

Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal und Mineralogisches Institut
der Universität Wien

Beitrag zur Kenntnis ostalpiner Fahlerze

Von

E. Schroll, Wien, und **N. Azer Ibrahim**, Kairo

(Eingegangen am 1. April 1958)

Teil III

Geochemische Untersuchungen an ostalpinen Fahlerzen

Vorwort

Die vorliegende Arbeit gehört zum Versuch einer „geochemischen Analyse“ der ostalpinen Erzprovinz, die mit einer Untersuchung von Bleiglanzen und Zinkblenden (E. Schroll, Lit. 37—40) begonnen wurde und zu der auch bereits Ergebnisse über die Verbreitung des Elementes Selen in den ostalpinen Schwefelkiesen und anderen sulfidischen Erzen vorliegen (W. Rockenbauer, Lit. 35). Bei diesem Unternehmen verdient das Fahlerz mit seinem komplexen Chemismus und seiner Fähigkeit, eine größere Zahl von Gastelementen aufzunehmen, besondere Beachtung.

In der ostalpinen Erzprovinz sind nach den einschlägigen mineraltopographischen Werken sowie der zahlreichen neueren mineralogischen und lagerstättenkundlichen Literatur weit mehr als 300 Fundpunkte von Fahlerz bekanntgeworden (u. a. Lit. 1, 11 bis 13, 15 bis 20, 23, 25, 31, 32, 36, 41, 43 bis 45, 47). Fast alle intensiven Fahlerzvererzungen der Ostalpen konzentrieren sich in den paläozoischen und altkristallinen Anteilen des ostalpinen Deckengebirges. Das Fahlerz ist für die Paragenese der kupferführenden Eisenspatvererzung charakteristisch, welche in ihrer Genese an die alpine Metamorphose gebunden erscheint. Es tritt untergeordnet in den epigenetischen mesothermalen Cu-Ag-Fe-As-(Pb-Zn-)Vorkommen und epithermalen Pb-Zn-Vererzungen auf. In den metamorphen Kieslagerstätten ist dieses Erz seltener anzutreffen.

Aus dem Zentralgneisgebiet des Tauernfensters sind dagegen keine gesicherten Vorkommen von Fahlerz bekannt. Zumindest konnten die erzmikroskopischen Bestimmungen von A. Tornquist (Lit. 46) nicht bestätigt werden. Die angeblich Sb-haltigen „Glaserze“ aus den jungen Goldquarzgängen des Radhausberges bei Böckstein erwiesen sich als komplexe Bi-haltige Erzminerale (E. Siegl, Lit. 42). Dagegen ist Fahlerz aus den Kieslagern der epimetamorphen Grünschieferfazies des Tauernrahmens beschrieben worden (Lit. 16).

Die Fahlerzvererzung greift selten, aber nachweislich oft in Paragenese mit Blei-Zink-Erzen, in das kalkalpine Mesozoikum (Trias) über. So sind z. B. folgende Vorkommen bekannt:

1. In der Nordtiroler Trias: Tschirgand, Haverstock, Hohe Warte (Lit. 20), Gastein, Geyer/Brixlegg¹.
2. In der niederösterreichischen Trias: Fahlerz dürfte zum sekundären Ag-Reichtum des einstigen Bergbaues am Hocheck bei Annaberg durch das Vorkommen von Hornsilber im Hut der Lagerstätte Anlaß gegeben haben.
3. In der anischen Pb-Zn-Vererzung der südalpinen Trias: Auronzo (*D. Colbertaldo* [Lit. 12] hat Fahlerz als Silberträger im Bleiglanz identifizieren können). Fahlerz kommt aber auch mit Bleiglanz im Gutensteiner Kalk bei Pöllan im Drautal vor, fehlt aber gänzlich in der ladin-karnischen Pb-Zn-Vererzung des Drauzuges und der Karawanken.
4. In der Semmeringtrias: Gipsbergbau Myrthengraben (Semmering) mit Fahlerz und Enargit neben Bleiglanz und Zinkblende (Lit. 40).
5. Im Buntsandstein des Montafontales: Rellstal (Vorarlberg).
6. In der Trias der Steirischen Kalkspitz: Einer der Verfasser konnte vergangenes Jahr beobachten, daß die Fahlerzmineralisation des Schladminger Alt-kristallins an der Deckengrenze in die Trias der Lungauriden übergreift. Am Weg zum Preuneggsattel (zirka 1920 m Seehöhe) wurden in Klüften des Kalkgesteins neben Limonit grünliche und gelbliche Oxydationsprodukte beobachtet, welche nach spektrochemischen Analysen vornehmlich Cu und Sb, ferner As, Zn, Pb, Fe, sowie Spuren von Ag, Hg, Cd und Bi enthalten haben.
7. In der zentralalpinen Brennertrias: Obernberg/Brenner. Blei-Zinkvererzung mit Fahlerz und Flußspat als Gangart in Triasmarmore (Lit. 20).

In allen triadischen Pb-Zn-Vererzungen ist mit dem Vorkommen von Fahlerzen auf gleicher Lagerstätte oder in der Nachbarschaft ein höherer Ag-Gehalt im Bleiglanz verbunden.

Die Genese des Fahlerzes fällt demnach in die epigenetische Mineralisation der ostalpinen Orogenese, wobei es meist eine mineralogenetisch junge Bildung darstellt.

Ein Teil der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wurde bereits 1955 niedergelegt (Lit. 3). Sie wird durch weitere Nachträge ergänzt und berücksichtigt die inzwischen veröffentlichte gründliche Untersuchung von Fahlerzen aus dem Gebiet der Tschechoslowakei von *J. H. Bernard* (Lit. 6—8).

I. Analysenmethodik

Mit Ausnahme von vier Fahlerzproben, deren Haupt- und Nebenbestandteile durch chemische Analysen ermittelt worden sind (siehe Teil II) sowie einer Enargitanalyse² wurden von jeder Erzprobe im Durchschnitt mindestens 1 Gramm visuell unter dem Binokular ausgesucht und im Achatmörser gepulvert. Für die spektrochemischen Analysen stand ein mittlerer Quarzspektrograph vom Typ Zeiß Q 24 zur Verfügung. Nach einer ersten qualitativen Analyse im Kohlebogen wurde ein Teil der Fahlerzproben in gelöster Form quantitativ analysiert. Die

¹ Nach mündlicher Mitteilung, die wir freundlicherweise Herrn Dr. O. Schmid-egg (Wien) verdanken.

² Die Enargitanalyse wurde dankenswerterweise von Herrn Dr. W. Rockenbauer (derzeit Basel) ausgeführt.

so erhaltenen Ergebnisse wurden dann einschließlich der oben erwähnten chemischen Analysen zum Testen einer dann generell angewandten quantitativen, teilweise halbquantitativen spektrochemischen Analysenmethode im Kohlebogen verwendet.

Der spektrochemischen Fahlerzanalyse in gelöster Form ging ein Chlorstromaufschluß in der gleichen Weise voraus, wie er für die chemische Analyse angewandt worden ist (siehe Teil II). Die Lösungen von Destillat und Rückstand wurden auf 1,5 ccm, bzw. 2,5 ccm Endvolumen eingedampft und mit 10 γ ccm Be als internen Standard versetzt. Entsprechende Eichlösungen für Cd, Co, Ni, Pb, V, Mn, Zn und Fe in der Rückstandlösung und Bi, Hg, Sn, Fe und Zn in der Destillatlösung wurden angefertigt. Bei geringen Ag-Gehalten konnte eine durch Schütteln homogenisierte AgCl-Trübe mit Erfolg versucht werden.

Als Aufnahmeverbedingungen wurden gewählt:

Spektrograph: Zeiß Q 24 mit Dreistufenfilter (4, 20, 100%).

Elektroden: Ringsdorff-Kohlen RWI \varnothing 5 mm, plangeschliffen, Abstand 2 mm.

Anregung: Feuerhner FF 4, 1/1 C, 1/1 L, 1 A.

Optik: Spalt 15 μ, Zwischenabbildung 5/2900 A.

Belichtungszeit: 90 Sekunden nach vorhergehendem Vorfunkens der Kohlen (2 Minuten) und Lösungsauftrag von 20 cmm.

Photoplatte: Spektralblau (Perutz, München).

Unter Verwendung der Bezugslinie Be 3130,4 und der Nachweislinsen für Ag 3382,9, Bi 3067,7, Cd 3610,5, Co 3453,5, Hg 2536,5 und 3650,2, Mn 2939,3, Ni 3414,8, Pb 2833,1 und Sn 3175,0 erfolgte eine spektralphotometrische Auswertung durch einfachen Intensitätsvergleich.

Die spektrochemische Analyse der Fahlerzproben in fester Form wurde gesondert nach leichtflüchtigen (As, Bi, Cd, Hg, Sb, Sn, Zn) und schwerflüchtigen Elementen (Ag, Co, Fe, Mn, Ni, V) durchgeführt. Hierzu wurden für Tetraedrit (bis 20% Sb), Tennantit (bis 17% As), Tetraedrit + Tennantit (1:1), Schwazit und Freibergit Eichmischungen aus spektrochemisch und naßchemisch analysierten sulfidischen Mineralien angefertigt. Die Analysen auf Ge und Au wurden nach Herstellung von Eichreihen aus Ge- und Au-freiem Fahlerz mit analysiertem Germanit bzw. Au-Staub in den hältigen Proben nachgetragen.

Für die leichtflüchtigen Elemente (einschließlich Ge) wurden nachstehende Aufnahmeverbedingungen gewählt:

Probe: unverdünnt.

Spektrograph, Optik, Photographie: wie oben.

Anregung: Gleichstromdauerbogen 220 V, Kurzschlußstrom 2,5 A, Bogenspannung 60 V, kathodische Schaltung.

Belichtungszeit: 120 Sekunden.

Elektroden: Ringsdorff RW II \varnothing 5 mm, Anode kegelstumpfartig auf 3 mm \varnothing abgedreht. Kathode mit 5 mm tiefer Bohrung, erster Millimeter für Abdeckung mit C-Pulver mit \varnothing 2 mm, weitere 4 mm für Probenfüllung mit \varnothing 1 mm, Elektrodenabstand 3 mm.

Für die schwerflüchtigen Elemente:

Probe: 1:1 mit SiO_2 gemischt (zur Verhinderung einer Cu-Regulusbildung).

Spektrograph, Optik, Photographie: wie oben.

Anregung: Gleichstromdauerbogen 220 V, Kurzschlußstrom 5 A, Bogenspannung 50 V, anodische Schaltung.

Belichtungszeit: 90 Sekunden.

Elektroden: Ringsdorff RW II \varnothing 5 mm, Kathode kegelstumpfartig auf 3 mm \varnothing abgedreht. Anode mit 2,5 mm tiefer Bohrung, \varnothing 1,5 mm.

Fortsetzung auf S. 84 und 85

II. Probenverzeichnis

Nr.	Fundort	Paragenese	Herkunft
1	Myrthengraben (Semmering, N.-Ö.), Gipsbergbau	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit und Enargit in zuckerkörnigem Gips	AS. ¹ Haberlandt
2	Myrthengraben (Semmering, N.-Ö.), Gipsbergbau	Derber <i>Enargit</i> , Paragenese s. o.	AS. Schroll 1956
3	Bergbau Kaltenegg, Retteneck (Stmk.)	Derbes <i>Fahlerz</i>	Joanneum
4	Bergbau Schendlegg, Grossau-Prein (N.-Ö.)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Kupferkies in Siderit und Quarz	AS. Haberlandt
5	Bergbau Steinbauerngrube, Neuberg (Stmk.)	Derbes <i>Fahlerz</i>	Joanneum Nr. 16012
6	Sattlerkogel, Veitsch (Stmk.)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Covellin, Azurit, Malachit, Limonit	Min. Inst. Univ. Wien
7	Sattlerkogel, Veitsch (Stmk.)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Covellin, Azurit, Malachit, Limonit	AS. Schroll 1948
8	Erzberg, Eisenerz (Stmk.)	Derbes <i>Fahlerz</i> in Siderit	Petr. Inst. Univ. Wien
9	Wetterbauersattel, Mixnitz (Stmk.)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Zinnober, Azurit, Malachit und Dolomit	Geol. Inst. Leoben
10	Kotalm, Turrach (Stmk.)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Bournonit in Siderit	AS. Haberlandt
11	Kotalm, Turrach (Stmk.)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Bournonit in Siderit	AS. Haberlandt
12	Mautendorf (Stmk.), Marmorbruch an Tauernbundesstraße	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Bleiglanz in Marmor	AS. Schroll 1957
13	Seekar (Stmk.)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Kupferkies in Ankerit	Ferdinandeum
14	Seekar (Stmk.), Halden	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Kupferkies in Ankerit	AS. Schroll 1957
15	Zinkwand (Stmk.)	Derbes <i>Fahlerz</i>	AS. Zirkl
16	Zinkwand (Stmk.), Gängelhalden oberhalb der Kleinprechthütte	Derbes <i>Fahlerz</i> in Ankerit	AS. Schroll 1957
17	Vöttern (Stmk.), St. Peter- und Paulstollen	Derbes <i>Fahlerz</i> in Ankerit	Min. Inst. Univ. Wien
18	Vöttern (Stmk.), Halde des Unterbaustollens	Derbes <i>Fahlerz</i> in Ankerit mit Quarz	AS. Schroll 1957

¹ AS. = Aufsammlung.

Nr.	Fundort	Paragenese	Herkunft
19	Freising, Giglach (Stmk.), Unterbauhalde	Derbes <i>Fahlerz</i> , schwach angewittert in Ankerit	AS. Schroll 1957
20	Freising, Giglach (Stmk.), Halde 2120 m	Derbes <i>Fahlerz</i> , schwach angewittert in Ankerit	AS. Schroll 1957
21	Hading, Hintergiglach, Halden	Derbes <i>Fahlerz</i> in verquarztem Ankerit	AS. Schroll 1957
22	Vordergiglach (Giglach-Alm), Halde 2200 m	Derbes <i>Fahlerz</i> in verquarztem Ankerit	AS. Schroll 1957
23	Neualm (Stmk.)	Derbes <i>Fahlerz</i>	Joanneum Nr. 15983
24	Neualm, OW-Karbonatgang (zum Stierkar), Ausbiß 1660 m	Derbes <i>Fahlerz</i> in Quarz u. limonitisiertem Ankerit	AS. Schroll 1957
25	Eschach, Schladminger Obertal (Stmk.), Halde d. Duisitzunterbaustollens	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Kupferkies in Ankerit und Siderit	AS. Schroll 1957
26	Eschach, St. Martinstollen	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Bleiglanz in Quarz	AS. Schroll 1957
27	Bromriese, Schladminger Obertal	xx- <i>Fahlerz</i> mit Ankerit	AS. Schroll 1957
28	Bromriese	Derbes <i>Fahlerz</i> verwachsen mit Bleiglanz, Pyrit und Serizit	AS. Schroll 1957
29	Kronbach, Schladminger Obertal (Stmk.)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Kupferkies und Pyrit in Serizit und Quarz	AS. Haberlandt
30	Schiedergraben (Sbg.) ¹	Derbes <i>Fahlerz</i>	Joanneum Nr. 1159
31 ²	Bergbau Mitterberg, Mühlbach (Sbg.), 6. Sohle, Zeche 9	Derbes <i>Fahlerz</i>	AS. Haberlandt
32	Bergbau Mitterberg, Mühlbach (Sbg.), 6. Sohle, Zeche 9	Derbes <i>Fahlerz</i>	AS. Haberlandt
33	Bergbau Mitterberg, Mühlbach (Sbg.), 6. Sohle, Zeche 9	<i>Fahlerz</i> (Einzelkristall)	AS. Haberlandt
34	Nöckelberg, Leogang (Sbg.)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Kupferkies und Bornit in Siderit	AS. Leitmeier
35	Nöckelberg, Leogang (Sbg.)	Derbes <i>Fahlerz</i> (s. o.)	AS. Leitmeier

¹ Bergbau Liehnberg (Maria-Verkündigungs-Grube) bei Zell im Pinzgau.

² Die in Teil II der vorausgehenden Publikation mit Nr. 12 und 29 bezeichneten Proben von Mitterberg bzw. Schwaz tragen wegen Erweiterung des Untersuchungsmaterials in der vorliegenden Arbeit die Nummern 31 (Mitterberg) und 50 (Schwaz).

Nr.	Fundort	Paragenese	Herkunft
36	Nöckelberg, Leogang (Sbg.)	Derbes <i>Fahlerz</i> (s. o.)	AS. ZirkI
37	Bergbau Röhrerbichel (Tirol), 140 m Sohle	Derbes <i>Fahlerz</i> (mit Gangart verwachsen)	AS. Bernadek
38	Bergbau Röhrerbichel (Tirol), 140 m Sohle Aufbruch 604	Derbes <i>Fahlerz</i> (mit Gangart verwachsen)	AS. Bernadek
39	Bergbau Röhrerbichel (Tirol), 140 m Sohle Aufbruch 604	Derbes <i>Fahlerz</i> (mit Gangart verwachsen)	AS. Bernadek
40	Bergbau Röhrerbichel, 260 m Sohle, Vererzung im Liegenden der Falgenschiefer	Derbes <i>Fahlerz</i> (mit Gangart verwachsen) mit Kupferkies	AS. Bernadek
41	Brunnalpe, Kirchberg, Brixental (N.-Tirol)	Derbes <i>Fahlerz</i>	Joanneum Nr. 7357
42	Brixlegg, Geyer, Silberbergstollen (Tirol)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Gelpyrit in dunklem Kalkstein	AS. Schmidlegg
43	Brixlegg, Großkogel	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Quarz und Kalkspat	Min. Inst. Univ. Wien
44	Brixlegg, Großkogel	<i>Fahlerz</i> (Einzelkristall)	Ferdinandeum
45	Brixlegg, Gertraudistollen	Derbes <i>Fahlerz</i> in Baryt	AS. Leitmeier
46	Brixlegg, Matzenköpfl	Derber <i>Enargit</i> in dunklem Dolomit	AS. Berger
47	Schwaz, Bgb. Falkenstein, Krummörtergang, Sohle 75	Derbes <i>Fahlerz</i>	AS. Schmidlegg
48	Schwaz, Bgb. Falkenstein, Krummörtergang, Sohle 60	Derbes <i>Fahlerz</i>	AS. Schmidlegg
49	Schwaz, Falkenstein, Krummörterrevier, Sohle 60	Derbes <i>Fahlerz</i>	AS. Schmidlegg
50	Schwaz, Falkenstein, Krummörterrevier, Tiefbau 40 m, Neuer Abbau 1953, westlich Schrägschacht	Derbes <i>Fahlerz</i>	AS. Schmidlegg
51	Schwaz, Bgb. Falkenstein,	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Quarz	Ferdinandeum
52	Schwaz, Erlstollen Tiefbau 60 m	Derbes <i>Fahlerz</i>	Ferdinandeum
53	Schwaz, Erlstollen	Derbes <i>Fahlerz</i>	Min. Inst. Univ. Wien
54	Schwaz, Bertastollen	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Kupferkies im Siderit	Min. Inst. Univ. Wien

Nr.	Fundort	Paragenese	Herkunft
55	Schwaz	Derbes <i>Fahlerz</i> in Baryt	Min. Inst. Univ. Wien
56	Schwaz	Derbes <i>Fahlerz</i>	Min. Inst. Univ. Wien
57	Gafleinstal, Nassereith, Tirol	Derbes <i>Fahlerz</i> in Wettersteinkalk	Geol. Inst. Innsbruck
58	Gand, Stanzertal (Tirol)	Derbes <i>Fahlerz</i>	Joanneum Nr. 7314
59	Gand, Stanzertal (Tirol)	Derbes <i>Fahlerz</i>	Joanneum Nr. 7315
60	Gand, Stanzertal (Tirol)	Derbes <i>Fahlerz</i>	Min. Inst. Univ. Graz
61	Serfaus	Derbes <i>Fahlerz</i>	Min. Inst. Innsbruck
62	Bartholomäberg (Montafon, Vbg.), Halde	Derbes <i>Fahlerz</i> Siderit, Limonit und Quarz	AS. Brandenstein, 1957
63	Bartholomäberg (Montafon, Vbg.), Halde	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Kupferkies in Quarz und Ankerit	AS. Brandenstein, 1957
64	Silbertal, Christberg (Montafon), Halde bei der Knappenkapelle	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Kupferkies, Pyrit in Siderit und Quarz	AS. Brandenstein, 1957
65	Rellstal (Montafon)	<i>Fahlerz</i> in Buntsandstein, zum Teil oxydiert	Ferdinandeum
66	Rellstal, Rechhorn	Derbes <i>Fahlerz</i>	G. Tschabrunn
67	Val Fex (Oberengadin)	Derbes <i>Fahlerz</i> in Casannaschiefer	Ferdinandeum
68	Obernberg am Brenner, Äußere Wildgrube (N.-Tirol)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Bleiglanz, Blende in Flußpat	AS. Schmidegg
69	Bgb. Mt. Grave (Calisberg, Trient)	<i>Fahlerz</i> mit Bleiglanz in Bellerophonkalk	AS. Schroll 1956
70	Abfaltersbach (O.-Tirol), Römerstollen	Derber <i>Tetraedrit</i> mit Kupferkies	AS. Aichner
71	Abfaltersbach (O.-Tirol), Römerstollen	Derber <i>Tetraedrit</i>	AS. Aichner
72	Dechantalm, Kreuzeckgruppe (Kärnten), Halde 2160 m, SH.	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Quarz	AS. Schroll 1951
73	Gummern (Kärnten), Marmorbruch	Derbes <i>Fahlerz</i> in Marmor	AS. Schroll 1951
74	Kerschdorf (Gailtal, Kärnten), Straßenstollen	Derbes <i>Fahlerz</i>	AS. Schroll 1950
75	Gočman (Kärnten)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Oxydationsmineralien	AS. Hermann

Nr.	Fundort	Paragenese	Herkunft
76	St. Martin-Rosegg (Kärnten)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Bleiglanz und Blende	AS. Hermann
77	Kl. Grabans, Finkenstein (Kärnten)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Bleiglanz, Blende und Kupferkies	AS. Hermann
78	Schwalbegg (Kärnten)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Kupferkies und Siderit	Kärntner Landesmuseum
79	Oberzeiring (Stmk.), Johannissstollen, Versatz	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Bleiglanz (100), Karbonat, Quarz und Glimmer	AS. Hirn, 1958
80	Bugojno, Bosnien	Derbes <i>Fahlerz</i>	Joanneum Nr. 3341
81	Maracaj, Bosnien	Derbes <i>Fahlerz</i>	Joanneum Nr. 7316
82	Maskara-Gornji, Bosnien	Derbes <i>Fahlerz</i>	Ferdinandeum
83	Rezbanja, Siebenbürgen	Derbes <i>Fahlerz</i>	Min. Inst. Univ. Graz
84	Kapnik, Siebenbürgen	Derbes <i>Fahlerz</i>	Min. Inst. Univ. Wien
85	Kapnik, Siebenbürgen	<i>Fahlerz</i> (Einzelkristall)	Petr. Inst. Univ. Wien
86	Schemnitz, Slowakei	<i>Tetraedrit</i> (Einzelkristall)	Min. Inst. Univ. Wien
87	Rosenau (Rosnava), Slowakei	Derbes <i>Fahlerz</i>	Min. Inst. Univ. Wien
88	Rosenau (Rosnava), Slowakei	Derber <i>Freibergit</i>	Petr. Inst. Univ. Wien
89	Krombach (Krombachy), Slowakei	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Kupferkies und Eisenspat	Ferdinandeum
90	Kotterbach (Kotterbachy)	Derbes <i>Fahlerz</i>	AS. Berger
91	Fiumedisini, Messina (Sizilien)	Derbes <i>Fahlerz</i> mit Kupferkies und Quarz	AS. Schroll 1954
92	Redruth, Cornwall	Derber <i>Tennantit</i>	Joanneum Nr. 7386
93	Redruth, Cornwall	<i>Tennantit</i> (Kristall)	Petr. Inst. Univ. Wien

III. Analysen-

Tab. 1. *Analysen*

Nr.	Fundort	As	Sb	Bi	Ag	Zn	Hg	Fe	Pb
		Gehalte in Prozenten							
1	Myrthengraben, Semmering	10	>10	—	0.28	>10	1.3	0.08	0.015
2	Myrthengraben, Semmering	18.15	0.4	—	0.07	0.5	0.001	0.08	0.01
3	Kaltenegg, Rettenegg	0.52	>20	—	0.09	1.7	—	2.4	0.3
4	Schendlegg, Rax	7.34 ¹	15.88	0.50	0.02	4.50	0.28	4.23	0.002
5	Steinbauerngrube, Neuberg	0.11	>20	0.26	2.0	>10	>10	6.6	0.005
6	Sattlerkogel, Veitsch	5.33	19.92	0.01	0.02	2.95	0.40	4.43	0.01
7	Sattlerkogel, Veitsch	3.6	>20	0.02	0.1	4.2	0.44	5.5	—
8	Erzberg, Eisenerz	2.1	>20	0.003	0.035	0.4	0.25	>10	<0.001
9	Wetterbauersattel, Mixnitz	6	20	<0.001	0.01	1.8	0.12	0.7	0.05
10	Kotalm, Turrach	0.02	>20	0.007	0.04	0.6	—	2.7	0.8
11	Kotalm, Turrach	0.03	>20	0.007	0.13	0.3	0.005	3.9	3.0
12	Mauterndorf	0.48	>20	0.20	0.7	>10	0.30	2.0	0.9
13	Seekar	0.37	>20	0.02	1.3	10	0.30	6.1	0.12
14	Seekar	3.5	>20	0.03	0.2	0.4	0.36	3.6	0.01
15	Zinkwand	0.08	>20	0.6	2.1	5.4	—	>10	—
16	Zinkwand	7	>10	0.1	0.4	7.2	0.005	3.4	0.008
17	Vöttern, St. Peter u. Paulstollen	0.1	>20	2.0	2.8	>10	0.005	6.8	0.015
18	Vötternbaue	7	>10	0.05	0.2	8	0.5	2.5	0.005
19	Freying, Giglach	5.2	20	0.06	2.0	4.5	0.5	3.5	0.01
20	Freying, Giglach	7	>10	0.15	10	7.5	0.3	1.5	0.04
21	Hading, Giglach	8	>10	0.1	5.1	8	0.3	1.0	0.02
22	Vordergiglach	3.0	>20	0.03	0.4	5.7	0.2	0.8	0.06
23	Neualm	10	>10	0.87	>10	10	1.1	7.6	0.4
24	Neualm	4.8	20	0.08	5.2	2.5	0.4	6.7	0.15
25	Eschach, Duisitz, Unterbaustollen	0.8	>20	—	>10	>10	—	4.2	0.3
26	Eschach, St. Martinstollen	3.5	>20	0.002	0.08	5.7	0.35	2.1	0.1
27	Bromriese	1.0	>20	<0.001	8	10	0.15	3.5	0.25

¹ Die Kursivziffern sind das Resultat einer chemischen Analysenmethode.

ergebnisse

der Fahlerze

	Au	Cd	Ge	Sn	V	Ni	Co	Mn
Gehalte in Gramm pro Tonne								
—	1210	20	1000	—	—	70	50	20
—	20	10	—	—	—	—	—	—
—	25	—	<10	—	—	20	25	—
≤10	110	—	—	—	—	60	60	75
—	150	—	30	—	—	20	50	15
≤10	240	—	—	—	—	10	40	45
—	550	—	—	—	—	20	30	—
10	20	10	—	—	—	50	45	80
—	40	—	—	—	—	—	—	200
—	—	—	<10	40	—	40	35	1200
—	310	—	—	—	—	35	20	200
—	520	—	—	—	—	20	35	—
—	55	—	360	—	—	70	85	400
—	10	—	30	—	—	600	100	80
—	30	≤10	—	—	—	—	60	—
—	250	≤10	—	—	—	0·8%	1·5%	150
—	30	—	—	—	—	200	70	80
—	300	—	—	—	—	150	500	30
—	300	≤10	—	—	—	30	55	800
—	250	—	—	—	—	1000	300	200
—	250	—	—	—	—	—	30	20
—	70	—	—	—	—	10	40	500
10	125	≤10	30	40	—	>1%	>1%	300
—	25	≤10	—	—	—	150	30	80
—	400	—	—	—	—	10	30	300
—	60	—	—	—	—	—	50	20
—	100	—	—	—	—	—	30	60

Nr.	Fundort	As	Sb	Bi	Ag	Zn	Hg	Fe	Pb
		Gehalte in Prozenten							
28	Bromriese	8	>10	0.001	0.2	2.1	0.3	5.0	2.1
29	Kronbach	0.04	>20	0.005	0.005	0.05	0.22	0.3	—
30	Schiedergraben	0.27	>20	0.02	0.18	1.5	0.33	4.4	0.01
31	Mitterberg, Mühlbach	4.87	19.45	—	0.01	5.82	0.38	4.85	0.03
32	Mitterberg, Mühlbach	0.17	>20	—	0.01	1.7	3.0	0.2	0.001
33	Mitterberg, Mühlbach	0.69	>20	<0.001	0.5	6.6	2.5	4.2	0.02
34	Nöckelberg, Leogang	20	0.5	—	<0.001	0.03	—	0.1	—
35	Nöckelberg, Leogang	20	0.9	—	<0.001	0.04	—	3.0	—
36	Nöckelberg, Leogang	10	>10	—	<0.001	0.3	—	0.3	0.008
37	Röhrerbichel (140 m)	6.6	>10	0.02	0.22	2.8	0.002	3.5	—
38	Röhrerbichel (140 m)	6.37	>10	0.008	1.8	2.0	0.03	7.8	—
39	Röhrerbichel (140 m)	5.5	>10	0.04	1.0	2.8	0.06	3.5	—
40	Röhrerbichel (260 m)	1.4	>20	0.05	3.0	3.0	0.004	9.4	—
41	Brunnalpe, Kirchenberg	6.8	>10	0.3	4	3.0	0.30	5.2	0.2
42	Brixlegg, Geyer	8	>10	—	0.15	4.2	0.004	7.2	0.3
43	Brixlegg, Großkogel	3.0	>20	2.0	>10	>10	3.0	9.0	0.003
44	Brixlegg, Großkogel	>10	>10	0.3	4.5	>10	3.2	4.6	—
45	Brixlegg, Gertraudistollen	8	>10	0.4	0.03	6.6	1.7	0.3	—
46	Brixlegg, Matzenköpfli	20	0.5	0.03	0.03	1.5	0.07	4.5	0.3
47	Schwaz, Falken- stein (Tiefb. 40 m)	5.4	20	0.04	0.2	>10	4.0	5.2	0.03
48	Schwaz, Falken- stein (Sohle 60 m)	3.0	>20	0.8	2.8	>10	4.0	5.5	0.03
49	Schwaz, Falken- stein (Sohle 60 m)	7.2	>10	0.05	0.1	7.2	1.5	>10	0.015
50	Schwaz, Falken- stein (Sohle 75 m)	6.4	16.56	0.03	0.1	5.77	0.83	1.53	0.008

Au	Cd	Ge	Sn	V	Ni	Co	Mn
Gehalte in Gramm pro Tonne							
—	50	10	—	120	10	100	3000
—	—	—	<10	—	200	500	—
—	210	—	<10	—	—	80	—
20	440	—	—	—	60	80	40
—	230	—	—	—	35	25	—
—	220	—	30	—	100	100	100
—	—	70	—	—	20	45	—
—	—	80	150	—	45	50	300
—	—	—	20	—	35	75	—
—	≤10	—	<10	—	100	60	150
—	—	<10	—	—	200	350	150
—	≤10	—	<10	—	20	250	50
—	—	<10	10	—	600	400	250
—	60	—	<10	—	—	150	60
10	480	80	—	—	0.87%	1.2%	1500
—	40	15	—	—	1800	1600	—
—	60	—	—	—	40	50	—
—	50	—	<10	—	15	20	—
—	30	200	—	—	1%	0.9%	100
—	200	45	—	—	300	100	60
—	370	—	—	—	150	150	200
—	130	15	—	—	150	400	70
—	100	40	10	—	70	300	20

Nr.	Fundort	As	Sb	Bi	Ag	Zn	Hg	Fe	Pb
		Gehalte in Prozenten							
51	Schwaz, Falkenstein	2·6	>20	0·5	0·3	10	0·21	4·3	0·003
52	Schwaz, Erlstollen	8	>10	0·04	0·04	7·4	2·2	1·2	—
53	Schwaz, Erlstollen	5·4	20	0·7	2·5	>10	5·4	6·2	—
54	Schwaz, Bertastollen	10	>10	0·3	0·4	2·0	1·4	5·5	0·006
55	Schwaz	≥10	>10	0·3	0·3	10	3·2	4·2	0·002
56	Schwaz	9·3	>10	1·0	1·0	1·5	—	4·4	0·002
57	Gafleinstal, Nassereith	0·5	>20	0·01	0·2	10	1·2	5	0·03
58	Gand	5·83	>10	0·09	1·6	2·1	>10	6·8	0·06
59	Gand	5·30	>10	0·08	0·75	0·9	10	5·2	0·02
60	Gand, Stanzertal	>10	0·5	0·12	0·13	3·8	0·01	2·7	—
61	Serfaus	2·9	>20	0·07	0·15	2·5	5·5	7·0	0·009
62	Bartholomäberg	6	20	0·2	4·0	3·2	1·5	6·9	0·04
63	Bartholomäberg	7	20	0·2	1·2	4·0	1·2	0·8	0·03
64	Silbertal	7	20	0·8	0·9	2·5	0·31	6·5	0·04
65	Rellstal	0·3	>20	—	0·004	0·03	0·001	3·5	0·001
66	Rellstal, Rechhorn	>10	3	0·01	0·015	0·25	0·23	4·4	0·004
67	Val Fex, Oberengadin	0·1	>20	0·7	1·25	8·6	3·2	5·0	0·5
68	Obernberg, Brenner	0·05	>20	0·001	0·3	0·15	0·002	0·3	4·2
69	Mt. Grave, Mt. Calisio	2·4	>20	0·002	4·5	6·0	0·001	3·8	4·5
70	Abfaltersbach, Römerstollen	0·01	>20	0·01	0·07	3·3	—	1·7	0·01
71	Abfaltersbach, Römerstollen	0·01	>20	0·04	1·75	>10	—	7·6	0·8
72	Dechant	5·5	20	0·002	>10	4·5	0·03	6·6	0·3
73	Gummern, Marmorbruch	≥10	>10	0·008	0·007	3·4	0·09	8·1	0·04
74	Kerschdorf, Gailtal	0·15	>20	0·04	1·7	>10	2·3	6·1	0·01
75	Gočman	0·5	>20	—	1·2	10	1·0	1·3	0·002
76	St. Martin-Rosegg	0·7	>20	—	10	10	0·06	1·7	0·06
77	Kl. Grabans, Finkenstein	9·8	>10	—	0·04	>10	1·7	0·2	3·4

Au	Cd	Ge	Sn	V	Ni	Co	Mn
Gehalte in Gramm pro Tonne							
—	10	50	20	—	70	35	—
—	85	—	—	—	75	35	—
—	65	170	—	—	—	—	650
—	75	—	—	—	600	150	35
—	40	15	—	—	1400	400	—
—	20	—	—	—	750	600	—
—	120	—	—	—	0.8%	1%	10
—	55	—	10	—	150	90	120
—	40	—	<10	—	35	30	200
—	—	—	<10	—	20	40	—
—	50	—	—	—	700	8000	2000
—	50	—	—	70	1200	700	250
—	100	—	—	—	—	—	50
—	20	30	—	50	150	100	1000
—	—	—	—	—	>1%	>1%	—
—	35	20	—	—	>1%	>1%	60
—	30	—	—	—	100	100	200
—	—	—	—	—	20	20	10
—	1500	—	100	—	30	50	1200
—	15	—	<10	—	80	20	15
—	30	—	100	—	25	40	1500
—	1200	10	300	—	10	30	50
—	40	—	—	—	20	35	—
—	130	—	—	—	20	25	250
—	300	30	—	—	—	10	—
—	130	—	<10	—	30	70	150
—	960	470	—	—	20	80	—

Nr.	Fundort	As	Sb	Bi	Ag	Zn	Hg	Fe	Pb
		Gehalte in Prozenten							
78	Schwabegg	0.1	>20	0.005	8	0.1	2.0	1.9	0.003
79	Oberzeiring	0.02	>20	<0.001	>10	0.4	1.6	3.5	2.5
80	Bugojno, Bosnien	10	>10	0.9	0.7	0.4	3.0	>10	0.3
81	Maracaj, Bosnien	>10	>10	1.6	1.0	0.3	0.1	10	0.004
82	Maskara, Bosnien	0.58	>20	1.0	0.9	0.4	10	4.5	0.9
83	Rezbanja	>10	>10	0.05	0.01	7.5	2.6	0.4	0.5
84	Kapnik	8	>10	—	0.9	3.6	0.003	3.9	0.01
85	Kapnik	4.4	>20	—	1.2	0.7	0.14	5.0	0.5
86	Schemnitz	0.6	>20	—	>10	0.4	—	1.8	0.06
87	Rosenau (Rosenau), Slowakei	0.03	>20	0.009	1.3	2.2	1.6	8.4	0.06
88	Rosenau (Rosenau), Slowakei	6.8	20	0.04	>10	0.06	1.0	9.0	—
89	Krombach (Krombachy), Slowakei	3.0	>20	0.8	2.3	7.4	0.37	4.5	0.15
90	Kotterbach (Kotterbachy), Slowakei	4.6	>20	0.8	1.0	3.5	0.1	9.0	0.001
91	Fiumedisini, Sizilien	4.3	20	0.05	2.0	0.8	3.5	7.5	0.03
92	Redruth, Cornwall	>10	0.2	—	0.001	0.02	0.001	1.5	0.02
93	Redruth, Cornwall	>10	0.5	—	0.01	<0.01	—	10	—

I. Analysenmethodik (Fortsetzung von S. 72)

Die halbquantitative Bestimmung der Goldspuren erfolgte in der 1:1 mit C-Pulver verdünnten Probe nach der oben erwähnten Aufnahmemethodik.

Es wurden nachstehende Nachweislinien verwendet und nachstehende Nachweisgrenzen erhalten:

As	2345.8	0.01 %	Mn	2794.8	0.001 %
Ag	3382.9	< 0.001 %	Ni	3414.8	0.001 %
Au	2428.0	0.001 %	Pb	2833.1	< 0.001 %
Bi	3067.7	< 0.001 %	Sb	2598.1	< 0.01 %
Cd	3261.1	0.001 %		(2311.5)	
Co	3405.1	0.001 %	Sn	2840.0	< 0.001 %
Fe	3059.1	< 0.1 %	V	3184.0	0.002 %
Ge	2651.2	≤ 0.001 %	Zn	3302.6	0.02 %
Hg	2536.5	0.001 %			

Die Auswertung wurde durch einfachen Intensitätsvergleich spektralphotometrisch vorgenommen, wobei als Bezugselement für die leichtflüchtigen Elemente Sb 2574.1; 2877.9 und 3267.5 bzw. As 2349.8, 2780.2 und 2860.5 je nach der Lage der Analysenlinien herangezogen wurden.

Au	Cd	Ge	Sn	V	Ni	Co	Mn
Gehalte in Gramm pro Tonne							
—	10	10	—	—	50	200	300
—	100	—	10	30	—	10	50
—	—	—	25	—	750	100	35
—	—	—	25	—	100	150	10
—	—	—	—	—	50	60	—
—	25	100	—	—	150	200	—
—	60	—	—	—	150	100	100
—	500	—	—	—	1000	300	600
—	500	—	—	—	1200	750	600
—	30	—	—	—	200	200	100
—	—	—	<10	—	200	400	—
—	25	—	<10	—	60	40	75
—	20	—	—	—	20	700	20
—	20	—	—	—	40	50	20
—	—	500	—	—	75	100	15
—	—	1000	—	—	1500	3000	25

Bei den schwererflüchtigen Elementen konnte als Bezugselement Cu 3337·8, 3073·8 und 2824·4 verwendet werden. Die Auswertung der außerhalb der linearen Schwärzungskurve gelegenen Spurengehalte erfolgte nur halbquantitativ durch visuelle Schätzung. Konzentrationen über 10% Metall wurden nicht mehr quantitativ erfaßt.

Der Vergleich der Ergebnisse der chemischen Analyse sowie der spektrochemischen Lösungs- und Kohlenbogenanalyse ergab eine der Aufgabe entsprechende befriedigend gute Übereinstimmung. Je nach Element und Konzentrationsbereich weichen die Werte der angewandten Methoden um einen Betrag von ± 2 bis 30% voneinander ab. So ergibt sich für

Hg bei Gehalten von 0·3—4% eine Abweichung von ± 2 —15%

As bei Gehalten von 1 —7% eine Abweichung von ± 3 — 5%

Zn bei Gehalten von 1 —6% eine Abweichung von ± 2 —10%

Fe bei Gehalten von 1 —5% eine Abweichung von ± 3 —15%

Über die angewandte sowie über eine modifizierte noch genauere spektrochemische Methode zur Analyse von Fahlerzen soll an anderer Stelle ausführlicher berichtet werden.

IV. Allgemeine Diskussion der Analysenergebnisse

1. Über den Chemismus

Nach den Literaturangaben (Lit. 7, 24, 28, 33, 45) zeigen die Analysen der Fahlerze im Mikrochemismus folgende möglichen Hauptbestandteile (über 10%) als „Aufbauelemente“¹:

Für die spektrochemischen Mineraluntersuchungen wird folgende Nomenklatur der Bestandteile verwendet (siehe *E. Schroll*, Mitt. Öst. Min. Ges. 1958 und *J. Kutina*, Lit. 26):

Makrochemismus: Aufbauelemente. Namengebende Hauptbestandteile (größer als 10%) des homogenen Minerals.

Mikrochemismus: Gastelemente. Nebenbestandteile und Spuren als isomorphe Vertretung, submikroskopische Verwachsungen oder in adsorptiver Bindung.

Fremdelemente. a) kristallgebundene Einschlüsse: Entmischungen, Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse.

b) verunreinigende Einschlüsse: Minerale der Paragenese, Nebengestein.

Die Definition der Gastelemente entspricht dem Begriff „isomineral“ und der Fremdelemente „anisomineral“ von *J. H. Bernard*, Lit. 7).

Cu, Ag, Zn, Fe, Hg; As, Sb, Bi; S.

Der Mikrochemismus ist nach gleichen Quellen durch folgende Elemente beschrieben

Al, Au, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Ga, Ge, In, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Si, Sn, Sr, Te, Ti, V.

Die lithophilen Elemente Al, B, Ca, Mg, Si, Ti, Sr und Ba sind eindeutig als mineralfremde Bestandteile („Fremdelemente“) zu identifizieren, die der Gangart oder dem Nebengestein zugeordnet werden müssen. Das Vorkommen aller übrigen Elemente im Fahlerz, von denen in den vorgelegten Analysen die Gehalte an Au, Cd, Co, Ge, Mn, Ni, Pb, Sn und V erfaßt worden sind, verlangt eine nähere Betrachtung, inwieweit diese Elemente an das Kristallgitter des Fahlerzes als „Gastelemente“ gebunden sind.

Gold:

J. H. Bernard und *J. Hak* (Lit. 8) haben im Tetraedrit-Freibergerit von Kuttenberg (Kutna Hora), welcher einen Ag-Gehalt von 22,81% aufweist, spektrochemisch Au in einer Größenordnung von 0,001 bis 0,01% gefunden, ohne daß Freigold erzmikroskopisch nachgewiesen worden wäre. In den hier untersuchten Proben wurde Au nur in sechs Proben an der Grenze seiner Nachweisbarkeit (10 bis 20 g/t) gefunden. Obwohl gerade in der reichsten Probe (Nr. 31, Mitterberg) Freigold erzmikroskopisch nicht nachgewiesen werden

¹ Der Begriff des Spurenelementes wird nur sinngemäß für Spurenkonzentrationen (unter 1%) angewandt, die eine geochemische Einheit (hier Erzmineral Fahlerz) kennzeichnen.

konnte, ist bei der vorliegenden geringen Konzentration keine Aussage über den Einbau zu machen.

H. Böhne (Lit. 9) hat in Fahlerzanschliffen von Mitterberg, Mühlbach, übrigens Freigold nachgewiesen und beschrieben.

Der Au-Gehalt geht in keinem Fall mit dem des Ag parallel. Das Fehlen von höheren Au-Konzentrationen im Fahlerz ist aber wahrscheinlich durch dessen minerogenetische Stellung und die Geochemie des Goldes bedingt.

Kadmium:

Cd ist ein typisches „Gast-“ und „Spurenelement“ in den Mineralen der Fahlerzgruppe; es wurde in 75 von 91 Proben nachgewiesen. Cd bildet bekanntlich mit dem Zn ein kohärentes Elementpaar; die vorgelegten Analysentabellen zeigen demnach auch, daß die Cd-Konzentrationen den Zn-Gehalten eindeutig folgen. Die Cd-Gehalte variieren:

in der Zinkblende von 4 bis 0.001%, im Durchschnitt 0.175 bis 0.45% Cd (Lit. 37),

in Fahlerzen 0.15 bis < 0.001%, im Durchschnitt 0.017% (aus 91 Proben).

Dies gibt ein Verhältnis Zn/Cd:

in Zinkblenden von 15 bis > 60.000, im Durchschnitt 100 bis 300.

in Fahlerzen von 7 bis > 10.000, ∞ 300.

Cd scheint sich zwar im Einzelfall um ein geringes gegenüber dem Zn in Fahlerzen anreichern zu können; bevorzugter Cd-Träger ist jedoch die Zinkblende. Im Durchschnitt bleibt das Verhältnis des kohärenten Elementpaars großenordnungsmäßig ähnlich, was den chalkophilen Charakter des Cd unterstreicht (Zn/Cd in der Lithosphäre 500! [Lit. 22]).

Die oft mit dem Fahlerz in enger Verwachsung vorkommende Zinkblende ist bei der Probenahme nicht immer mit Sicherheit vollkommen abzutrennen. Aber gerade in Proben von zinkblende-führenden Erzparagenesen verschiebt sich häufig die Verhältniszahl zu Ungunsten des Cd, so daß die mit Fahlerz isogenetische Zinkblende als bevorzugter Träger des Cd anzusehen ist (siehe unten!).

Gallium und Indium:

Diese Spurenelemente wurden in höheren Konzentrationen (Ga über 30 g/t und In über 50 g/t) in den untersuchten Proben nicht nachgewiesen. Im Tetraedrit-Freibergerit vom Dechantgang (Kreuz-eckgruppe) sind Ga und In in der Größenordnung von 0.001% vorhanden (*E. Schroll*, Lit. 40).

Im Germanit, der zur Fahlerzgruppe gerechnet wird, soll das Ga das As bzw. Sb bis zu 1.25% Ga ersetzen können (Lit. 33).

V. Bouska (Lit. 10) wies In im Tetraedrit von Rudobanja als Gastelement nach, während *J. H. Bernard* (Lit. 7) im Tennantit von Lukoviče den In-Gehalt der beigemengten Zinkblende zuordnen konnte.

J. S. Anderson (Lit. 2) findet im Tetraedrit von Roseberg (Tasmanien) 0·0005 bis 0·002% In, in einem Enargit von Mt. Lyell sogar 0·002 bis 0·01% In. In dürfte wie in der Blende höherthermale Bildungsbedingungen bevorzugen.

Empirisch ist über die Einbaubedingungen dieser beiden Elemente in das Fahlerz auf Grund des zu geringen Tatsachenmaterials noch wenig auszusagen; die theoretischen Voraussetzungen sind aber gegeben.

Germanium:

V. M. Goldschmidt (Lit. 21) ordnete das Ge den gitterbedingten Spurenelementen der Fahlerzgruppe zu, das sowohl As wie Sb ersetzen kann (Germanit!). Das Ge fehlt aber meist in den Antimonfahlerzen, in denen es nur Höchstgehalte von 0·005% erreichen kann. Dagegen reichert es sich in Arsenfahlerzen und Enargiten an.

V. M. Goldschmidt (Lit. 21) hat im Enargit von Butte, Montana, Ge-Gehalte von 100 bis 1000 g/t gefunden, in Tetraedriten nur 50 g/t.

Dieser Befund wird bestätigt. Von 25 Antimonfahlerzen mit einem As-Gehalt unter 2%, 5 Arsenfahlerzen mit Sb-Gehalten unter 2% und Enargiten ergibt sich für das Ge folgendes Verteilungsschema:

	Tetraedrit	Tennantit	Enargit
Ge nicht nachgewiesen	20	1	—
0·01—0·001% Ge	5	2	1
über 0·01%	—	2	1

Im einzelnen ergibt sich für die gefundenen maximalen Ge-Konzentrationen bis 0·005% Ge folgende Tabelle:

Tab. 2. *Ge-Gehalte in Fahlerzen und Enargiten*

Nr.	Fundort	% Ge
92/93	Tennantite von Redruth (Cornwall)	0·05
34	Tennantit vom Nöckelberg	0·007
35	Tennantit vom Nöckelberg	0·008
77	As-reicher Tetraedrit von Kl. Grabans	0·047
53	As-reicher Tetraedrit von Schwaz	0·017
42	As-reicher Tetraedrit von Brixlegg, Geyer	0·008
83	As-reicher Tetraedrit von Rezbanja	0·01
51	As-haltiger Tetraedrit von Schwaz	0·005
46	Enargit vom Matzenköpfel	0·02
2	Enargit vom Myrthengraben	0·002

Es zeigt sich also, daß das Ge das As in der Fahlerz- und Enargitstruktur bevorzugt zu substituieren scheint. Es wäre aber auch möglich, daß diese Gesetzmäßigkeit minerogenetisch bedingt ist, da Enargit und Arsenfahlerz meist in der Abfolge älter sind als das Antimonfahlerz, oft auch früher ausgeschieden als Zinkblende.

Die Anreicherung des Ge in Enargiten gibt gleichzeitig eine Analogie zum Vorkommen dieses Gastelementes in Wurtziten, welche die Ge-Konzentrationen in Zinkblenden zu übertreffen pflegen (E. Schroll, Lit. 38). Dazu ist zu bemerken, daß sich das pseudohexagonale Gitter des Enargites von der Wurtzitstruktur ableitet. Die Häufigkeitsverteilung des Ge in Fahlerzen und Enargiten entspräche also ganz der in Zinkblenden und Wurtziten.

Mangan:

Maximal wurden in den untersuchten Fahlerzen 0·3% Mn gefunden, 24 von 91 Proben enthielten keine nachweisbaren Spuren Mn (unter 0·001%), Gehalte über 0·1% sind selten.

Zinkblenden erscheinen dagegen durchschnittlich Mn-reicher. Das Mn ist wohl in der Mehrzahl der Fälle dem Fahlerz zuzuordnen, kann aber auch zum Teil durch die Gangart (z. B. Eisen-späte) bedingt sein. Der Mn-Gehalt läuft dem des verwandten Fe nicht immer parallel; in zahlreichen Proben ist trotz hoher Fe-Gehalte Mn-Armut (z. B. Fahlerz von Schwaz) festzustellen.

Vanadin:

Das zur Fahlerzgruppe gehörende Mineral Sulvanit Cu_3VS_4 — auch Colusit ist V-hältig — ließe es als wahrscheinlich erscheinen, daß das Vanadin in höheren Konzentrationen in das Fahlerzgitter eingebaut werden kann. Es wurde jedoch nur sehr selten (6 Proben von 91) gefunden. Maximal wurden 0·012% festgestellt. Es ist fast so gut wie sicher, daß dieses Element den nachgewiesenen silikatischen Gangarten angehört. Als Gastelement ist es in keinem Fall sicher zu identifizieren.

Molybdän:

Dieses Element wurde in keiner Probe nachgewiesen. Nach den Untersuchungen von J. H. Bernard (Lit. 7) ist es ein Fremdelement.

Kobalt und Nickel:

Geringe Co und Ni-Gehalte in Fahlerzen sind sehr häufig, wobei in der Mehrzahl Co bevorzugt erscheint. Die Maximalgehalte liegen nach Literaturangaben (Lit. 24, 33) bei 4%, bei eigenen Analysen wurden bisher etwa 2% Co oder Ni gefunden.

Höhere Co und Ni-Gehalte sind manchmal durch die häufige Paragenese mit Ni-Co-Erzen (Safflorit, Pentlandit, Gersdorfit u. a.) bedingt, die mechanisch nicht immer leicht vom Fahlerz abzutrennen.

nen sind. Es ist aber anzunehmen, daß diese Metalle ebenso wie das Fe in begrenztem Umfang vom Fahlerz ins Gitter eingebaut werden können.

Blei:

Der Einbau des Pb ins Fahlerzgitter ist umstritten. Jedenfalls steht fest, daß es kein Bleifahlerz („Fournetit“) gibt. Gegenteilige Ergebnisse sind Fehldiagnosen auf Grund falscher Analysen (siehe Teil II!). Es ist auch Bournonit (CuPbSbS_3) sehr oft mit Fahlerz verwechselt worden, wie zahlreiche Fehlbestimmungen an Sammlungsmaterial zeigen.

Der Bournonit kommt in den ostalpinen Kupfererz-Eisenspat-Vererzungen oft gemeinsam mit dem Fahlerz vor und stellt das Pb-haltige Kupfererz gegenüber dem Zn-haltigen Fahlerz dar.

Pb-Gehalte über 0,05%, wahrscheinlich ist dieser Wert sogar tiefer anzusetzen, lassen sich stets auf eine Beimengung von Bleierzen (Bleiglanz, Bournonit, Bleispießglanze) bei eingehender chalkographischer Untersuchung zurückführen.

Das Pb ist „anisomineralisch“, d. h. ein Fremdelement in der Fahlerzanalyse. Der abweichenden Ansicht von *J. H. Bernard* ist nicht beizupflichten. Allerdings ist einzuräumen, daß ebenso wie in der Zinkblende (Lit. 38) im Fahlerz Bleiglanz oder ein anderes sulfidisches Bleierz als submikroskopisches Pigment vorhanden sein könnte. Die Maximalkonzentration in einer gut aufbereiteten homogen erscheinenden Probe wird aber voraussichtlich einige Zehntelprozente nicht überschreiten. *J. H. Bernard* (Lit. 7) gibt allerdings auch nur einen geringen Gehalt an Blei in dem von ihm näher untersuchten Tetraedrit von Rudnany an, der keine Fremdmineral-Beimengungen gezeigt hat.

Selen und Tellur:

In den untersuchten Proben wurde das Element Te nicht nachgewiesen (unter 0,03%).

H. J. Bernard (Lit. 7) konnte Te in Tetraedriten und Tenantiten einiger tschechoslowakischer Fundorte nachweisen. Der Gehalt wird teils auf heterogene Beimengungen, so im Antimonfahlerz von Jilove, teils wahrscheinlich als isomineralische Komponente wie im Tenantit von Lukavice aufgefaßt. Nach *H. Berman* und *F. A. Goniger* (Lit. 5) enthält der mit dem Tetraedrit strukturverwandte Colusit $\text{Cu}_3(\text{Fe}, \text{As}, \text{Sn})\text{S}_4$ 1,26% Te.

Von *W. Rockenbauer* (Lit. 35) wurden vier Fahlerzproben mit der Hochfrequenzanregungsmethode im Hochvakuum nach *Gatterer-Frodl* auf Se und Te analysiert, deren Ergebnisse in Tab. 3 mitgeteilt werden.

Tab. 3. Se-Gehalte in Fahlerzen (Lit. 35)

Nr.	Fahlerz von	% Se	% Te
1	Myrthengraben	0.02	—
4	Schendlegg	0.05	—
7	Veitsch	0.02	—
15	Zinkwand	—	—

Es zeigte sich, daß die Fahlerze mehr Se aufzunehmen imstande sind als die Schwefelkiese; erstere werden nur von den Bleiglanzen übertroffen.

Zinn:

In 32 von 91 Fahlerzproben wurden nur geringe Zinngehalte angetroffen, maximal 0.1% im Tetraedrit vom Myrthengraben, Semmering. Eine Aussage über kristallchemische Beziehungen ist nicht zu treffen, jedoch muß auf Grund der Strukturverwandtschaft des Colusites angenommen werden, daß das Sn vom Fahlerz aufgenommen werden kann.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß folgende Maximalgehalte von Aufbau- und Gastelementen in Fahlerzen nach den bisherigen Untersuchungen bekannt sind:

Tab. 4. Maximalgehalte in Fahlerzen (Lit. 8, 20, 24, 33)

	Tetraedrit	Tennantit
Ag	22.81 %	6—14 %
Bi	4.55 %	13.07 %
Co	4 %	> 1 %
Ge	0.047 %	0.14 %
Fe	13 %	11 %
Hg	17.5 %	0.2 %
Mn	0.3 %	0.03 %
Ni	4 %	> 1 %
Se	0.05 %	0.06 %
Zn	> 10 %	> 10 %

Gemäß empirischer Untersuchungen kann also in das Kristallgitter des Fahlerzes, dem nach *F. Machatschki* (Lit. 27—29) die allgemeine Formel $R_3^{II} R^{III} S_{>3}$ zuzuschreiben ist, aufgenommen werden für

R^{II}	Cu, Ag, Cd, Fe, Hg, Zn	(Mn, Ni, Co)
R^{III}	As, Sb, Bi, Ge, Fe	(V, Te, Ga, In, Sn)
S	S, Se.	

Bei den nicht fettgedruckten Elementen kann nur ein teilweiser isomorpher Ersatz der Hauptelemente angenommen werden. Es ist wahrscheinlich, aber nicht gesichert, daß das As- und Sb-Fahlerz eine lückenlose Mischreihe bilden. Die in dieser Arbeit vorliegenden Analysenresultate sowie die der Literatur (Lit. 24, 33) liefern dafür keinen Beweis.

Die im wesentlichen durch theoretische Überlegungen gewonnenen Ergebnisse zur Kristallchemie des Fahlerzes von *J. H. Bernard* (Lit. 7) stimmen mit den Erfahrungstatsachen überein. Es ist aber für das Pb, wie schon oben erwähnt, der Einbau in das Fahlgitter zweifelhaft. Auf Grund der Elektronenkonfiguration des Pb-Atoms KLMN $5s^2 5p^6 5d^{10} 6s^2 6p^2$ würde sich zwar die Möglichkeit einer tetraedrischen kovalenten Bindung ableiten lassen, welche die Valenzelektronenkonfiguration sp^3 bevorzugt. Die kovalenten tetraedrischen Radien von Pb und Cu liegen innerhalb der zulässigen Toleranz von 15% (Cu 1,35 und Pb 1,46). Allerdings fehlen einschlägige Bleiverbindungen dieses Bindungstyps, in denen das Pb die Koordinationszahl 4 aufweist. PbS besitzt eine Ionenbindung mit Übergängen in metallische Bindungsverhältnisse; das Pb ist in diesem Fall 6-koordiniert.

Bemerkenswert ist, daß hohe Hg-Konzentrationen auf tetraedritische Fahlerze beschränkt erscheinen, ebenso wie höhere Ge-Gehalte As-hältige Fahlerze bevorzugen.

V. Varietäten und Chemismus der ostalpinen Fahlerze

Antimon- und Arsenfahlerze scheiden sich in der Nomenklatur bei einem Grenzgehalt von etwa 14% As und Sb. In Übereinstimmung mit *F. Machatschki* (Lit. 28) wird für die Fahlerzvarietäten in einfacher Weise folgende Nomenklatur eingeführt:

Me-„haltiger“ Tennantit oder Tetraedrit bei Me-Gehalten über 2%.

Me-„reicher“ bei Me-Gehalten über 10%.

Me-„ärmer“ bei Gehalten unter 2%.

„Reiner“ Tennantit oder Tetraedrit mit Gehalten jedes Gastelementes unter 2%.

So z. B. ist ein Tetraedrit ab 2% Zn als „Zn-haltiger“ Tetraedrit und ab 10% als „Zn-reicher“ Tetraedrit benannt.

Die historischen Namen einzelner Fahlerzvarietäten können etwa wie folgt, angewendet werden:

Freibergit (= Ag-reiches Fahlerz)

Schwazit (= Hg-reiches Fahlerz)

Annivit (= Bi-haltiges Fahlerz)

Die Verteilung der ostalpinen Fahlerzproben auf einzelne Varietäten ist aus der nachfolgenden Tabelle (Tab. 5) ersichtlich.

Arsen und Antimon:

Unter den untersuchten Proben überwiegen die Antimonfahlerze. Arsenfahlerze sind auf einige wenige Vorkommen beschränkt; sie liegen alle in der westlichen Grauwackenzone: Nöckelberg, Rellstal, Gand. Allerdings sind 62% aller untersuchten Tetraedrite As-haltig oder As-reich, wobei sich gleichfalls die Fundpunkte

der westlichen Grauwackenzone durch höhere As-Gehalte auszeichnen. Die höherthermalen Erzvorkommen sind im allgemeinen As-reicher; das reine Sb-Fahlerz ist minerogenetisch jünger.

In der Vererzung des Schladminger Altkristallins nimmt der As-Gehalt mit Einsetzen der Pb-Zn-Vererzung ab. Fahlerz der Cu-Lagerstätte Kronbach am Rande des Vererzungsgebietes erwies sich fast As-frei. Oft kommt As-reiches und -armes Fahlerz nebeneinander vor, wie in Bromriesen (Nr. 27/28). Das As-reichere Fahlerz ist in der Abscheidungsfolge älter.

Die As-armen Tetraedrite findet man bevorzugt auf vielen Eisen-spatvorkommen als auch insbesondere mit Blei-Zink-Vererzungen in prätriasischen Nebengesteinen (z. B. Kaltenegg, Abfaltersbach, Mt. Grave [Calisberg], Kerschdorf [Gailtal], Gočman, St. Martin-Rosegg). Auch die Vererzungen, die in die Trias übergreifen, führen oft nur As-arme Antimonfahlerze (Gafleinstal, Rellstal).

Wismut:

Bi-reiche Fahlerze wurden in der vorliegenden Probenserie nicht angetroffen. Als Bi-haltig (2·0% Bi) sind nur je ein Fahlerz von Vöttern (Nr. 17) und Brixlegg (Nr. 43) zu bezeichnen.

Bi-Fahlerz wird von *O. Friedrich* (Lit. 15) nur von dem arsenidischen Ni-Cu-Vorkommen Zinkwand—Vöttern und vom Pb-Zn-Vorkommen Patzenkar beschrieben, das gleichfalls zur Schladminger Vererzung gehört. *G. Sterk* (Lit. 44) erwähnt aus der Klieninger Gangvererzung (Lavanttal, Kärnten) eine Bi-Paragenese mit einem möglichen Vorkommen von Bi-Fahlerz.

Bi ist allerdings in der ostalpinen Erzprovinz ein sehr häufiges Gastelement im Fahlerz. Bisweilen ist es auch als heterogene Beimengung (z. B. Gediegen Bi) enthalten.

Tab. 5. Häufigkeiten der ostalpinen Fahlerzvarietäten

Varietät	Tennantit (insgesamt 6)	Tetraedrit (insgesamt 74)
Reine Fahlerze	3	2
Sb, As-arme Fahlerze	5	28
Sb, As-haltige Fahlerze	1	37
Sb, As-reiche Fahlerze	—	6
Bi-haltige Fahlerze (= Annivit)	—	2
Ag-haltige Fahlerze	—	15
Ag-reiche Fahlerze (= Freibergit)	—	7
Hg-haltige Fahlerze	—	13
Hg-reiche Fahlerze (= Schwazit)	—	3
Zn-haltige Fahlerze	1	36
Zn-reiche Fahlerze	—	21
Fe-haltige Fahlerze	4	54
Fe-reiche Fahlerze	1	3

Tab. 6. Häufigkeit des Bi in ostalpinen Fahlerzen und Enargiten

% Bi	Anzahl der Proben	Prozentanteil
über 1%	2	25%
0.1 — 1.0 %	23	29.2%
0.01 — 0.1 %	20	25.3%
0.001 — 0.01 %	20	25.3%
nicht nachgewiesen	14	17.7%

Die Bi-Konzentrationen liegen am häufigsten im Konzentrationsbereich von 0.01 bis 0.1%. Über 0.1% liegen zumeist Bi-Gehalte von Proben aus Schwaz und Brixlegg.

Damit ist auch die Notiz von G. Gasser (Lit. 20) zu verstehen: „Wismuthaltige Fahlerze, ums Jahr 1890 gewann man bei der Hütte Brixlegg zirka 30 kg Bi (als Nebenprodukt)“ (siehe auch H. Meixner, Lit. 31).

Unter den Bi-reichereren Fahlerzen sind ferner anzuführen jene aus dem Montafon, aus der Vererzung des Marmors bei Mautern-dorf im Lungau, sowie jene aus den Karbonatgängen der Schladminger Vererzung. Bi-Spuren führen auch immer die Fahlerze der Eisenspatvorkommen der östlichen Grauwackenzone, wobei namentlich das Fahlerz von Schendlegg (Nr. 43) mit 0.5% Bi hervorzuheben ist.

In den Eisenspatlagerstätten sind nach O. Friedrich (Lit. 18) in extensiver Verbreitung gelegentlich Bi-Mineralen anzutreffen.

Bi-arm (unter 0.01%) sind dagegen fast stets Fahlerze in der Paragenese mit Blei-Zink-Erzen (z. B. Myrthengraben, Eschach, Bromriesen, Kaltenegg, Nöckelberg, Kotalm, Abfaltersbach, Göc-man, St. Martin-Rosegg, Kl. Grabans, Obernberg [Brenner], Mt. Grave, Dechant, Oberzeiring u. a.). Dasselbe trifft für die Fahlerze der Trias (Gafleinstal, Rellstal, Brixlegg [Geyer]) sowie für die Fahlerze von Mitterberg und vom Erzberg zu.

Tab. 7. Häufigkeit des Ag in ostalpinen Fahlerzen und Enargiten

% Ag	Anzahl der Proben	Prozentanteil
über 10 %	5	6.3%
1 — 10 %	27	34.2%
0.1 — 1 %	24	30.4%
0.01 — 0.1 %	17	21.5%
0.001 — 0.01 %	3	3.8%
unter 0.001%	3	3.8%

Silber:

Freibergite wurden zum Teil in der Paragenese mit Blei-Zink-Erzen (Dechant, St. Martin-Rosegg, Oberzeiring, Eschach) als auch in den Karbonatgängen der Schladminger Vererzung (Freying, Neualm) sowie in Brixlegg angetroffen.

Von den Ag-haltigen Tetraedriten sind vor allem jene aus dem Gebiet von Schwaz—Brixlegg, des Montafon, der Schladminger Vererzung und vom Mt. Grave (Trient) anzuführen.

Die Ag-haltigen Fahlerze waren vor der Entdeckung Amerikas ein wichtiges Bergbauprodukt der Ostalpen. Der unklare Ausdruck der alten Bergmannssprache „Grauerz“ mag in vielen Fällen Ag-haltiges Fahlerz bedeutet haben.

Ausgesprochen Ag-arm erscheinen dagegen Fahlerze vom Nöckelberg (unter 0·001%) oder die der Buntsandsteinvererzung vom Rellstal (0·004% in Nr. 65).

Die Häufigkeitstabelle des Ag zeigt, daß Gehalte über 1% Ag überwiegen. Es bleibt offen, in welchem Maße die Ag-Gehalte in gewissen Fahlerzen als Zementationserscheinung aufzufassen sind.

Quecksilber:

Das Hg ist in den ostalpinen Fahlerzen genau so charakteristisch wie in den Zinkblenden (vgl. E. Schroll, Lit. 37). Dies ist auch aus beigegebener Häufigkeitstabelle (Tab. 8) zu ersehen.

Tab. 8. *Häufigkeit des Hg in ostalpinen Fahlerzen*

% Hg	Anzahl der Proben	Prozentanteil
über 10 %	2	2·5%
1·0 — 10 %	17	21·5%
0·1 — 1 %	31	39·2%
0·01 — 0·1 %	9	11·4%
0·001— 0·01 %	10	12·7%
unter 0·001%	10	12·7%

Schwazite wurden nur in den Proben von Gand und von Neuberg (Steinbauerngrube) angetroffen.

Unter den Proben aus Schwaz-Brixlegg befand sich trotz Sammlungsaufschriften kein Schwazit; dies ist wohl als Zufall zu werten. Eine alte Analyse wird von diesem Fundpunkt mit 15·37% Hg angegeben (Lit. 20). Hg-Fahlerz wird auch vom Erzberg mit 13·2% Hg erwähnt (Lit. 23).

Die Mehrzahl aller Proben liegt aber im Konzentrationsbereich von 0·1 bis 10% Hg: Die Fahlerze der Eisenspatlagerstätten, der Vererzung der westlichen Grauwackenzone, des karnischen Paläozoikums sowie der Schladminger Masse.

Fast Hg-frei erscheinen dagegen die As-haltigen Fahlerze von Röhrerbichel, Nöckelberg sowie die Tetraedrite von der Kotalm.

Ob genetische Zusammenhänge mit in der Nachbarschaft auftretenden Zinnvorkommen (Nöckelberg, Kotalm!) bestehen, bleibt noch näher zu untersuchen. So sind die Eisenspatvererzungen der östlichen Grauwackenzone in ihren Fahlerzen im allgemeinen auch Hg-ärmer bei gleichzeitig häufigerem Vorkommen von Zinnober.

Hg-arm sind die arsenidischen Co-Ni-Vererzungen von der Zinkwand-Vöttern gegenüber den niedrig-thermalen Erzvorkommen der Schladminger Vererzung, wie schon die Analyse der Zinkblende (E. Schroll, Lit. 40) angedeutet hat. Mit der Paragenese von Zinkblende-Fahlerz ist oft auch eine Abnahme des Hg-Gehaltes im Fahlerz selbst verbunden. Bei vergleichsweise höheren Hg-Gehalten der Zinkblenden (Lit. 40) sind die Hg-Konzentrationen in den Tetraedriten von Obernberg und Abfaltersbach als gering zu bezeichnen. Dies trifft auch für die Zinkwand-Vererzung des Schladminger Altkristallins zu.

Tab. 9. *Hg-Gehalt von Fahlerzen und Zinkblenden gleicher Fundorte*
(Siehe F. Schroll, Lit. 40)

Fundort	Hg % in Zinkblende	Hg % in Fahlerz
Myrthengraben	0.05	1.3
Zinkwand	0.05	< 0.001—0.005
Obernberg, Brenner	0.1	0.002
Abfaltersbach	0.05	< 0.001
Kl. Grabans	0.3	1.7
Oberzeiring	1	1.6

Gering ist auch der Hg-Gehalt im Freibergit von Dechant und vom Mt. Grave (Trient).

Die Vererzung des Bozener Quarzporphyroplateaus ist mit gewissen regionalen Einschränkungen als Hg-arm zu bezeichnen (Lit. 37, 40). Dies trifft auch für die Gangvererzung im Quarzporphyrr vom Typ Nogarè zu, welche den Erzlagern im Bellerophonkalk benachbart sind. Die Fahlerzanalyse vom Mt. Grave, einer Bellerophonkalk-Vererzung, bestätigt also diese Eigenart der judikarischen Unterprovinz.

Sehr gering ist der Hg-Gehalt auch in den Fahlerzen aus der Trias (Rellstal, Brixlegg [Geyer]); eine Ausnahme bildet nur das Fahlerz vom Gafleinstal.

Zink:

Das Fahlerz ist ebenso wie der Bournonit für das Blei ein nennenswerter Zinkträger in der ostalpinen Vererzung; dies zeigt auch die kurze statistische Aufstellung in Tab. 10.

Tab. 10. Häufigkeit des Zn in ostalpinen Fahlerzen

Zn %	Anzahl der Proben	Prozentanteil
über 10 %	13	16.9%
1 — 10 %	50	64.9%
0.1 — 1 %	10	13.0%
0.01— 0.1%	4	5.2%

Zinkreiche Fahlerze und Zinkblenden schließen sich zwar in der Paragenese nicht aus. Bemerkenswert ist jedoch der relativ hohe Zn-Gehalt in den Fahlerzen von Schwaz— Brixlegg und anderen Fundorten, von denen bekannt ist, daß Zinkblende nur sehr untergeordnet vorkommt. Oft erscheinen Tetraedrite sehr Zn-arm, insbesondere dann, wenn Zinkblende in der Vererzung intensiv auftritt.

Dies trifft für das Fahlerz von Obernberg (Brenner) zu. Zn-arm sind ferner die Tetraedrite von der Kotalm, Erzberg, Rellstal und Kronbach. Kronbach gehört innerhalb der Schladminger Vererzung zu Vorkommen, in dessen weiterer Nachbarschaft Zinkblende als Hauptterz beibricht (z. B. Krahberger Zinken, Patzenkar u. a.).

Auffällig ist auch die Zn-Armut mancher Arsenfahlerze (z. B. Nöckelberg).

Kadmium:

Dieses Gastelement ist der ständige Begleiter des Zn. Um das Verhalten des Cd zu beurteilen, ist es also notwendig, das Verhältnis Zn/Cd im Fahlerz zu betrachten.

Das Zn/Cd-Verhältnis in den Fahlerzen ist recht variant. Cd-reich sind oft Zn-arme Tetraedrite oder Freibergite, Zn-reiche Fahlerze von manchen Pb-Zn-Vorkommen (z. B. Mt. Grave, Kl. Grabans) oder von Eisenspat- und Kupferkies-Lagerstätten der Grauwackenzone (z. B. Erzberg, Mitterberg), in denen Zinkblende kaum gefunden wird. Durch Cd-Anreicherung sind auch die As-haltigen Fahlerze der arsenidischen Co-Ni-Vererzung der Zinkwand-Vöttern ausgezeichnet, während die jüngeren Zn-Ag-haltigen Antimonfahlerze an Cd verarmen.

Cd-arm sind ferner auch die zum Teil sehr Zn-haltigen Tetraedrite vieler Pb-Zn-Vorkommen (z. B. Abfaltersbach, Kaltenegg,

Tab. 11. Zn/Cd in ostalpinen Fahlerzen¹

Zn/Cd	Fundort	Nr.	Fahlerz-Varietät
10—100	Myrthengraben	1	As-Zn-Td
	Kotalm	10	Td
	Schiedergraben	30	Td
	Mitterberg	32	Hg-Td
	Brixlegg, Geyer	42	As-Zn-Td
	Rellstal	65, 66	Td, Sb-Tn
	Mt. Grave	69	As-Ag-Zn-Td
	Kl. Grabans	77	As-Zn-Td
	Schwabegg	78	Ag-Hg-Td
	Oberzeiring	79	Ag-Td
100— 300	Veitsch	6, 7	As-Zn-Td
	Erzberg	8	As-Td
	Kotalm	11	Td
	Mauterndorf	12	Zn-Td
	Zinkwand	16	As-Zn-Td
	Vöttern	18	As-Zn-Td
	Freying	19	As-Ag-Zn-Td
	Eschach	25	Zn-Ag-Td
	Mitterberg	31, 33	As-Zn-Td, Zn-Hg-Td
	Schwaz	54	As-Zn-Td
300— 1000	Gand	59	As-Hg-Td
	Kaltenegg	3	Td
	Schendlegg	4	As-Zn-Td
	Steinbauerngrube	5	Zn-Hg-Td
	Wetterbauersattel	9	As-Td
	Seekar	14	As-Td
	Hading	21	As-Ag-Zn-Td
	Vordergiglach	22	As-Zn-Td
	Neualm	23, 24	As-Ag-Zn-Td
	Eschach	26	As-Zn-Td
	Bromriese	28	As-Zn-Td
	Brunnalpe	41	As-Ag-Zn-Td
	Schwaz	47, 48	As-(Ag)-Zn-Hg-Td
		49, 50, 54	As-Zn-Td
		52, 56	As-Zn-Hg-Td, As-Td
	Gafleinstal	57	Zn-Td
	Gand	58	As-Zn-Hg-Td
	Serfaus	61	As-Zn-Hg-Td
	Bartolomäberg	62, 63	As-Ag-Zn-Td
	Dechant	72	As-Ag-Zn-Td

¹ Anmerkung zu Tab. 11: Td = Tetraedrit, Tn = Tennantit, Fettdruck bedeutet Me-reiche Fahlerzvarietät.

Zn/Cd	Fundort	Nr.	Fahlerz-Varietät
300— 1000	Gummern	73	As-Zn-Td
	Kerschdorf	74	Zn-Hg-Td
	Gočman	75	Zn-Td
	St. Martin-Rosegg	76	Zn-Ag-Td
1000—10.000	Seekar	13	Zn-Td
	Zinkwand	15	Ag-Zn-Td
	Vöttern	17	Bi-Ag-Zn-Td
	Bromriese	27	Ag-Zn-Td
	Röhrerbichel	37—39	As-Zn-Td
		40	Ag-Zn-Td
	Brixlegg	43—46	As-(Bi)-(Ag)-Zn-(Hg)-Td
	Schwaz	51	As-Zn-Td
		53	As-Ag-Zn-Hg-Td
		55	As-Zn-Hg-Td
	Gand	60	As-Zn-Tn
	Silbertal	64	As-Zn-Td
	Val Fex	67	Zn-Hg-Td
	Abfaltersbach	70, 71	Zn-Td, Zn-Td

Tab. 12. Häufigkeit des Ge in ostalpinen Fahlerzen

	Anzahl der Proben	Prozentanteil
über 0·01%	2	2·6
< 0·001—0·01%	25	32·5
nicht nachgewiesen	50	64·9

Dechant, St. Martin-Rosegg, Bartolomäberg, Silbertal). Besonders in den Hg-reichen und vorwiegend fahlerzführenden Vorkommen der Grauwackenzone tritt trotz hoher Zn-Gehalte im As-haltigen Tetraedrit das Cd gegenüber dem Zn stark zurück.

Germanium:

Die ostalpinen Fahlerze weisen gelegentlich Ge-Gehalte auf, die im Fahlerz von Kl. Grabans (Nr. 77) 0·047% Ge maximal erreichen. Am häufigsten ist das Ge als Gastelement in den Fahlerzen von Schwaz-Brixlegg, Nöckelberg und in verschiedenen Kärntner Vorkommen anzutreffen. Geringe Ge-Spuren sind manchmal in den Fahlerzen der Schladminger Vererzung enthalten.

Zinn:

Dieses Element ist ebenso wie das Ge nur ein seltener Gast in den ostalpinen Fahlerzen, wie die beigegebene Tabelle (Tab. 13) ausweist.

Tab. 13. Häufigkeit des Sn in ostalpinen Fahlerzen und Enargiten

% Sn	Anzahl der Proben	Prozentanteil
0.05 — 0.1	1	1.3%
0.01 — 0.05	5	6.3%
0.005 — 0.01	2	2.5%
0.001 — 0.005	23	29.1%
nicht nachgewiesen	48	60.8%

Zinnhaltig sind der Enargit vom Myrthengraben, die Fahlerze von Mt. Grave, Dechant, Abfaltersbach, Nöckelberg, Röhrerbichel, Gand, Seekar. Sn-Spuren sind ferner nachweisbar im Fahlerz von Oberzeiring, gelegentlich auch in der Schladminger Vererzung (siehe Seekar!) und in Schwaz.

1. Unterschiede im Mikro- und Makrochemismus bei ostalpinen Fahlerzen

Der Makro- und Mikrochemismus der Fahlerze wird durch verschiedene Faktoren bestimmt, von denen als wichtigste ein minero-genetischer Faktor (u. a. der Einfluß von Bildungstemperatur und Erzparagenese) und ein regional-geologischer Faktor hervorzuheben sind.

Die Abhängigkeit vom minero-genetischen Faktor zeigen die untersuchten Fahlerzproben (Nr. 13 bis 29) aus dem Bereich der Schladminger Vererzung. Soweit das geringe Probenmaterial es gestattet, ließe sich die Temperaturabhängigkeit am Beispiel dieses Erzbezirkes etwa, wie aus Tab. 14 folgt, darstellen.

Tab. 14. Relative Unterschiede der Gehalte in Fahlerzen der Schladminger Vererzung

As-Ni-Co-Vorkommen Zinkwand, Vöttern		Cu- (Kupferkies-Fahlerz-) Vorkommen Giglach, Neualm		Pb-Zn-Vorkommen Eschach, Bromriesc	
As-Td	Td	As-Td		As-Td	Td
Bi		(Bi)			
	Zn	Ag	Ag (Au)		Ag
			Zn		Zn
(Hg)			Hg	(Hg)	
		Fe	(Fe)		(Fe)
Cd			(Cd)		Cd
(Ge)			(Ge)	Ge	
Ni, Co			(Ni, Co)	(Ni, Co)	

Dieses Schema lässt sich in groben Zügen auch auf die anderen Fahlerzvorkommen übertragen. Bi ist für den höher (meso-) thermalen Bildungsbereich kennzeichnend. Die Fahlerze höherthermaler Vorkommen (z. B. Zinkwand-Vöttern, Dechant) sind Hg-arm; dies trifft aber auch für viele offenbar tiefthermale Bildungen zu (z. B. Vererzung der Trias). Das Ge ist vorzugsweise an As- und Hg-haltige Fahlerze gebunden. Das Ag ist vor allem in As-haltigen Tetraedriten höher temperierter Vorkommen (z. B. Dechant) oder in ausgesprochenen Sb-Fahlerzen tiefthermaler Bildung (z. B. Oberzeiring) anzutreffen. Das Cd ist vor allem in den bei tieferen Temperaturen ausgeschiedenen Sb-Fahlerzen, auch gegenüber Zn angereichert.

J. H. Bernard (Lit. 6) fand bei den Fahlerzen des Slowakischen Erzgebirges höhere Ag- und Hg-Gehalte für Tetraedrite der äußeren Vererzungszone charakteristisch; bei Zn, Pb, Cd, und Au konnte nur eine regionale Abhängigkeit nachgewiesen werden.

In der ostalpinen Erzprovinz überwiegen die regionalen Eigenheiten der Erzvorkommen. So sind die Fahlerze aus der Grauwackenzone und der Trias des Semmeringgebietes durch relativ höhere Gehalte an Se, manchmal auch Bi und Sn ausgezeichnet. Wie die folgende Zusammenstellung (Tab. 15) zeigt, unterscheiden sich die Fahlerze der westlichen Grauwackenzone von denen der östlichen, in der das Vorkommen von Kupferkies das des Fahlerzes eher übertrifft.

Tab. 15. Regionale Charakteristik im Chemismus ostalpiner Fahlerze

Bereich	Fahlerz im Durchschnitt	
	reich an	arm an
Östliche Grauwackenzone (einschließlich Mitterberg)	Sb, Cd (Hg)	Ag, Hg, Bi, Ge
Westliche Grauwackenzone	As, Ag, Hg, Bi, Ge, Zn	Cd
Schladminger Altkristallin	Ag, Bi, Zn, Cd, (Ni, Co)	Hg, Ge
Paläozoikum der Karawanken und Gailtaler Alpen	Ag, Cd, Ge, Zn, ± Sn	Bi, Hg, As
Bellerophonkalk	Ag, Cd, Sn, Zn	Hg, Bi, Ge

Die Fahlerze der Sideritlagerstätten der östlichen Grauwackenzone können bisweilen auch sehr Hg-reich sein (z. B. von der Steinbauerngrube [Nr. 5] oder vom Polster [Eisenerz] mit 13,2% Hg nach Hatle, Lit. 23). Allerdings ist der As-Gehalt gewöhnlich geringer als beim westlichen Vererzungstyp.

2. Vergleich mit anderen Ergebnissen der geochemischen Analyse der ostalpinen Erzprovinzen

Eine Übersicht über die Ergebnisse der Analysen ostalpiner Fahlerze bestätigt im wesentlichen die Erkenntnisse, welche bei der Untersuchung der Bleiglanze und Zinkblenden gewonnen worden sind (E. Schroll, Lit. 37, 40).

Das Bi ist für die Vererzung der Grauwackenzone wie auch für gewisse Vererzungszentren charakteristisch. Bi-Konzentrationen im Fahlerz gehen denen im Bleiglanz weitgehend parallel, wie aus Tab. 16 zu ersehen ist.

Tab. 16. Bi-Gehalte in Fahlerzen und Bleiglanzen

Fundort	Bleiglanz Bi%	Fahlerz Bi%
Myrthengraben	0.03—0.05	—
Gloggnitz, Riebeckitgneis	1	n. b.
Schendlegg	n. b.	0.50
Mauterndorf	0.5	0.20
Oberzeiring	0.0005	< 0.001
Eschach	0.0005	0.002
Bromriese	0.001	< 0.001
Leogang	0.0005	—
Schwaz, Bertastollen	0.05	0.3
Obernberg, Brenner	0.0005	0.001
Mt. Grave	0.0007	0.002
Abfaltersbach	0.005	0.01—0.04
Dechant	0.01	0.002

Auch das Verhalten des Sn entspricht den bisherigen Erfahrungen. Sporadisches Auftreten geringer Sn-Gehalte in Erzen des ostalpinen Paläozoikums und Altkristallins, höhere Sn-Konzentrationen in der periadriatischen und judikarischen Unterprovinz.

Das Auftreten von Ge in den Fahlerzen ist durchaus mit dem Verhalten der Zinkblenden zu vergleichen.

Vor allem Fahlerze aus der Grauwackenzone und dem übrigen Paläozoikum sind Ge-haltig. Fahlerze aus dem alpinen Mesozoikum haben sich im Gegensatz zu den Blenden bisher als Ge-frei erwiesen.

Tab. 17. Sn-Gehalte in Fahlerzen und Blei- bzw. Zinkerzen

Fundort	Bleiglanz Sn %	Zinkblende Sn %	Fahlerz (Enargit) Sn %
Myrthengraben	0.001—0.005	0.003	bis 0.1
Oberzeiring	0.001	0.01	0.001
Zinkwand	n. b.	0.01	—
Eschach	—	n. b.	—
Leogang	bis 0.001	0.01	bis 0.015
Schwaz, Bertastollen	—	n. b.	—
Obernberg	0.0005	—	—
Mt. Grave	bis 0.005	n. b.	0.01
Abfaltersbach	0.003	0.0005	0.01—0.03
Dechant	(> 1%)	n. b.	0.03

Tab. 18. Ge in Fahlerzen und Zinkblenden

Fundort	Zinkblende Ge %	Fahlerz (Enargit) Ge %
Myrthengraben	—	bis 0.002
Oberzeiring	0.005	—
Zinkwand	—	< 0.001
Leogang	0.03	bis 0.008
Obernberg	0.0005	—
Abfaltersbach	—	—
Kl. Grabans	0.005	0.047

Auch das Hg, obwohl dieses Metall in den Fahlerzen naturgemäß stärker angereichert werden kann als in den Zinkblenden, folgt wie schon oben ausführlich gezeigt (Tab. 9), gleichartigen regionalen Verteilungsgesetzmäßigkeiten.

3. Vergleich mit den Analysen außeralpiner Fahlerze

Die vorgelegten Analysen außeralpiner Fahlerze gestatten zwar durch ihre sehr geringe Zahl keine weitreichenden Schlüsse. Die Tetraedrite von Kapnik (Nr. 84, 85) zeigen aber, daß sie genau so arm an Ge, Hg, Bi und Sn sind, wie es nach Analyse der Blei-Zinkerze zu erwarten gewesen ist. Die slowakischen Fahlerze (Rosenau, Krombach, Kotterbach, Nr. 87 bis 90) erweisen sich denen von

Schwaz-Brixlegg sehr ähnlich, während der Tetraedrit von Schemnitz (Nr. 86) eher mit denen von Kapnik (Nr. 84, 85) verglichen werden kann. Die As-haltigen Fahlerze der Dinariden fallen durch hohe Gehalte an Bi, Hg und Spuren von Sn auf.

Für die weitreichende Förderung der vorliegenden Arbeit danken wir vor allem dem Vorstand des Mineralogischen Institutes der Universität Wien, Herrn Prof. Dr. F. Machatschki sowie Herrn Prof. Dr. H. Haberlandt. Für die Überlassung von Probenmaterial danken wir Herrn Prof. Dr. H. Leitmeier (Wien), Prof. Dr. W. E. Petraschek (Leoben), Prof. Dr. F. Heritsch (Graz), Prof. Dr. B. Sander und Prof. Dr. A. Ladurner (Innsbruck), Kustos Dr. Dipl.-Ing. E. Krajicek (Joanneum, Graz), Doz. Dr. E. Zirkl (Wien), Doz. Dr. E. Siegl (Leoben), Dr. M. Brandenstein (Wien), Dr. E. Schmidegg (Wien), Betriebsleiter K. Bernadek (Kupferbergbau Röhrerbühel) und Betriebsleiter A. Aichner (Abfaltersbach), Amtsrat F. Hermann (Villach), Herrn Oberbaurat E. Hirn (Hermagor) und Herrn G. Tschabrunn (Vadanz).

Herrn stud. phil. H. Makart (Wien) danken wir für einige chemische Kontrollanalysen auf As.

Der Österreichischen Akademie der Wissenschaften ist der eine Verfasser, E. Schroll, für die Gewährung einer Subvention aus den Mitteln der Dr.-Karl-Renner-Stiftung zu Dank verpflichtet.

Literatur

1. Aigner, A., Die Mineralschätze der Steiermark. Graz 1907. — 2. Anderson, J. S., Observations on the geochemistry of Indium. *Ge chim. cosmochim. Acta* 4 (1953), 225—240. — 3. Azer Ibr., N., Beitrag zur geochemischen Analyse ostalpiner Fahlerze. *Diss. Univ. Wien* 1955. — 4. Azer Ibr., N., Beitrag zur Kenntnis ostalpiner Fahlerze, Teil I und II. *T. M. P. M.* 6 (1957). — 5. Berman, H., und F. A. Goyer, Re-examination of colusite. *Am. Min.* 24 (1939), 377. — 6. Bernard, J. H., Preliminary report on the combination of calculations of the lattice constants with semiquantitative spectral-analyses of minerals for the geochemical research of ore veins. *Věstník ŚUG*, roč. 32 (1957), 135—145. — 7. Bernard, J. H., On the isomorphism of the elements in the group of tetraedrite. *Roz. Česk. Akad. Ved* 67 (1957), 1—30. — 8. Bernard, J. H., und J. Hak, Tetraedrit-freibergit z Kutné Hory a Stáře Vožica. (Unveröffentlicht.) — 9. Böhne, E., Die Kupfererzgänge von Mitterberg in Salzburg. *A. Lf.* 49 (1931), 1—105. — 10. Bouska, V., Změna mřížkove konstanty Hg tetraedritu . . . *Roz ČSAV* 66 (1956), 13. — 11. Brunlechner, A., Die Minerale des Herzogtums Kärnten. Klagenfurt 1884. — 12. Colbertaldo, D., I giacimenti piombari zinciferi di Grigna e Pian Barco nelle Alpi Orientali. XIX. *Int. Geol. Congr. Algier* 1952. — 13. Czermak, F., und J. Schadler, Vorkommen des Elements Arsen in den Ostalpen. *T. M. P. M.* 44 (1933), 1—67. — 14. Fleischer, M., Minor elements in some sulfide minerals. *Econ. Geol.* 50 (1955), 970—1024. — 15. Friedrich, O., Die Erze und der Vererzungsvorgang der Kobalt-Nickel-Lagerstätte Zinkwand—Vöttern usf. *Bg. hm. Jb.* 81 (1933), 1—14, 54—61, 84—99. — 16. Friedrich, O., Zur Geologie des Großarltales. *Sb. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl. I*, 145 (1936), 121—153. — 17. Friedrich, O., Über die Vererzung des Nockgebietes. *Sb. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl. I*, 145 (1936), 227—258. — 18. Friedrich, O., Zur Lagerstättenkarte der Ostalpen. *Radex* 1953, 371—407. — 19. Fugger, E., Die Mineralien des Herzogtums Salzburg. 1878. — 20. Gasser, G., Die Mineralien Tirols, Vorarlbergs und der Hohen Tauern. Innsbruck 1913. — 21. Goldschmidt, V. M., Zur Geochemie des Germaniums. *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl.* 33 (1933). — 22. Gold-

schmidt, V. M., Geochemistry, Oxford 1954. — 23. *Hattle, E.*, Die Minerale des Herzogtums Steiermark. Graz 1885. — 24. *Hintze, C.*, Handbuch der Mineralogie, Bd. I/2, Leipzig 1898. — 25. *Hohl, O.*, Die Fahlerzlagerstätte im Wetterbauergraben bei Mixnitz (Steiermark). Mitt. naturw. Ver. Stmk. 66 (1930), 186—200. — 26. *Kutina, J.*, Zur Frage der kristallchemischen und typochemischen Elemente. T. M. P. M. 6 (1957), 206—214. — 27. *Machatschki, F.*, Präzisionsmessungen der Gitterkonstanten verschiedener Fahlerze. Formel und Struktur derselben. Z. Krist. 68 (1928), 204. — 28. *Machatschki, F.*, Spezielle Mineralogie auf geochemischer Grundlage. Wien 1953. — 29. *Machatschki, F.*, Formel und Kristallstruktur des Tetraedrites. Norsk. geol. Tid. B. X. h. 1 (1928), 23—32. — 30. *Maucher, A.*, Erzmikroskopische Untersuchungen an Blei-Zink-Lagerstätten im Raume Trento (Norditalien). Mitt. Geol. Ges. Wien 48 (1956), 139—154. — 31. *Meixner, H.*, Mineralogisches zu *Friedrichs* Lagerstättenkarte der Ostalpen. Radex 1953, 434—444. — 32. *Mutschlechner, G.*, Vom alten Bergbau am Falkenstein. Schwazer Bergbuch. Innsbruck 1952, 113—125. — 33. *Palache, Ch., H. Berman und Cl. Frondel*, Dana's System of Mineralogy I (1946). — 34. *Pauling, L.*, und *E. W. Neumann*, The crystalstructure of Binnite . . . Z. Krist. 88 (1934), 54—62. — 35. *Rockenbauer, W.*, Spektrochemische Bestimmungen von Selen in ostalpinen Erzen. Diss. Univ. Wien 1956. — 36. *Schmidegg, O.*, Die Erzlagerstätten des Schwazer Bergaugebietes, besonders des Falkensteins. Schwazer Bergbuch, 1951, 36—58. — 37. *Schroll, E.*, Über das Vorkommen einiger Spurenmetalle in Blei-Zink-Erzen der ostalpinen Metallprovinz. T. M. P. M. 5 (1955), 183—208. — 38. *Schroll, E.*, Über Unterschiede im Spurengehalt bei Wurtziten, Schalenblenden und Zinkblenden. Sb. Öst. Akad. Wiss. Math.-naturw. Kl., Abt. I, 162 (1953), 21—332. — 39. *Schroll, E.*, Über Minerale und Spurenelemente, Vererzung und Entstehung der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten in Österreich). Mitt. Öst. Min. Ges. Sonderheft 2 (1953), 1—60. — 40. *Schroll, E.*, Ein Beitrag zur geochemischen Analyse ostalpiner Blei-Zink-Erze. Teil I. Mitt. Öst. Min. Ges. Sonderheft 3 (1954), 1—83. — 41. *Schwarz, F.*, Beitrag zur mineralogischen und geologischen Charakteristik der Lagerstätte Leogang. Bg. hml. Mh. 94 (1949), 134—143. — 42. *Stiegl, E.*, Erzmikroskopische Studie des Glaserzes vom Radhausberg bei Gastein. T. M. P. M. 2 (1951), 131—143. — 43. *Sigmund, A.*, Die Minerale Niederösterreichs. Wien 1909. — 44. *Sterk, G.*, Zur Kenntnis der Goldlagerstätte Kliening im Lavanttal. Carinthia II (1955), 39—59. — 45. *Strunz, H.*, Mineralogische Tabellen. Leipzig 1957. — 46. *Tornquist, A.*, Vererzung und Wanderung des Goldes in den Erzen der Hohen Tauerngänge. Sb. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl., Abt. I, 142 (1933), 41—80. — 47. *Zepharovich*, Mineralogisches Lexicon für das Kaisertum Österreich. Wien 1859 bis 1893.