_3 zu Magnetit hervorgegangen. Dabei anwesender Schwefel setzte einen Teil des Fe_2O_3 auch zu Eisenkies um, der ähnlich feinste Körperchen bildet, wie der Magnetit. Oder es handelt sich um Spat mit der Magnetitfülle, wie sie MATZ aus dem Bereiche der Gangdiabas-Umgebung beschreibt. Daß sich beim Eindringen des Gang-"Diabases" etwas Magnetit gebildet hat, soll nicht angezweifelt werden.

Es fällt auf, daß Wismut als Mineral nicht angeführt wird, denn dieses Metall findet sich in Spuren in fast allen gangartigen Cu-Lagerstätten der Ostalpen, z. B. in Flatschach, Teufenbach usw., in Teufenbach sogar begleitet von Tetradymit (6). In einigen alten Schriffen liegt mir Wismut vor, darauf weist schon K. MATZ hin. Aber auch Gold ist einwandfrei vorhanden.

Bei den Karbonaten als Gangart wird angeführt, daß sich nach alten Analysen ergab, daß die Ankerite sehr unterschiedlichen Chemismus haben, und zwar von fast reinem FeCO_3 bis zum CaCO_3 -reichen Ankerit. Dazu ist zu bemerken, daß schon seit BUTTMANN und vor allem seit BÖHNE bekannt ist, daß neben Ankerit, also den Mischgliedern $\text{CaCO}_3 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})\text{CO}_3$ der Dolomitreihe auch Glieder der Magnesit-Sideritreihe, also $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{CO}_3$ bekannt sind. Gerade diese Glieder der Reihe, also Magnesit-Breunnerit Mesitit-Pistomesit-Sideroplesit-Siderit sind für den Mitterberger Gang sehr kennzeichnende Gangarten!

Auch sind in der Abb. 25 (S. 38) beide Reihen, die sich mineralogisch, auch erzmikroskopisch deutlich unterscheiden, nicht getrennt, sondern alles Karbonat wird als Ankerit bezeichnet. Eine scharfe Trennung beider Reihen wäre wünschenswert, weil sich genetische Schlüsse damit ziehen lassen würden. Übrigens führt schon K. MATZ (12) Braunspat und Ankerit einerseits und Sideroplesit andererseits als Gangartminerale an. Er betont auch, daß der Ankerit häufig pinolitisch entwickelt ist; dies weist m. E. darauf hin, daß dieses Karbonat in Ruhe langsam kristallisierte.

Das in der Abb. 25 gebrachte Diagramm enthält Ankerite mit gegen 90 % FeO und solche mit über 80 % MgO; das sind völlig unmögliche Werte, denn reiner Siderit hat 62·1 % FeO und reine Magnesite haben 47·6 % MgO; Ankerit mit einem Verhältnis von Fe : Mg = 3 : 1 hat 25 % FeO und 4·8 % MgO (BETECHTIN – RÖSLER, 1965) und Dolomit 21·7 % MgO. Es ist unerfindlich, wie man zu jenen völlig unmöglichen Werten für Ankerit gekommen ist und läßt sich nur vermuten, daß dem Diagramm statt CaO, FeO, MgO die Werte für CaCO₃, FeCO₃ und MgCO₃ zu Grunde gelegt worden sind, das Oxyd also mit dem Karbonat verwechselt worden ist? Auch für diesen Fall ginge aus dem Diagramm hervor, daß nicht reine Einzelminerale, sondern grobe Verwachsungen ganz verschiedener Karbonate analysiert worden sind. Damit sind diese Analysen wissenschaftlich nahezu wertlos. Die hohen Werte für FeO und MgO zeigen aber, wenn sie auch für die Oxyde unmöglich sind und als Karbonat gelten sollten, daß nicht nur Ankerit als karbonatische Gangart auftritt, sondern – wie übrigens schon lange bekannt – auch Magnesit und Eisenspat bzw. Mesitin–Pistomesit. Es sollte selbstverständlich sein, daß die Karbonate gerade auch bei dieser Lagerstätte in der Art untersucht werden, die für Magnesitlagerstätten schon längst üblich ist.

Ohne dem Analytiker irgendwie nahezugetreten zu wollen, scheinen mir die Karbonatanalysen, die BUTTMANN 1913 (3) bringt, zuverlässiger zu sein. So bringt er neben eindeutigen Ankeritanalysen auch eine eines Spates mit 82·27 % FeCO_3 , 15·68 % MgCO_3 und 3·22 % MnCO_3 ; also liegt dabei Sideroplesit vor! (13, 14).

Einige Ni- und Co-Mineralen wurden neu aufgefunden; dies ist für eine moderne erzmikroskopische Untersuchung nichts Besonderes, sondern war zu erwarten.

In der Übersicht der Einzelminerale wird (S. 38) auch betont, daß die erzmikroskopische Neubearbeitung der Mitterberger Erzminerale einen "Gegensatz zu BÖHNE (1931)" ergeben habe; dieser habe einen "alten" und einen "jungen" Kupferkies beschrieben, BERNHARD fand hingegen einen älteren, der heiß gebildet worden sei und einen jüngeren, der kühler entstanden ist. Wo soll da der Gegensatz liegen? Die bloße Beziehung auf die Wärmehöhen sind doch kein Gegensatz, sondern bestenfalls eine vielleicht neue Erkenntnis!

An Aussagen über den Vererzungsvorgang neben wir nachstehend einige hervor, weil wir später darauf zurückkommen. So betont BERNHARD, daß die (ausführlich gebrachten) tektonischen Aufnahmen die vermutete Antiklinale im Bereich des Hauptganges nicht beweisen (konnten). Es fällt ihm auf, daß der Hauptgang so gleichmäßig OW streicht, wobei aber das Einfallen nach S in der Tiefe flacher wird (S. 61). Die Erze der 1. und 2. Abfolge ("Generation") setzten sich in einer alten, tektonisch noch nicht geklärten Anlage ab. Sie (die Erze) werden von den "Diabas"-Gängen durchörtert; jüngere Beanspruchungen verformten und versetzten die Lagerstätte. Wahrscheinlich gleichzeitig damit oder darnach setzten sich die Erze der 3. Abfolge ab. Deren Erze, und nur diese, stehen auch in den Quergängen an, ihr

Mineralbestand ist daher gleich wie jener der 3. Abfolge, nur sind sie innerhalb der Quergänge anders zueinander angeordnet.

Der 1. und der 2. Gangtypus haben denselben Mineralbestand, doch sind die Minerale des zweiten zerbrochen und ärmer, waren daher einer Druckbeanspruchung ausgesetzt. Dies ist aber noch lange kein Beweis dafür, daß Kupferkies, Quarz und Ankerit deshalb abgewandert sein müßten. Das angeführte Beispiel (S. 74) beweist noch lange nicht die Mobilisation, sondern lediglich, daß zur Zeit seines Absatzes, also nach dem Abklingen der betreffenden mechanischen Beanspruchungen, kühl gebildete Abfolgen abgesetzt worden sind. Der gezogene Schluß, daß die 3. Abfolge ein Mobilisat der 1. und 2. sein müsse, ist weder logisch, noch bindend! Die Annahme einer durch nichts bewiesenen Mobilisation hat schon bei den kalkalpinen Blei- und Zink-Lagerstätten unheilvoll gewirkt und hat die richtige Erkenntnis um 10 Jahre verzögert. Diese trat erst ein, als ich diese Rolle der Mobilisation durchschaute und sie ausschaltete (7). Hier aber wärmt man diese völlig unbegründete Annahme wieder auf!

Die nachfolgenden Angaben, daß Pyrit und Magnetkies erst dann abwandern, wenn so viel Kupferkies abgetragen sei, daß sich der Druck auf die Eisensulfide übertrage (S. 75), sind leeres Geschreibe ohne physikalisch-chemische Begründung. Auch auf die nachfolgenden Ausführungen (S. 76, 77) braucht, weil sie ebenfalls unbegründet sind, nicht näher eingegangen werden; denn der Verfasser schreibt selbst (S. 77, 5. Absatz): "Das Ergebnis, daß der Mitterberger Hauptgang der Achsenfläche einer Großantiklinale folgen soll, wird allerdings erschüttert, wenn man berücksichtigt, daß ja gerade die Achsenfläche einer Antiklinale jener Bereich ist, der durch die Einengungstektonik besonders stark zusammengedrückt wurde. Es scheint daher unmöglich zu sein,

daß die Erzlösungen der älteren Vererzung (I. und II.) gerade in jenem tektonischen Bereich zum Absatz kamen, der auf Grund der vorliegenden Einengungstektonik für eine Spaltenbildung völlig ungeeignet erscheint." Trotz dieser Erkenntnis heißt es auf S. 79 aber doch, "...daß der Mitterberger Hauptgang der Achsenfläche einer alten Antiklinale folgt Ein wesentlicher Beweis für die Existenz einer alten Antiklinale ... war nicht möglich..."

Auch in der abschließenden Zusammenfassung wird sie wieder angenommen. In dieser wird dargelegt (S. 81 ff), daß die Vererzungsphasen I und II älter als die "Diabas"-Intrusion sind, daß die "Grünen Werfener Schichten" zur Zeit dieser Intrusion noch nicht vorhanden waren, daß daher die ("primäre") Vererzung des Mitterberger Hauptganges permisch oder präpermisch ist. Deshalb müsse ein alpidisches Alter der Vererzung ausscheiden. Alpidisch und mit den prägosauischen Deckenbewegungen zusammenhängend sei nur die Mobilisation der Erze aus Abfolge I bzw. II zur Abfolge III. Als Erzsponder wird auf den "Pluton" verwiesen, dem die "Gangdiabase" zugehören. Auf S. 82 wird auch nach HEISSEL noch auf Kupferkiesschnüre bzw. auf Kupferkies-Vererzungen in der Trias hingewiesen, aber nicht angegeben, wo diese auftritt. Schließlich wird nach vielen Worten (S. 86) nochmals betont, daß die Mitterberger Lagerstätte keine aszendente alpidische Vererzung darstelle.

Zuletzt fällt auf, daß mehrere Arbeiten von H. MEDNER (15 16), die diese Lagerstätte und ihre Minerale betreffen, nicht angeführt werden und ebenso die Arbeit von G. CABL, 1964, die über ausdrücklichen Wunsch der Bergdirektion in mein "Archiv" aufgenommen wurde, nicht im Schrifttum aufscheint. Da der Direktion von dieser Arbeit Sonderdrucke zugehen und BERNHARD selbst anführt, daß er seine Arbeit im Auftrage der Bergdirektion gemacht habe, kann dieses Verschweigen nur als Unfreundlichkeit aufgefaßt

werden, da ihm diese Arbeit doch sicherlich von der Werks-Direktion zugänglich gemacht worden ist.

Diese Arbeit von GABL (9) bringt neben einer in gutem Farbdruck wiedergegebenen geologischen Karte 1 : 50 000, deren Original in dem auch für bergbauliche Zwecke geeigneten Maßstab 1 : 10 000 aufgenommen ist, eine sehr eingehende Bearbeitung der Gesteine und des Baues des Lagerstättenbereiches. Insbesondere sind die Verbandsverhältnisse der violetten Gesteine mit den "Grünen Werfener Schichten von Mitterberg" und den normalen Werfener Schichten durch 11 ausgezeichnet klare Profile dargelegt. Da diese Arbeit den Lesern dieser Zeitschrift zugänglich ist, brauchen wir nicht näher darauf einzugehen.

Das gleiche gilt auch für die Arbeit von H. UNGER (18) in diesem Band, in der über Versuche berichtet wird, mittels Röntgenfluoreszenzmethode die Kupferspurengehalte in Gesteinen zu ermitteln. Es ergab sich, daß beidseitig des Ganges das Nebengestein auf einige (3 bis 15) Meter mit Spuren von Kupfer durchtränkt ist. Damit ist erstmalig die Fluoreszenzmethode zur "geochemischen Prospektion" einer alpinen Lagerstätte eingeführt und erprobt worden. Die Ergebnisse und Grundlagen (Grubenkarte des bemusterten Bereiches) sind in 2 Beilagen dargestellt.

In seiner 1967 vorgelegten, 62 Seiten langen Dissertation (17) bringt er die Gesteine und den geologischen Bau des Gebietes, betont dabei ebenfalls, daß der Hauptgang immer einige Meter unter der Liegendgrenze der "Grünen Werfener Schichten" endet, wobei betont wird, daß in diesen der Chlorit einen Übergang von eisenreichem zu MgO-reichem (salinarem) Milieu andeutet. Die Hauptverwerfer im Westen sind Brüche mit Seitenverschiebungen und Scherbewegungen bei Verwurfhöhen von 458 m mit gleichzeitiger Verdrehung (Verschwenken) des Ganges um 315 m nach Süden. Dabei haben diese Bewegungen alpidisches Alter. Auch

spricht sich UNGER gegen die Antiklinaltheorie der Gangbildung aus. Die violetten und die grünen Schichten bilden eine sedimentäre Abfolge mit zunehmender Salinität (Gips und Anhydrit). Dabei sind die violetten Schichten Oberkarbon, die oberen "Grünen Schichten" werden als mittleres bis oberes Perm eingestuft und stellen eine Sonderfazies dar. UNGER sieht daher das Aufreißen der Gangspalte als letzte Äußerung der variszischen Ära an, die sich im untersten Perm füllte, bevor noch die "Grünen Schichten" abgelagert wurden bzw. solange sie noch so sehr plastisch waren, daß keine Gangspalte bestehen konnte. Bereits im Mittelperm war die 1. und 2. Mineralabfolge (nach BERNHARD) abgesetzt, anschließend drang der Gangdiabas hoch. UNGER betont (S. 48), daß eine spätvariskische Orogenese nicht nachweisbar sei, erst die alpidische Orogenese stört den Gang und senkt das Westfeld. Die 3. Erzabfolge durchsetzt noch den Gangdiabas, ist daher jünger und wird nach BERNHARD als alpidisch mobilisiert angenommen. Ein sehr anschauliches Blockbild (S. 47a) zeigt diese Auffassung.

Bemerkenswert ist, daß die Gesteine der violetten Serie durch die Lösungen, die im Gang aufstiegen, gebleicht wurden, dabei wurden die Eisengehalte von fast 6 % auf 2-3 % (genauere Zahlen sind gebracht) herabgesetzt.

Der weitere Teil der Dissertation behandelt die Spurensuche im Nebengestein vermittels der Röntgenfluoreszenz-Analyse. Der wesentliche Inhalt ist in der vorstehend besprochenen Arbeit wiedergegeben.

Meine Deutung des Vererzungsvorganges

In den vorstehenden Auszügen sind die bisherigen neueren Anschauungen ausführlich gebracht worden. Keine befriedigt so recht, weil alle zusehr an den übernommenen Vorstellungen über den Ablauf der alpidischen Vererzung kleben.

Mit meiner Deutung der kalkalpinen Blei- und Zink-Erzlagerstätten (7) habe ich schon 1963 einen neuen und – wie mir scheint – zutreffenden Weg gewiesen: Man muß, um zu klaren Erkenntnissen zu kommen, den zeitlichen Ablauf der alpidischen Vererzung viel weiter spannen: Er beginnt nach meinen derzeitigen Erkenntnissen schon mit dem ersten Absinken der alpidischen Geosynklinale im oberen Perm und endet mit dem letzten Nachsacken des gehobenen Gebirges, dem Aufreißen der Tauern-Goldgänge im engeren Sinn und den alpinen Zerrklüften im Jungtertiär! Im nächsten Band dieser Zeitschrift komme ich ausführlich darauf zurück, habe aber schon in Fachvorträgen darüber berichtet. So habe ich schon vor einem Jahr auf der Tagung der Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute in Salzburg (8) darüber gesprochen und die Genesis unserer Spatmagnetit Lagerstätten in diesem Sinne gedeutet. Die damals in einer Werkszeitschrift eingereichte ausführliche Arbeit ist leider noch nicht erschienen.

Der alpidischen Gebirgsbildung (Orogenese), die einen verhältnismäßig kurzzeitigen und jungen Akt bei der Entstehung der großen alpidischen Kettengebirge (Atlas–Alpen–Karpaten–Kaukasus–Zentralasien) darstellt, geht ein weitaus länger dauerndes Absinken der betreffenden Krustenteile voraus, die Bildung und Füllung der alpidischen Geosynklinale. Ihre als Gesteine sichtbaren Spuren beginnen mit groben Schottern und Sanden, die die Mulde dieser beginnenden Geosynklinale auffüllen; sie sind uns als Präbichl-

Konglomerat, als Brunnsinkbresche usw. längst bekannt und stellen wichtige Marken für die zeitliche Einstufung der Vererzungsvorgänge. Allmählich werden die Ablagerungen feinkörniger, gehen über Sande in tonige Gesteine über: Werfener Schiefer. Örtlich dunsten die bestehenden Meeresbuchten auch ein und es entstehen salinare Bildungen, wie Anhydrit, Gips, auch Steinsalz. Das Absinken des Untergrundes hält weiter an, es bilden sich die kalkigen Ablagerungen der unteren, mittleren und oberen Trias bis in die Unterkreide hinauf. Dabei scheint das Absinken des Untergrundes etwa dem Auffüllen des Geosynklinaltroges die Waage zu halten, d. h. es bildet sich nirgends Tiefsee in größeren Bereichen oder längeren Zeiträumen.

Das Absinken des Bodens der Geosynklinale wird durch Abströmen des tieferen Untergrundes ausgelöst, den Unterströmungen im Sinne AMPFERERS. Dies ist nun die eigentliche Ursache des altalpidischen Teiles der alpidischen Vererzung bzw. der betreffenden Gangbildungen.

Wenn man auf eine dünne gespannte Gummihaut Flüssigkeit oder Pulver aufbringt, biegt sich die Haut elastisch unter der Last durch, bildet eine Beule bzw. einen Sack, dehnt sich so lange, bis die Last größer ist, als es die Zugfestigkeit des Gummis ist und zerreißt. Hoch elastische Körper wie Gummi haben vielfach eine sehr hohe Zug-, aber geringe Druckfestigkeit. Bei Gesteinen ist dies gerade umgekehrt: hier steht einer hohen Druckfestigkeit eine sehr geringe Zug- und Scherfestigkeit gegenüber. Bei ähnlichen Beanspruchungen reißen sie sehr bald durch; auch davon kann man sich experimentell leicht überzeugen: Wenn man auf die Unterseite der Gummihaut eine dünne Gips- oder Ton-Schicht aufbringt und von oben her belastet, bilden sich sofort Spannungsrisse. Ein absinkender Meeresboden kann sich aber nicht elastisch so verformen wie die Gummihaut des Versuches, d. h. sich unter Schrumpfen der Dicke nahe-

zu unendlich dehnen und dadurch den neuen Verhältnissen anpassen, sondern es treten bei einem langen und verhältnismäßig schmalen Meeresbecken Scherrisse (Setzungsrisse) auf, an denen der Boden gegenüber dem Vorland absinkt. Da diese Scherrisse durch das Abströmen der Massen im Untergrund (Sima oder tiefer) ausgelöst werden, reichen diese Risse auch so tief hinab.

Auf diesen Scher- oder Setzungsrisse haben mit Stoffen beladene Lösungen leichte Aufstiegswege und setzen in diesen Spalten eben die Erze und Gangarten ab (Erzgänge). Durchreißen diese Risse leicht auflösbare Karbonatgesteine, so werden die aufsteigenden Lösungen in diesen Metasomatosen auslösen, wie wir dies bei Magnesit und Eisenspat sehen.

Auf den Fall der Mitterberger Kupferkiesgänge angewendet, ergibt sich: Schon die erste Anlage des alpidischen Geosynkinalbeckens erzeugte weithin streichende Setzungsrisse, auf denen die Erzlösungen aufdrangen. Da in diesem Gebiet keine oder nur wenige Kalke vorlagen, die metasomatisch hätten verdrängt werden können, bildete sich die auch für heutige Begriffe ansehnlich gerade weithin streichende Ganglagerstätte. Das Absetzen des Beckeninneren gegenüber dem Rand ist nicht mit einer Einengung des Raumes verbunden, sondern geht im Gegenteil mit einer Auflockerung einher. Dadurch setzen die Spaltenränder mehr oder weniger parallel in die Teufe, während sie beim Aufreißen einer Spalte in der Achsenfläche einer Antiklinale sich oben keilförmig ausweiten, nach unten jedoch auskeilen und dadurch aufhören müßten, gleichgültig ob der für eine Vererzung günstige Druck- und Wärmehöhenbereich (P-T-Bereich im Sinne der physikal. Chemie) noch anhält oder nicht. Daß das Suchen nach der angenommenen Antiklinale bei dieser meiner Deutung ergebnislos bleiben mußte, ist selbstverständlich, weil eben gar keine vorhan-

den zu sein braucht. Das Aufreißen der Hauptgangspalte in der hier geschilderten Art läßt auch das Auftreten der anderen Gänge und der Nebentrümmer besonders in den oberen Bereichen gut verstehen als ein Auffiedern, ähnlich wie wir es auch an Grabenbrüchen sehen.

Das Absinken entlang dieser Setzungsrisse hält auch im geologischen Sinne lange an, eben so lange, als sich der Boden der Geosynklinale absenkt. Da aber das Abströmen der Massen des Untergrundes nicht genau und dauernd entlang einer Fläche erfolgt, werden im Zuge dieses Absinkens mehrfach solche Spalten aufreißen, die im großen und ganzen annähernd parallel verlaufen. Auf den jeweils geöffneten steigen die Lösungen aus der Tiefe auf, zuerst Mg-reiche, dann Fe-Cu-reiche und schließlich solche mit viel Pb und Zn und füllen die jeweils aktiven Spalten mit den entsprechenden Erzen und Gangarten.

Wie K. MATZ (12) - aus seiner Tätigkeit bei diesem Bergbau, gepaart mit großem mineralogischen und lagerstättenkundlichen Interesse einer der besten Kenner dieser Grube - anführt; ist die Mineralführung der Quertrümmer, der "Scheren" von BÖHNE, reich an Drusen, hat neben den eigentlichen Erzen Pistomesit als häufige Gangart, führt als Chlorit nach NOVAK Leuchtenbergit (der ein kennzeichnendes Mineral der Talklagerstätten der Ostalpen ist), rosa Apatit, der auch den Eisenspat am Kollmannsegg begleitet, Albit, Schwerspat, Cölestin, Strontianit, Jamesonit, Arsen, Zinnober, daneben etwas Bleiglanz und Zinkblende. Daraus schließt MATZ mit Recht, daß dieser jüngeren Vererzungsphase von Mitterberg auch die Eisenspatlagerstätte am Kollmannsegg angehört.

Ebenso stellt er die Eisenspatlagerstätte in der Taghaube hierher. Diese tritt in einem Mylonit an der Triasbasis auf, der metasomatisch mit Eisenspat (Pistomesit) vererzt ist. Die Werfener Schiefer dieses Vorkommens sind zu Phyl-

liten metamorphosiert. Quarzgänge durchsetzen hier den Eisenspat und führen Kupferkies, Fahlerz und Zinnober. Die junge Vererzungsphase von BÖHNE = die III. Erzgeneration von BERNHARD, reicht somit noch in die Werfener Schichten i. e. S., also in die untere Trias hinein. Dadurch ist die auch geologisch lange Zeit (Perm bis untere Trias) anhaltende Vererzung der Mitterberger Gänge belegt und die von BERNHARD angenommene, aber nicht bewiesene "alpidische Mobilisation" überflüssig.

Diese wichtigen Erkenntnisse von K. MATZ zeigen, daß mineralogische Beobachtungen für die Kenntnis einer Lagerstätte und für die richtige Einstufung einzelner Bildungsvorgänge grundlegend sein können und man schlecht beraten ist, wenn man sie übergeht und nicht auswertet.

Die von mir angenommene und hier dargelegte Herleitung des Ganginhaltes aus der Tiefe, etwa aus dem Sima, paßt auch geochemisch ausgezeichnet zu den mineralogischen Verhältnissen in der Lagerstätte. Denn wir haben als Gangarten zunächst sehr magnesiareiche Karbonate, wie Magnesit, Mesitin, Sideroplesit. Dazu kommen die in wirtschaftlich wichtigen Mengen auftretenden Nickel- und Kobalterze, deren Art und Masse ja BÖHNE (2) und BERNHARD aufgezeigt haben. Dazu passen aber auch der Apatit und der Chromglimmer Fuchsit (K. MATZ 12, H. MELXNER 16), der nach MELXNER 1961 (15) aber Chrom-Pyrophyllit ist und etwa 2-93 % Cr_2O_3 enthält.

Das benachbarte Vorkommen von Magnesit-, Siderit-Lagerstätten und der Kupfererzgänge, wie es im Raume Mühlbach-Dienten so auffallend ist, wird dadurch ebenfalls leicht erklärlich.

Das Absetzen an diesen Scherrissen hält, wie vorstehend erwähnt, lange an; Ruhezeiten wechseln mit Zeiten stärkeren Abgleitens. Auf die ruhig abgesetzte Erzfolge I

folgt die (an sich schwach) bewegte und dadurch etwas verformte Erzfolge II. Bei einem nachfolgenden stärkeren Abgleiten dringen auf diesen, wie eingangs dargelegt, bis in große Tiefen reichenden Setzungsrissen echte Schmelzen hoch und erstarren unter Wasseraufnahme und entsprechenden Umsetzungen als "Gangdiabase" in Form eines, den Erzgang durchsetzenden Gesteinsganges. Daß dies aber keine oder nicht nur eine trockene Schmelze war, sondern daß sie von Lösungen begleitet waren, geht nicht nur aus ihrer entfernt an die propylitische Umwandlung erinnernde Zersetzung hervor, sondern auch daraus, daß nach MATZ am Gangdiabas der Kupferkies etwa bis 2 m breit durch Pyrit verdrängt wird und daß sich im Spat dieser Bereiche fein verteilter Magnetit als "Fülle" vorfindet. Da alle diese geotektonischen u. magmatischen Vorgänge pulsieren, lebhaftige Tätigkeit mit Ruhezeiten wechseln, folgt darnach die dritte Erzabfolge in einer verhältnismäßig ruhigen Phase, sie kann die Erzfolgen I und II und auch die "Gangdiabase" durchsetzen. Eine alpidische Mobilisation ist für diese III. Erzgeneration durchaus nicht nötig und auch im angenommenen Ausmaß völlig unwahrscheinlich.

Daß innerhalb der Minerale des Erzganges allerlei Verdrängungen auftraten ("innere Gangmetasomatose"), ist bei einem solch lange Zeit währenden und über einen breiten P-T-Bereich sich erstreckenden Vererzungsvorgang selbstverständlich; ebenso, daß heiß gebildete Abfolgen von kühleren abgelöst werden und daß allerlei Rejuvenationen zu erwarten sind, das heißt, daß auf kühlere Abfolgen wieder heißer gebildete folgen können usw. Das ist aber ganz etwas anderes als die von BERNHARD angenommene, von mir aber abgelehnte alpidische Mobilisation!

An Gangartminerale sind seit langem die Mg- und Fe-reichen Karbonate der Magnesit-Sideritreihe und auch viel Ankerit bekannt. Besonders in den oberen Teufen trat

in diesen Karbonaten Eisenglanz in groben Schuppen auf, mit dem wir uns schon eingangs ausführlich auseinandergesetzt haben. Er ist im Verlauf der späteren Vererzungsphasen vielfach zu Magnetit reduziert worden, wobei die blättrige Form der Gehäufte im großen und ganzen zwar erhalten bleiben kann, aber durch kleine Magnetitkörnchen abgeformt wird. Dies zeigt, gleich wie das Vorkommen der Eisen(II)-Karbonate, auf reduzierende Verhältnisse der vererzenden Lösungen im größten Bereich der Lagerstättenbildung. Damit stimmt bestens die Erkenntnis von H. UNGER überein, daß die Gesteine der violetten Serie durch die auf der Gangspalte aufsteigenden Lösungen gebleicht worden sind, wobei Eisen weggeführt und teilweise durch MgO ersetzt wurde.

Da übereinstimmend von allen Bearbeitern der Lagerstätte erkannt und immer wieder darauf hingewiesen wurde, daß der Erzgang nicht mehr in die "Grünen Werfener Schichten" hineinsetzt, sondern unter diesen endet, ergibt sich auch eine sehr einfache Erklärung für die auffallende Sonderfazies der "Grünen Werfener Schichten" im Sinne von HEISSEL (10): Das Meeresbecken, in dem diese Schichten abgesetzt wurden, war, wie aus der ausgesprochenen Salinarfazies (Anhydrit, Gips) hervorgeht, von einem etwaigen Hauptmeer abgeschnürt. In dieses Becken gelangten die Restlaugen, gewissermaßen die Abgänge der vererzenden Lösungen. Da diese, wie die Pseudomorphosen von Magnetit nach Eisenglanz und auch die abgeschiedenen Ferrokarbonate reduzierende Eigenschaften aufwiesen, übertragen sie diese auch dem Meeresbecken, in das sie sich ergossen. An Stelle der sonst allgemein verbreiteten violetten Serie mit Fe_2O_3 bildete sich die der Sonderfazies der "Grünen Werfener Schichten". Daß nach HEISSEL diese "Grünen Werfener Schichten" örtlich den Eindruck von ausgelangtem Haselgebirge machen, wäre leicht verständlich, denn die Ablaugen der Vererzung, die in das Salinar-

becken eintraten, könnten dort tatsächlich sehr leicht Auslaugungen bewirkt haben.

Nicht hier im Norden, sondern im Süden bei Eisenkappel kennt man auch entsprechende grüne Sandsteine mit reichlich Kupfersulfiden im Bindemittel, die der Permformation angehören (KRAJICEK 11). Da nach der Deckenlehre ohnedies angenommen werden muß, daß die Gesteine der Grauwackenzone vor dem Deckenschub im Süden lagen, etwa anschließend an die dortigen paläozoischen Schichten der Gailtaler und der Karnischen Alpen, so erscheint auch diese Brücke verständlich. Es wird dabei nicht daran gedacht, daß das Vorkommen im Oboinigraben unmittelbar der von den Mitterberger Gangvorkommen nicht ausgefüllte und ins Permmeer gelangte und dort sedimentär ausgeschiedene Anteil der vererzenden Lösungen sein müsse, aber ein gewisser Zusammenhang ist durchaus möglich, insbesondere, wenn man bedenkt, daß zur Permzeit weltweit Kupfer aus tiefen Schichten der Erde gefördert worden zu sein scheint.

Erst – auch geologisch – viel später erfolgten die große Deckenbewegungen der alpidischen Orogenese, die die Grauwackenzone aus dem Süden in ihre heutige Lage brachte. Dabei wurde die ganze Gesteinsmasse mehr oder weniger als Block bewegt, doch ergaben sich dabei die Störungen, die heute als die alpidischen erkannt und ausgeschieden werden. So scheinen beim Vorgehen der Schubmasse durch die erhöhte Reibung an der Unterlage die tieferen Gesteinspakete mit den unteren Gangteilen etwas zurückgeblieben bzw. geschleppt zu sein; dies ergibt das flachere Südfallen der tieferen Gangteile, auf das UNGER hinweist. Auch die Störungen des Westfeldes, das Absinken der Schichten, das Schwenken der Gangteile lassen sich dadurch zwanglos erklären, ebenso scheint auch die "Hangendüberschiebung", die K. MATZ von der 7. Sohle des Westfeldes anführt, hier einzureihen zu sein. Sie bildet eine flach NNW fallende, bis 20 m

mächtige Mylonitzone, die das Hangende um 20 bis 30 m nach Süden versetzt,

Die hiermit vorgelegte, schon seit dem Abschluß meiner Magnesitarbeit in ihren Grundzügen erarbeitete neue Deutung der Genesis der Mitterberger Kupferkiesgänge erlaubt eine viel klarere und einfachere Erklärung vieler bzw. fast aller von den früheren Bearbeitern nur unbefriedigend gelösten Probleme. Um diese neue Deutung klar hervortreten zu lassen, mußten in den ersten Teilen dieses Aufsatzes manche nicht befriedigende oder unklare Darlegungen breiter gebracht werden, als dies sonst nötig gewesen wäre. Ich hoffe aber, daß uns der angedeutete Weg nicht nur theoretisch weiterbringt, sondern daß er auch dem Bergbaunützen wird.

In einer nachfolgenden Arbeit im nächsten Band dieser Zeitschrift werden die hier dargelegten Erkenntnisse in den weit größeren Rahmen der ostalpinen Lagerstätten eingebaut und näher ausgeführt.

Schrifttum

- (1) BERNHARD, J.: Die Mitterberger Kupferkieslagerstätte. Erzführung und Tektonik. - Jb. Geol. BA. Wien, 109, 1965: 3-90. Auszug auch im Exkursionsführer Mitterberg zur Tagung der DMG 1966, 8 Seiten.
- (2) BOHNE, E.: Die Kupfererzgänge von Mitterberg in Salzburg. Gangverhalten und Erzfolge. - Archiv f. Lgstforsch. H. 49, Preußgeol. LA. Berlin, 1931, 106 Seiten, mit 6 Tafeln.
- (3) BUTTMANN, H.: Die Kupferkieslagerstätte von Mitterberg. - Diss. TH. Dresden, 1913, 76 Seiten mit farb. geol. Karte. Verlag Czaz u. Gerlach, Freiberg/Sa. 1913.

- (4) CAMBEL, B. u. J. JARKOVSKY: Geochemie der Pyrite einiger Lagerstätten der Tschechoslowakei. - Vyolavat, Slov. akad. vied. Bratislava 1967.
- (5) CLAR, E.: Zum Bewegungsbild des Gebirgsbaues der Ostalpen. - Zs. D. Geol. Ges., 116, 1964: 267 - 291 (auch: Verh. Geol. BA, 1965, Sonderheft G, 11-35).
- (6) FRIEDRICH, O. M.: Erzminerale der Steiermark. - Veröff. Min. Abt. Joanneum Graz, 1959.
- (7) - : Zur Genesis der Blei- und Zinklagerstätten in den Ostalpen. - N. Jb. Min., Moh. 2, 1964: 33-49 (auch: Radnig, eine sedimentäre Blei-Zinklagerstätte in den südlichen Kalkalpen. - Archiv Lgstforsch. 2, 1964: 121-164.
- (8) - : Diskussion zum Vortrag "Die Genese des Magnesits - der heutige Stand der Erkenntnisse. - Erzmetall 20, 1967: 538-540.
- (9) GABL, G.: Geologische Untersuchungen in der westlichen Fortsetzung der Mitterberger Kupfererzlagerstätte. - Archiv Lgstforsch., Leoben, 2, 1964: 2-31. Mit farb. Karte 1 : 50 000.
- (10) HEISSEL, W.: Die grünen Werfener Schichten von Mitterberg (Salzburg). - TPM 4, 1954: 338-349.
- (11) KRAJICEK, E.: Notiz zu einem Kupfererzvorkommen im Obojnikgraben (Karawanken). - Bg. hm. Moh., 88, 1940: 47-53.
- (12) MATZ, K.: Die Kupfererzlagerstätte Mitterberg. - Min. Mittbl. Joanneum Graz, 1, 1953: 7-19.
- (13) MEIXNER, H.: Mineralog. Beziehungen zwischen Spatmagnesit- und Eisenspatlagerstätten der Ostalpen. - Radex-Rdsch., 1953: 445-458.
- (14) - : Zur Verteilung der Begleitelemente in rhomboedrischen Karbonaten. - Radex-Rdsch. 1953; 468-470.
- (15) - : Chrom-Pyrophyllit aus der Cu-Lagerstätte von Mühlbach/Hochkönig... - Chemie der Erde, 21, 1961: 82-85.
- (16) - : Zur Landesmineralogie von Salzburg. - Festschr. P. Tratz, Salzburg 1964: 1-20.
- (17) UNGER, H.: Geologische Untersuchungen im Kupferbergbau Mitterberg in Mühlbach/Hochkönig (Salzburg). - Diss. Innsbruck, 1967, 61 Seiten, mit zahlr. Tafeln.
- (18) - : Untersuchungen der Kupfergehalte im Nebengestein des Mitterberger Hauptganges (Mühlbach am Hochkönig, Salzburg). - Archiv Lgstforsch., Leoben, 5, 1967: 2-21.