

**Die karbonatgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten
des alpinen und außeralpinen Mesozoikums
Die Bedeutung ihrer Geologie, Stratigraphie und Faziesgebundenheit
für Prospektion und Bewertung**

Von IMMO CERNY*)

Mit 49 Abbildungen und 16 Tabellen

Pb-Zn-Lagerstätten
Faziesgebundene Lagerstätten
Alpines Mesozoikum
Außeralpines Mesozoikum
Stratigraphie
Genese
Geochemie
Vererzung
Prospektion

Inhalt

Zusammenfassung	7
Abstract	7
1. Einleitung und Zielsetzung	7
2. Allgemeine genetische Gliederung der Pb-Zn-Lagerstätten	8
2.1. Submarin-exhalative Lagerstätten	8
2.2. SEDEX-Lagerstätten	10
2.3. Karbonatgebundene Pb-Zn-Lagerstätten	10
2.3.1. Untergliederung karbonatgebundener Pb-Zn-Lagerstätten mit Lagerstättenbeispielen	11
2.3.1.1. Die Pb-Zn-Lagerstätten des „Viburnum-Trend“ und „Old-Lead-Belt“	11
2.3.1.1.1. Die Pb-Zn-Lagerstätte Gays River, Nova Scotia, Canada	14
2.3.1.2. Die Lagerstättenprovinz im Südwesten Sardiniens	14
2.3.1.3. Die Pb-Zn-(Ba,Cu)-Lagerstätten im Karbon von Irland	19
2.3.1.4. Die karbonatgebundenen Pb-Zn-Lagerstätten in den Anden	19
3. Die karbonatgebundenen Pb-Zn-Lagerstätten im Mesozoikum Europas und Nordafrikas	20
3. 1. Die Buntmetallvererzungen der Germanischen Trias	22
3. 2. Pb-Zn-(Ba,F)-Vorkommen in den Zentralalpen der Schweiz	24
3. 3. Die schichtgebundenen Pb-Zn-Lagerstätten der Trias Jugoslawiens	25
3.3.1. Alpine Erzprovinz	25
3.3.1.1. Beispiel der alpinen Erzprovinz: Die Pb-Zn-Lagerstätte Mežica und Topla	25
3.3.2. Dinarische Erzprovinz	26
3.3.3. Serbisch-Mazedonische Erzprovinz	26
3.3.4. Ostserbische bzw. Karpatisch-Balkanische Erzprovinz	27
3. 4. Pb-Zn-Vererzungen in der Trias der Südalpen (Italien)	27
3.4.1. Paläogeographie und Metallogenese	27
3.4.2. Die Pb-Zn-F-Erzprovinz Gorno	29
3.4.3. Die Pb-Zn-Erzprovinz Salafosso und Auronzo	29
3.4.4. Die Pb-Zn-Erzprovinz Raibl	32
3. 5. Pb-Zn-Vorkommen in den Westkarpaten (ČSSR)	34
3. 6. Pb-Zn-(Cu)-Vererzungen im NW-Balkan (Bulgarien)	34
3. 7. Die schichtgebundenen Zn-Pb-Lagerstätten Oberschlesiens (Polen)	35
3. 8. Zn-(Pb)-Vererzungen am Südrand des französischen Zentralmassivs	36
3. 9. Pb-Zn-F-Mineralisationen in Südspanien	39
3.10. Pb-Zn-Lagerstätten im Atlas-Orogen (Nord-Afrika)	39
3.10.1. Marokko	40
3.10.2. Algerien	40
3.10.3. Tunesien	40

*) Anschrift des Verfassers: Dr. IMMO CERNY, Geologische Abteilung der Bleiberger Bergwerks-Union, Postfach 20, A-9530 Bleiberg.

4. Metallogenese der mesozoischen Pb-Zn-Lagerstätten der Ostalpen	46
4.1. Grundlagen der Pb-Zn-Metallogenese in Karbonatgesteinen	46
4.2. Rezente Lagerstättengrenzen	47
4.3. Das Periadriatische Lineament als möglicher Erzspender	48
5. Mesozoische Pb-Zn-Vorkommen in den Ostalpen	49
5.1. Verteilung der Pb-Zn-Vorkommen	49
5.2. Genetische Vorstellungen	51
5.2.1. Mesozoische, karbonatgebundene Pb-Zn-Lagerstätten und ihre mögliche Beziehung zu Rifting und Plattentektonik	53
5.2.2. Isotopenuntersuchungen als Hilfsmittel für genetische Interpretationen	53
5.2.2.1. Bleiisotope	53
5.2.2.2. Schwefelisotope	55
5.2.2.3. Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope	55
5.2.2.4. Strontium-Isotope	55
5.2.3. Geochemische Untersuchungen als Hilfsmittel für die genetische Interpretation	55
5.2.3.1. Geochemie der Erzminerale	55
5.2.3.2. Geochemie der Gangarten	57
5.2.3.2.1. Flußspat	58
5.2.3.2.2. Schwerspat	58
5.2.3.3. Geochemie der Karbonatgesteine	58
5.2.3.3.1. Mangan und Eisen	58
5.2.3.3.2. Strontium	59
5.2.3.4. Geochemie der Klastika	60
5.2.3.5. Gesteinsgeochemie der Triasabfolge im Raum Bleiberg-Kreuth	61
5.2.4. Dolomitisierung und Zn-Pb-Mineralisation	62
5.2.5. Genetische Modellvorstellung	66
5.3. Stratigraphie und Fazies der Pb-Zn-Vorkommen in den Ostalpen	67
5.3.1. Der Alpine Muschelkalk als Pb-Zn-Erzträger	67
5.3.1.1. Lithostratigraphie der anisischen Stufe	67
5.3.1.2. Fazielle und stratigraphische Stellung der Vererzungen im Anis der Ostalpen	67
5.3.1.3. Metallverteilung	68
5.3.1.4. Genetische Aspekte	70
5.3.1.5. Die Pb-Zn-Vererzungen der anisischen Stufe in den Draukalkalpen	70
5.3.1.5.1. Vererzungen in den Karawanken	70
5.3.1.5.2. Vererzungen in den Gailtaler Alpen	71
5.3.1.5.2.1. Kellerberg	72
5.3.1.5.2.2. Aichach bei Stockenboi	72
5.3.1.5.2.3. Bergbau Bleiriese und Spitznöckl	73
5.3.1.5.2.4. Pöllan/Graschenitzen bei Paternion	73
5.3.1.5.2.5. Bergbau Bleiwände – Steinfeld/Drautal	73
5.3.1.5.2.6. Bergbau Kolm bei Dellach/Drautal	74
5.3.1.6. Beispiel von anisischen Pb-Zn-Vorkommen in den Nördlichen Kalkalpen	75
5.3.1.6.1. Annaberg und Schwarzenberg (NÖ)	75
5.3.1.6.2. Das Pb-Zn-(Cu)-Vorkommen am Arikogel (Hallstättersee/Salzkammergut)	76
5.3.1.7. Beispiel anischer Pb-Zn-Vorkommen in den Nordtiroler Kalkalpen	77
5.3.1.7.1. Der Bergbau St. Veit im Tegestal	77
5.3.2. Der Wettersteinkalk(-dolomit) als Pb-Zn-Erzträger	81
5.3.2.1. Stratigraphie des Wettersteinkalkes	82
5.3.2.2. Faziestypen und Bildungsmilieu der „Sonderfazies“	83
5.3.2.3. Diagenese der Sonderfazies	84
5.3.2.4. Biostratigraphie der erzführenden Abfolge	84
5.3.2.5. Regionale Verteilung der „Sonderfazies“	84
5.3.2.6. Paläogeographie und Paläotektonik des Wettersteinkalkes	86
5.3.2.7. Entwicklung der alpin-mediterranen Triasfazies	86
5.3.2.8. Pb-Zn-Vorkommen der Draukalkalpen	87
5.3.2.8.1. Pb-Zn-Bergbau Radnig bei Hermagor	87
5.3.2.8.2. Pb-Zn-Erzvorkommen auf der Jauken	88
5.3.2.8.3. Pb-Zn-Bergbau Windisch-Bleiberg	89
5.3.2.8.4. Pb-Zn-Vererzungen im Bereich des Hochobir	90
5.3.2.9. Die Pb-Zn-Vorkommen der Nordtiroler Kalkalpen	91
5.3.2.9.1. Genetische Aspekte	91
5.3.2.9.2. Wirtschaftliche Aspekte	91
5.3.2.9.3. Die Lagerstätte Lafatsch im Karwendelgebirge/Tirol	93
5.3.2.9.4. Die Vererzungen im Revier Vomperloch	95
5.3.2.9.5. Weitere Erzvorkommen im Karwendel	96
5.3.2.9.6. Die Vererzungen im Revier Nassereith (West)	96
5.3.2.9.7. Der Zinkerzbergbau St. Anton am Arlberg	96
5.3.2.9.8. Der Pb-Zn-Bergbau Rauschberg (Bayerische Alpen)	98
5.3.3. Die Raibler (Cardita-)Schichten als Pb-Zn-Erzträger	98
5.3.3.1. Stratigraphie und Fazies der Raibler Schichten im Drauzug	98
5.3.3.2. Pb-Zn-Erzführung in den Raibler Schichten	100
5.3.3.3. Pb-Zn-(Ba)-Vererzungen in den hangenden Raibler Schichten	101
5.3.3.4. Die Bergbaue am Mitterberg – Tschökelnock – Förolach	102
5.3.3.5. Das Erzvorkommen im Pirkner (Pirkach-)Graben bei Oberdrauburg	103

6. Die Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth	104
6.1. Geologisch-tektonischer Überblick	104
6.2. Mineralogischer Überblick	107
6.3. Paläogeographie und Fazies	109
6.4. Stratigraphie und Form der Pb-Zn-Vererzungen	109
6.5. Lagerstättenkundliche Erkenntnisse der letzten zehn Jahre	110
7. Strategie der Aufsuchung von Pb-Zn-Erzen im alpinen Raum	113
7.1. Allgemeines	113
7.2. Sedimentologie und Gesteinsgeochemie – Indikatoren für Pb-Zn-Erzführungen	114
7.3. Erzgeochemie – Indikatoren für die Explorationswürdigkeit	116
7.4. Geophysikalische Messungen als untertägige Explorationshilfe	116
Dank	119
Literatur	119

Zusammenfassung

Gegenüber vulkanogen-sedimentären bzw. exhalativen Buntmetall-Lagerstätten sind karbonatgebundene Lagerstätten durch ihre unregelmäßige Geometrie gekennzeichnet und somit bei weitem schwieriger zu prospektieren und zu explorieren.

Im Mesozoikum, insbesondere in der Trias des europäischen Raumes, treten großräumig Karbonatsedimente auf, in denen vielerorts Pb-Zn-Vererzungen vorkommen – einerseits sind es Karbonatsedimente des epikontinentalen Raumes (z.B. Oberschlesien, Balkan, Germanische Triasentwicklung S-Deutschlands), andererseits des geosynklinalen Raumes der Ost- und Südalpen (z.B. Draukalkalpen, Nordtiroler Kalkalpen, Südalpen). Im Atlas-Orogen sind Pb-Zn-Erze sowohl an epikontinentale als auch an geosynklinale Faziesräume geknüpft.

Ausschlaggebend für das Auftreten von Pb-Zn-Vererzungen sind strukturelle Voraussetzungen im Sedimentationsraum und isoliert auftretende Faziesbedingungen. Großräumige geologisch-tektonische Strukturen, wie z.B. die alpin-dinarische Naht, sind maßgebend für die Wegsamkeit von metallhaltigen Lösungen; die Fazies wirkt kontrollierend auf die Abscheidung und Bindung von Erzen – ein besonderer Wert wird diagenetischen Prozessen zugeschrieben, die für die Konzentration von Erzen verantwortlich erscheinen.

Die moderne Prospektion und Exploration auf Pb-Zn-Erze verlangt die integrierte Anwendung von geologisch-tektonischen, stratigraphischen, sedimentologischen, geochemischen und isotopischen Arbeitweisen.

Abstract

In contrast to volcanogenic-sedimentary or exhalative non-ferrous deposits, carbonate-bound Pb-Zn deposits are characterized by their irregular geometry and are thus considerably more difficult to prospect and to explore.

In the Mesozoic, in particular in the Triassic rocks of Europe, carbonate sediments occur extensively, in many of which Pb-Zn ores are found; on the one hand these are the carbonate sediments of the epicontinental area (e.g. in Upper Silesia, the Balkan peninsula, the Germanic Triassic developments in Southern Germany), on the other hand the geosynclinal region of the Eastern and Southern Alps (e.g. the Calcareous Alps of the Drau region, the Calcareous Alps of northern Tyrol, the Southern Alps). In the Atlas mountains, Pb-Zn ores are found in both epicontinental and geosynclinal facies areas.

The existence of deposits of Pb-Zn ores depends decisively on the structural conditions in the area of sedimentation and facies conditions occurring in isolation. Extensive geologic-tectonic structures, such as the Alpine-Dinaric Lineament, play a decisive role in the flow of liquids containing metals in solution; the facies has a controlling effect on the deposition and binding of the ores – an important role is ascribed to diagenetic processes, which appear to be responsible for the concentration of ores.

Modern prospecting and exploration for Pb-Zn ores requires the integrated application of geologic-tectonic, stratigraphic, sedimentological, geochemical and isotopic working methods.

1. Einleitung und Zielsetzung

Das Auftreten von Blei-Zinklagerstätten in Sedimenten ist von der Evolution der Erdkruste abhängig.

Aus Gesteinen präkambrischen bis archäischen Alters sind ausschließlich vulkanogen-exhalative Vorkommen bekannt. Seit dem mittleren Proterozoikum treten neue Lagerstättentypen, verbunden mit großen Erzkonzentrationen in marinen und kontinentalen Sedimentgesteinssabfolgen mit Buntmetallen, auf: stratiforme Pb-Zn-(Ag,Cu)Lagerstätten in Tongesteinen und schichtgebunden Pb-Zn-Lagerstätten in Karbonatgesteinen. Der letztere Typ tritt verstärkt im Phanerozoikum auf, wobei der Metallinhalt meist aus unterlagernden sedimentären Abfolgen abstammt und in den meisten Fällen ein deutlicher Hinweis auf hochsalinare Formationswässer vorliegt.

Die Konzentration der Pb-Zn-Metalle im sedimentären Bereich scheint nicht nur von einer Änderung in der Sedimentation abhängig.

Synchron mit der Bildung von Sedimentgesteinen setzten biologische Aktivitäten ein, insbesondere solche sulfatreduzierender Bakterien, die dazu beitrugen, daß Buntmetallkonzentrationen im sedimentären Milieu platzgreifen konnten.

Im Proterozoikum haben sich auf engstem Raum massive Metallkonzentrationen, vorwiegend in klastischen Sedimenten, durch hydrothermale Prozesse gebildet. Mit der Entwicklung von Formationswässern, etwa seit dem Kambrium, reicherten sich Blei und Zink auch in tiefthermalen Prozessen an, wobei es zu einer weitgehenden Abtrennung von Kupfer und Silber kommen konnte.

Die Metallanreicherungen fallen z. T. in den Bereich der Diagenese und müssen nicht unbedingt mit magmatogenen Prozessen in Verbindung gebracht werden. Verwitterungsprozesse tragen mancherorts zur Vorkonzentration in Sedimenten bei.

Im frühen Präkambrium sind nur vulkanogen-sedimentäre („Sedex“) Vererzungen bekannt, die vorwiegend an Pyroklastika und Klastika gebunden sind.

Die primitive ozeanische Kruste war arm an Blei, so daß Kupfer- und Kupfer-Zink-betonte Lagerstätten überwogen haben. Diese Zusammensetzung finden wir auch heute (SCHROLL, 1985; TUFAR et al., 1986) in rezenten ozeanischen Rifting-Systemen.

Bleireiche Vererzungen treten nach SCHROLL (1985) erst mit der weiteren Entwicklung der Sedimenthülle im Proterozoikum, etwa ab 2000 Ma auf. In dieser Zeitepoche bilden sich die ersten Evaporitsedimente und sulfatreduzierende Bakterien werden wirksam.

Mit dem verstärkten Auftreten von Karbonatgesteinablagerungen im Paläozoikum (600–200 Ma) und Mesozoikum werden bedeutende Metallinhalte an „neue Lagerstättentypen“ gebunden.

Diese Vererzungen erreichen nicht mehr die Intensität des Präkambriums; der Metallreichtum verteilt sich auf größere Flächen. Die postkambrischen, karbonatgebundenen Vererzungen zeichnen sich oft durch eine extreme Abtrennung von Eisen, Silber und Kupfer aus. Der Eisengehalt der Vererzungen wird mit dem des Nebengesteins vergleichbar.

Die Mineralisationsprozesse im karbonatischen Milieu reichen von syngenetischen Absätzen (Erzschlämme) bis zu Umlagerungen, die durch spätdiagenetische bis epigenetische Prozesse verursacht wurden.

Die Zuordnung der vulkanogenen exhalativen Lagerstättenbildungen zu großtektonischen (plattentektonischen) Ereignissen ist meist eindeutig festzustellen.

In „Sedex“ Lagerstätten ist die Zuordnung zu tektonischen Ereignissen schwieriger, wenn auch viele die-

ser Lagerstätten an paläogeographische Strukturen gebunden sind.

Die karbonatgebundenen Pb-Zn Lagerstätten lassen eine solche Zuordnung kaum bis gar nicht mehr erkennen. Sie sind mehr oder minder Abbild tektonischer Ereignisse. Diese Ereignisse sind mit der Herausbildung von Faziesräumen in Zusammenhang zu bringen, in denen geologische Fallen für die Platznahme von Erzen vorhanden waren. Diagenetische bis epigenetische Prozesse (Mobilisation, mechanische Erzumlagerung etc.) trugen wesentlich zur Konzentration der Erze im karbonatischen Milieu bei.

Die heute überschaubare Erdkruste birgt nach CROWSON (1986) prognostische Erzvorräte von rd. 4 Mrd. t Zinkerzen und 1,4 Mrd. t Bleierzen. Daraus sind 169 Mio. t Zinkmetall und 96 Mio. t Bleimetall derzeit wirtschaftlich als gewinnbar anzusehen. Diese Metallmengen reichen aus, den Weltbedarf auf 30–35 Jahre zu decken.

Das Pb/Zn-Rohstoffpotential der Ostalpen dürfte 10–15 Mio. t Erz betragen. Ein Metallinhalt von rd. 0,2 Mio. t gilt zum heutigen Zeitpunkt als gewinnbar.

Die tektonisch-stratigraphischen und faziellen Besonderheiten der alpinen karbonatgebundenen Pb/Zn-Lagerstätten und die daraus resultierende Schwierigkeit, Erze bauwürdiger Qualität aufzufinden, veranlaßte den Autor, den Wissensstand über alpine, mesozoische Vorkommen aufzuzeigen und den Versuch anzustellen, die alpinen Vorkommen mit außeralpinen karbonatgebundenen Lagerstätten vergleichend zu erörtern.

2. Allgemeine genetische Gliederung der Pb-Zn-Lagerstätten

JANKOVIC (1967) teilte die Pb-Zn-Lagerstätten wie folgt ein:

- Skarnlagerstätten.
- Hydrothermal-lagerstätten in Silikatgesteinen.
- Metasomatische Lagerstätten in Karbonatgesteinen:
 - Lagerstätten mit Erzkörpern unregelmäßiger Form;
 - Schichtförmige Lagerstätten.
- Ganglagerstätten.
- Erzkörper in Schiefern und tuffig-effusiven Gesteinen.
- Sedimentäre Lagerstätten.

Diese vor 20 Jahren aufgestellte Lagerstättengliederung umfaßte eine Verquickung von Erzkörpermorphologie, Lithofazies und Genese. Durch die Erkenntnisse der modernen Lagerstättenforschung lassen sich heute Lagerstättentypen sehr viel einfacher erklären. Gestützt durch integrierte geowissenschaftliche Arbeitsweisen in Gebieten rezenter, submariner Erzanreicherungen sind Analogien für Lagerstättentypen bis zurück in das Archaikum zulässig geworden.

Wie aus einleitenden Bemerkungen hervorgeht, ist die Bildung von Erzlagerstätten und insbesondere die von Pb-Zn-Lagerstätten von der Evolution der Erdkruste abhängig, so daß eine generelle Gliederung in

- Submarin-exhalative (vulkanogen-exhalative) Pb-Zn-Lagerstätten,
- Sedimentgebundene submarin-exhalative Pb-Zn-Lagerstätten,
- Karbonatgebundene Pb-Zn-Lagerstätten sinnvoll erscheint.

Tab. 1 zeigt eine Zusammenschau dieser Gliederung. Ganglagerstätten wurden in die Gliederung nicht mit-einbezogen. Sie können in vielen Fällen den genannten Lagerstättengruppen zugeordnet werden.

2.1. Submarin-exhalative Lagerstätten

Submarin-exhalative Lagerstätten wurden und werden auch rezent gebildet, wenn metallführende Lösungen aus dem Untergrund des Meeresbodens in das Meerwasser ausströmen (SCHNEIDERHÖHN, 1944; FINLOW-BATES, 1980, LARGE, 1980).

FINLOW-BATES (1980), LARGE (1980), KLAU & LARGE (1980) fassen den heutigen Wissensstand über die Voraussetzungen und die Bildungsweise dieses Lagerstättentyps folgendermaßen zusammen: Die Wirtsge-

Tabelle 1.
Gliederung der Pb-Zn-Lagerstätten.

I. Submarin-exhalative Lagerstätten (Gliederung nach KLAU & DUNCAN, E. LARGE, 1980)					
	Mafische Vulkanite		Felsische Vulkanite		
Trägergestein	Ophiolite	Tholeiitische Basalte und felsische Vulkanite	Kalkkalische Basalte, Andesite und Rhyolithe	Bimodale Basalte und Rhyolithe	Grüngesteinsgürtel
Tektonische Stellung	Accretionary plate margin or back arc basin"	„Immature oceanic island arc“	Mature island arc	Volcanic rift in sialic crust	Archaeon rift zones
Typische Mineralisation	Cu(-Zn)-Au	Zn/Cu; Cu/Zn	Zn-Pb-Cu-Ag-Au(-Ba)	Zn-Pb-Cu (Ag-Sn)	Zn-Cu-Au(-Pb)
Beispiele	Cypern Oman Bells Cove Appenninen Ergani Maden	Løkken Skorovas Joma Alpine Kieslager Besshi	Kuroko Fiji Rosebery Avoca Buchans	Bathurst – Newcastle Iberischer Pyritgürtel Captains „Flat Woodlawn“ Shellefti-Vihanti	Noranda Flin Flon Mattiagami Mons Cupri
II. Sedimentgebundene, submarin-exhalative Pb-Zn(-Ba-Cu)-Lagerstätten					
Trägergestein	Klastische Sedimente (z.T. kartbonatisch), Vulkanite, Bachsedimente				
Tektonische Stellung	Rifting-Systeme, tiefgreifende Geosuturen				
Typische Mineralisation	Zn, Pb, Ba (Cu)				
Beispiele	Rammelsberg – Devon – Zn, Pb, Ba, Cu Meggen – Devon – Zn, Pb, Ba Silvermines – Karbon – Zn, Pb, Ba Tynagh – Devon, Karbon – Zn, Pb, Ba Mount Isa – 1,5 Mrd. Jahre – Zn, Pb, Cu Mc Arthur River – 1,5 Mrd. Jahre – Zn, Pb Sullivan – 1,45 Mrd. Jahre – Zn, Pb (Sn) Tom – Devon, Karbon – Zn, Pb, Ba Gamsberg Proterozoikum – Zn, Pb, Ba Grazer Paläozoikum – Silur, Unterdevon – Zn, Pb, Ba				
III. Karbonatgebundene Pb-Zn-Lagerstätten					
Trägergestein	Karbonate (Dolomite, Kalke), flachmarine Bildungen				
Tektonische Stellung	Intrakraton (Epiplattform), passive Kontinentalränder (geosynkinal)				
Typische Mineralisation	Pb, Zn, F, Ba (selten Cu, Co, Ni)				
Beispiele	Mississippi Valley Type	Viburnum Trend (Kambrium–Ordovizium) Sardinien (Kambrium–Ordovizium) Polen (Anis)			
	Irish Type	Tynagh (Karbon) Navan (Karbon)			
	Alpiner Typ	Bleiberg-Kreuth (Trias; Ladin–Karn) Raibl (Trias; Ladin–Karn) Mesića (Trias; Ladin–Karn)			

) Was bedeutet das Sternder!) bei Tynagh?

steine der submarin-exhalativen Buntmetalllagerstätten lassen eine Klassifikation in vier Gruppen zu:

- An saure Vulkanite gebundene Lagerstätten in archaischen „Greenstone-Belts“.
- An saure Vulkanite gebundene Lagerstätten in post-archaischen, kalk-alkalischen und tholeiitischen Gesteinsverbänden.
- An mafische Vulkanite gebundene Lagerstätten.
- An Sedimente gebundene Lagerstätten.

Aus plattentektonischer Sicht kann die Bildung submarin-exhalativer Buntmetalllagerstätten folgendermaßen vor sich gehen:

- Lagerstättenbildung auf passiven Kontinentalrändern.
- Lagerstättenbildung auf Akkretionskeilen.
- Lagerstättenbildung auf destruktiven Plattenrändern.
- Lagerstättenbildung in marginalen Becken (back-arcs).

Pb-Zn-Lagerstätten, die mit submarin-exhalativ felschem und mafischem Vulkanismus in Zusammenhang stehen, werden von KLAU & LARGE (1980) folgend charakterisiert:

- Massive schichtgebundene Sulfiderze (Pyrit, Zinkblende, Bleiglanz, Kupferkies) in wechselnder stofflicher Zusammensetzung.
- Im Liegenden der Vererzung oftmals diskordante Vererzungen (Gänge, disseminierte Erze, Stockwerkerze) mit unterschiedlicher Vererzungsintensität.
- Magnesium-Metasomatose (Alteration) im Liegenden des Erzlagers häufig (innere Chlorit-, äußere Serizit-Zone). Alterationszonen mit quergreifenden Vererzungen (zylindrische oder konische Formen) bis mehrere hundert Meter unter die Lagerstätte reichend.
- Die schichtigen massiven Sulfide über der Alterationszone sind meist brecciert, im Hangenden und marginalen Bereich des Erzkörpers treten meist gebänderte und laminierte Erze auf.
- Zonarer Aufbau des Erzkörpers, Kupfer-betonte Erze im Liegenden, gegen das Hangende Abfolge von Cu-Zn-Pb-Ba Paragenesen.
- Eisenmineralisationen (Pyrit und Hämatit), z. T. Mangan und Schiefer überlagern meist den Erzkör-

per und sind lateral über weite Erstreckungen vorhanden.

- Zuordnung der Erze zu rhyolithischen Vulkaniten (Brecien und Agglomerate); Vulkanite treten meist im Liegenden der Erze auf, karbonatische Schiefer sind meist im Hangenden der Erze mit marginalen Übergängen vorhanden.
- Größe der Erzvorkommen ist variabel (10^5 – 10^7 t Erz), bei Metallgehalten von 5–6 % Cu-Zn-Pb.
- Es besteht keine Abhängigkeit zwischen Erzgehalt und Größe der Lagerstätte.

2.2. Sedex-Lagerstätten

Sedimentgebunden submarin-exhalative („SEDEX“-) Lagerstätten werden von LARGE (1980) folgendermaßen charakterisiert:

- Schichtkonkordante feinkörnige Erze, die am Meeresboden abgelagert werden.
- Geringfügige Ausbildung von Stockwerksvererzungen im Liegenden.
- Laterale Cu-Pb-Zn- oder vertikale Cu-Zn-Pb-Zonierung. Die Zonierung wird durch rasche Abkühlung der hydrothermalen Lösungen bei der Reaktion mit Meerwasser bewirkt.
- Vorhandensein von Becken erster Ordnung (>100 km Längserstreckung), Becken zweiter Ordnung (>10 km Erstreckung), die durch synsedimentäre vertikale Tektonik gebildet wurden.
- Lineamente- und Hinge-Zonen an den Rändern der Becken (1. und 2. Ordnung), die während der Sedimentation aktiv waren.
- Vulkanismus zeitgleich mit der Vererzung. Vulkanismus ist durch Tuffitlagen oder Intrusiva gekennzeichnet.
- Lokale Becken dritter Ordnung (>100 m Längserstreckung), in denen euxinische Bedingungen und niedrige Energie herrschten.
- Syngenetische Störungen an den Rändern der Becken dritter Ordnung.
- Gleichzeitige Ablagerung von stratiformen hydrothermalen Kieselgesteinen.
- Markante Elementzonierung (Ba-Pb-Zn) innerhalb der Lagerstätte.
- In manchen Fällen Alteration, meist Silifizierung der liegenden Sedimente.
- Homogene Pb-Isotope.
- S-Isotope für PbS und ZnS deuten sowohl auf tiefliegende hydrothermale Quellen als auch auf biogen reduzierte Meerwasser-Sulfat-Quellen (Pyrit-Schwertel) hin.

2.3. Karbonatgebundene Pb-Zn-Lagerstätten

Die weitgespannte Gruppe von karbonatgebundenen, sulfidischen Pb-Zn-Lagerstätten lässt sich nach SAWKINS (1984) weltweit in drei Lagerstättentypen gliedern:

- Mississippi Valley type (Metallinhalt >200 Mio. t).
- Alpiner Lagerstättentypus (Metallinhalt >10 Mio. t).
- Irish type (Metallinhalt >50 Mio. t).

Die genannten Lagerstätten treten ab dem Kambrium in Karbonatgesteinen auf. Ihr Auftreten kann in den seltensten Fällen mit plattentektonischen Prozessen, Magmatismus und Rifting-Systemen direkt in Zusammenhang gebracht werden. Die Lagerstätten liegen in Sedimentabfolgen, die im paläogeographischen Sinn passiven Kontinentalrändern (Schelf-Areale) einerseits oder interkratonen Arealen andererseits zuzuordnen sind.

Eigenheit der karbonatgebundenen Pb-Zn-Lagerstätten ist, daß Form und Inhalt der Erzkörper großen Variationen unterliegen Abb. 2 zeigt schematisch die Möglichkeiten des Auftretens von Pb-Zn-Vererzungen in Karbonaten (nach SAWKINS, 1984). Die genannten Variationen sind es, die heute noch die Auffindung und z. T. die wirtschaftliche Ausbeutung ungemein schwierig gestalten. Wie aus Abb. 1 hervorgeht, erstrecken sich karbonatgebundene Pb-Zn-Großlagerstätten heute zwischen dem 30. und 50. Breitengrad. Ihre Hauptverbreitung liegt im nordamerikanischen, europäischen (mediterranen) und nordafrikanischen Raum.

Die angeführte Dreigliederung der Lagerstätten wird, ohne mineralogenetische Gesichtspunkte zu berücksichtigen, wie folgt in Stichworten beschrieben:

Mississippi Valley Type

- Bildung an Plattformrändern oder epikontinentalen Randmeeren, die ± direkt über kristallinem Untergrund liegen.
Beispiele: Missouri (Old Lead Belt, Viburnum trend [100 Mio.t Pb-Zn Metallinhalt]), Tristate, Joplin, Tennessee, SW Wisconsin; Pine Point (NW Territories), Krakau-silesische Zone, Nord-Afrika, Sardinien.
- Tieftemperaturbildungen.
- Epigenetische Bildungsweise.
- Unregelmäßige Pb : Zn-Verhältnisse: >10 , <1 .
- z. T. hohe Gehalte an Cu, Co, Ni, Ag.
- z. T. hohe F- und Ba-Gehalte.
- Salinare Connate Wässer stammen aus benachbarten Becken und bilden den Hauptanteil erzbringender Lösungen.
- Bleiisotopenverhältnisse „J“-(Joplin-)Typ.
- Metallausfällung in Paläokarst-Strukturen oder Störungszonen, Riffen, Collaps Breccien (Hohlräumbildungen, die für groß angelegte Metall-Lösungsbewegungen prädestiniert sind).
- Zusammenhang mit rifting wird örtlich vermutet, z. B. 38th Parallel Lineament (U. S. A.), das durch zahlreiche alkalisch- und mafisch-alkalische Zentren gekennzeichnet ist.

Alpiner Lagerstättentyp

- Bildung innerhalb geosynklinaler Sedimentationsräume.
Beispiele: Typus Bleiberg-Kreuth (Mezica, Raibl etc.)
- Tieftemperaturbildungen.
- Hoher Reinheitsgrad der Erze (Fehlen von: Cu, Co, Ni, Ag).
- Hohe F- bzw. Ba-Gehalte.
- Bleiisotopenverhältnisse „B“-(Bleiberg-)Typ
- Erzführung und Metallverteilung weitgehend von der Fazies kontrolliert.
- Überwiegen von sedimentären-diagenetischen Erztexturen („syndiagenetisch“).

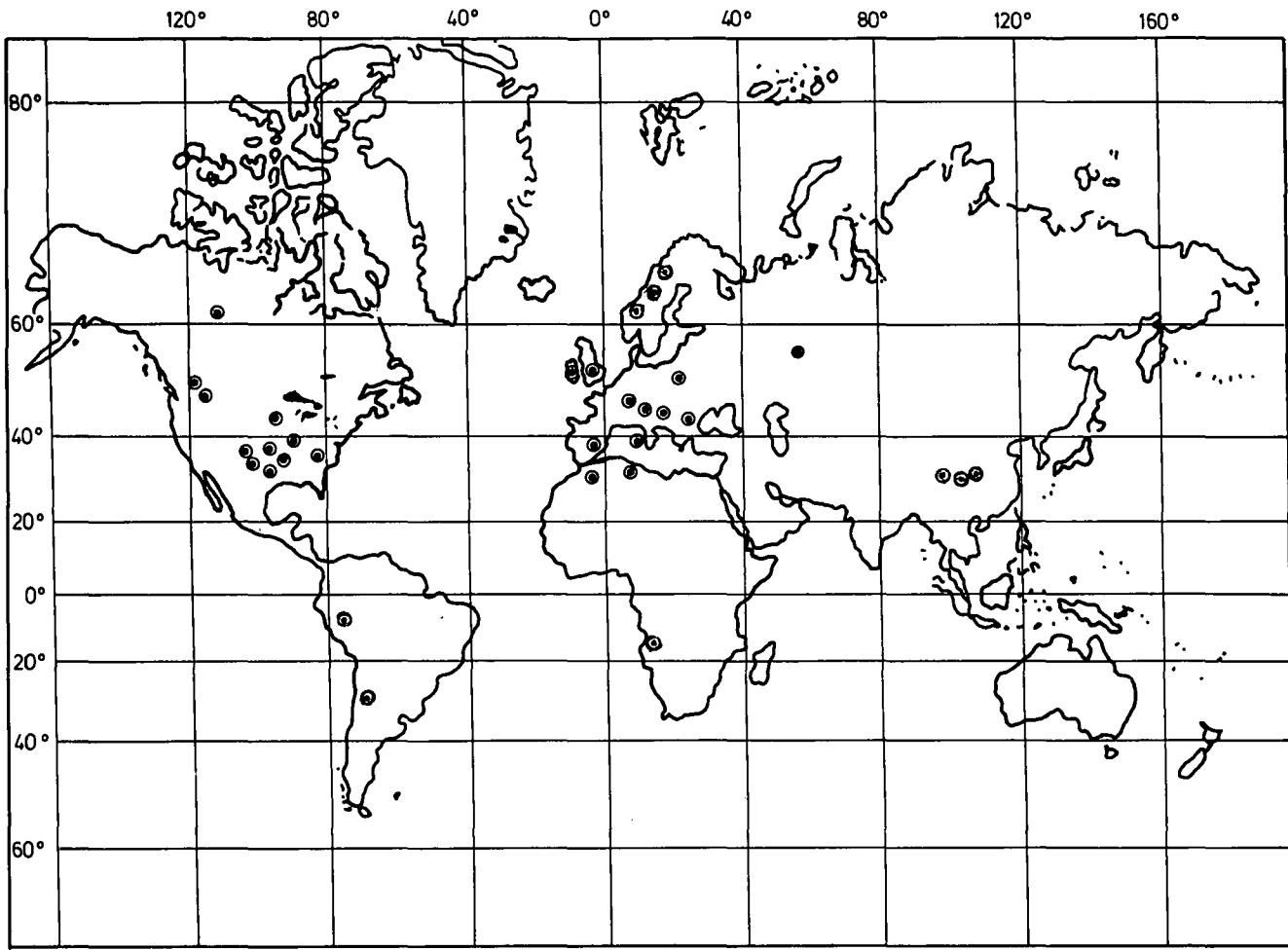


Abb. 1.
Hauptverbreitung karbonatgebundener Pb-Zn-Lagerstätten.
Ergänzt nach GUILBERT & PARK, 1986).
Vorkommen im afrikanischen und asiatischen Kontinent sind nur z.T. berücksichtigt.

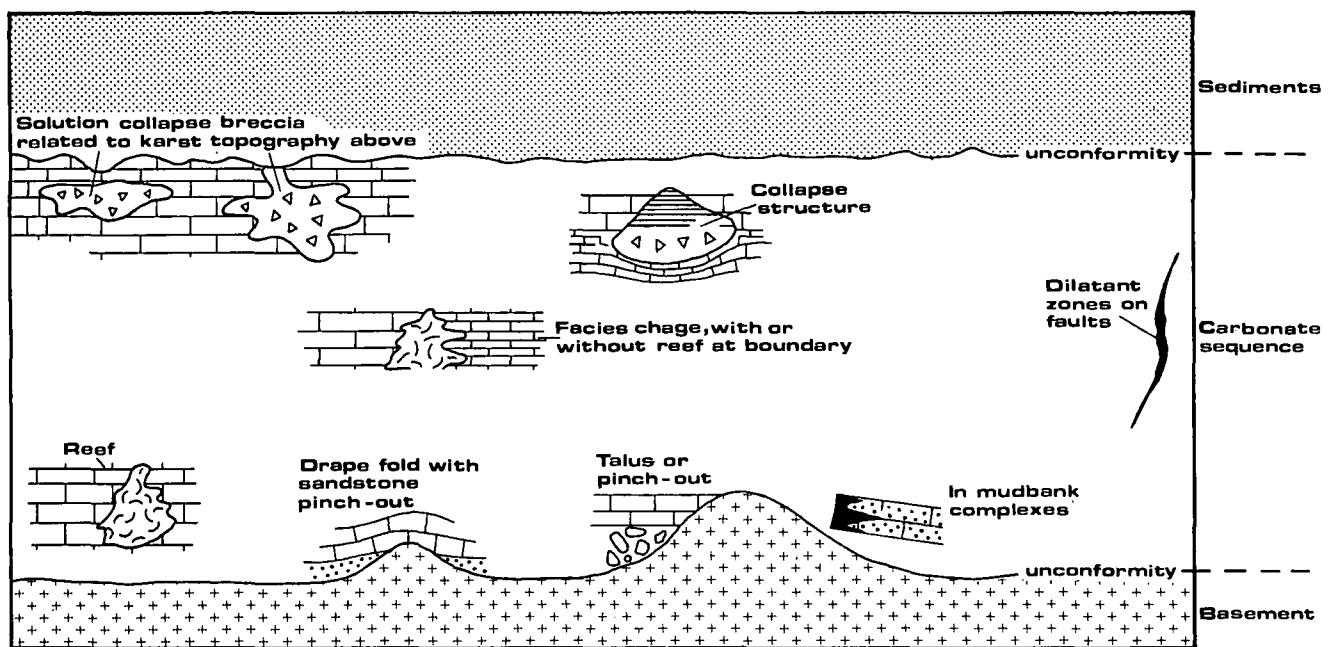


Abb. 2.
Möglichkeiten des Auftretens von Pb-Zn-Vererzungen in Karbonaten.
Nach SAWKINS (1984).

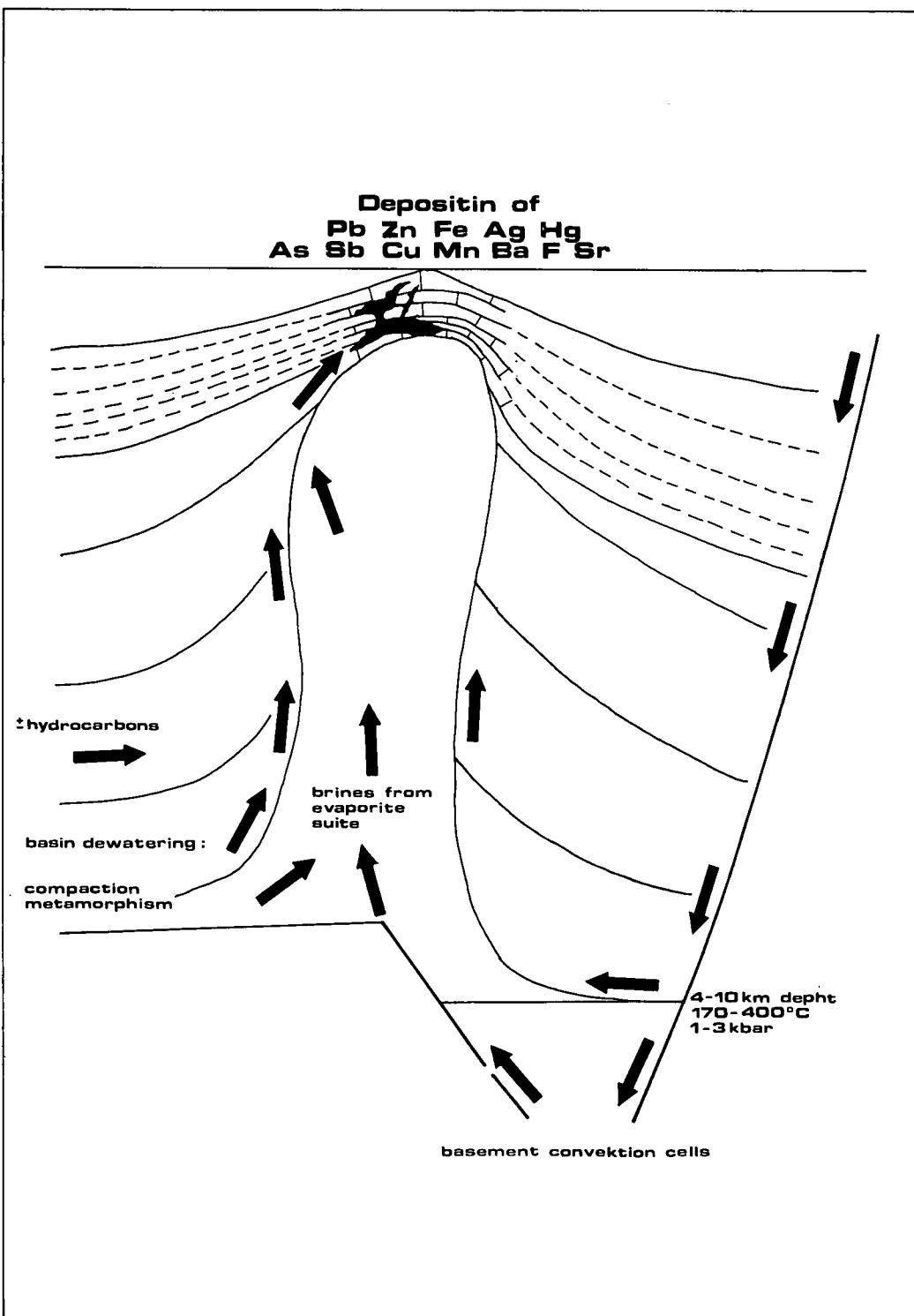
- Zusammenhang zwischen Vererzungsbildung und großtektonischen Ereignissen, die für die Herausbildung der Paläogeographie verantwortlich sind, wird vermutet („periadriatisches Lineament“).
- Hoher Reinheitsgrad bis komplexe Sulfiderze (Fe, Cu, Ba).
- Zusammenhang mit Riftingmechanismus.
- Hydrothermale Bildungsweise entlang geotektonischer Strukturen (synsedimentär bzw. syndiagenetisch).
- Genetische Stellung zwischen Mississippi Valley Type und „massiven Sulfiderzlagerstätten“.

Irish Type

- Bildung in differenzierten Flachwassersedimenten; durch Fazies und paläogeographische Strukturen geprägt.
- Beispiel: Navan, z. T. Tynagh.

Als weiterer Lagerstättentyp, in dem in den letzten Jahren besonders im nordafrikanischen Raum bemerkt wurde.

Abb. 3.
Modellvorstellungen für Diapir-Lagerstätten.
Nach POHL (1987).



kenswerte Metallkonzentrationen gefunden werden konnten, sind Diapir-Vererzungen in cape rock Karbonaten. Neben metasomatischen Sideritlagerstätten in cape-rocks (POHL et al., 1986 cit. in POHL, 1987) sind Beispiele von Pb, Zn, Fe, Ag, Hg und As, Sb, Cu, Mn, Ba, F, Sr bekannt geworden, wobei für den Pb-Zn-Sektor die neu erschlossenen Lagerstätte Bou Grine (Tunesien) beispielhaft ist.

Abb. 3 zeigt die Modellvorstellung für die Bildung von Diapir cape rock-Lagerstätten. Im Besonderen wird auf die Diapirlagerstätten in Kap. 3.10. (Pb-Zn-Lagerstätten im Atlas-Orogen) eingegangen.

2.3.1. Untergliederung karbonatgebundener Pb-Zn-Lagerstätten mit Lagerstättenbeispielen

Paläogeographie, Fazies und tektonische Strukturen werden heute als maßgebende kontrollierende Faktoren für die Bildung von sulfidischen Pb-Zn-Erzen angesehen. In nachstehender tabellarischer Aufstellung wird eine weitere Gliederung angeführt.

In Angleichung und Ergänzung zu AMSTUTZ & FONTBO-TE (1983) lassen sich karbonat- und schichtgebundene Pb-Zn-Vorkommen nach ihrer paläogeographischen Position in zwei Gruppen gliedern:

Typ A

Dieser Typus beinhaltet Lagerstätten, die an der Basis von transgressiven Sequenzen (oftmals an oder nahe der Transgressionsfläche über dem „basement“) liegen. Vornehmliches Auftreten nahe von Beckenrändern.

Beispiele: Lagerstätten der germanischen Triasentwicklung in Mittel- und Südeuropa.

Paragenesen mit zunehmend komplexem Aufbau (Pb, Zn, Cu, Ag, Ba, F).

Flachwassersediment mit ± hohem Anteil an klastischen Komponenten.

Gezeiten- und Lagunarfazies.

Dolomitvormacht.

± organische Substanz.

Algenmatten, evaporitisches Milieu.

Komplexe Veränderung von Erz- und Trägergestein durch diagenetische Prozesse.

Diagenetische Kristallisationsrhythmite, Breccien.

Erze sind eher bleibetont.

Typ B

Dieser Typ beinhaltet Lagerstätten, die in mächtigen Karbonatabfolgen weitab von Transgressionsflächen gelegen sind. Die Lagerstätten treten in Karbonatplattformen weit entfernt von Beckenrändern auf.

Beispiele: Typus Bleiberg und Lagerstätten in der Betischen Kordillere (Spanien).

Einfache Paragenesen (Bleiglanz, Zinkblende, Ba, F).

Flachwassersedimente.

Gezeiten- und Lagunarfazies.

Dolomitvormacht.

± organische Substanz.

Algenmatten, evaporitisches Milieu.

Komplexe Veränderung von Erz und Trägergestein durch diagenetische Prozesse.

Diagenetische Kristallisationsrhythmite, Breccien.

Erze sind eher zinkbetont.

Beispiele

Mississippi Valley (nahe präkambrischer Basis): Pb, Zn, Co, Ni, Cu.

Kupferschiefer (liegend): Komplexe Paragenesen

Pucará Becken (Peru): komplexe Erze an der Transgressionsbasis (Obertrias).

Anisvererzungen in den Ostalpen (z. B. St. Veith, Annaberg, Kolm/Dellach) mit erhöhten Cu-, Ag-Gehalten.

Erze der Krakau-silesischen Zone, der germanischen Trias, des französischen Zentralplateau.

Tiefe stratigraphische Position der nordafrikanischen Lagerstätten des Atlas-Orogen (Marokko, Tunesien).

Upper Mississippi Valley (Tri-state): höhere stratigraphische Position (Karbon) – zunehmender Reinheitsgrad.

Kupferschiefer (hangend): zunehmender Reinheitsgrad.

Pucará Becken (Peru): zunehmender Reinheitsgrad in Karbonatplattformsedimenten des Lias.

Karnische Vererzungen in den Ostalpen (Typ Bleiberg) mit hoher Reinheitsgrad der Pb-Zn-Erzmineralien.

Erze der Betischen Kordillere (Spanien).

Hohe stratigraphische Position der nordafrikanischen Lagerstätten des Atlas-Orogen (Marokko, Tunesien).

Zur Verdeutlichung der obigen Gliederung karbonatgebundener Pb-Zn-Lagerstätten werden nachfolgend Beispiele von Großlagerstätten angeführt.

- Die Lagerstättenprovinz „Mississippi Valley“ (Missouri, U. S. A.) und weitere Beispiele aus dem amerikanischen Raum.
- Die Lagerstättenprovinz im Südwesten Sardiniens (Italien).
- Die Pb-Zn-Lagerstätten im Karbon von Irland.
- Die Pb-Zn-Lagerstätten im Pucará-Becken (Peru).

2.3.1.1. Die Pb-Zn-Lagerstätten des „Viburnum-Trend“ und des „Old Lead Belt“ (Mississippi Valley, Missouri)

Die Lagerstättenprovinz, die als „locus typicus“ des Mississippi Valley-Vererzungstyps in die Weltliteratur der Pb-Zn-Lagerstättenkunde eingegangen ist, ist im SW des Bundesstaates Missouri gelegen.

Die intensive Forschungstätigkeit amerikanischer Geowissenschaftler hat dazu geführt, daß heute welt-

weit versucht wird, karbonatgebundene Pb-Zn-Lagerstätten in genetischer Hinsicht dem genannten Typ zuzuordnen. Selbst die triadischen Pb-Zn-Lagerstätten der Ost- und Südalpen bleiben davon nicht verschont (KLAU & MOSTLER, 1983; SASSKUSZIEWIC, 1980). Erste zusammenfassende lagerstättenkundliche Bearbeitungen über die Erzlagerstätten im Mississippi Valley gehen auf SECRIST (1924) zurück.

Mit ca. 100 Mio. t Pb-Zn-Erzreserven ist der seit ca. 20 Jahren in Aufklärung und Abbau befindliche „Viburnum Trend“ (siehe Abb. 4) die produktivste Bleiprovinz der Welt (75 % der U. S. A. – 15 % der Weltbleiproduktion in den Jahren um 1975).

Der Viburnum Trend stellt nach SAWKINS (1984) eine ca. 100 km lange, N-S streichende Struktur der präkambrischen „St. Francois Mountain“ Hochzone dar.

Die Trägergesteine der Pb-Zn-Lagerstätten sind Kalkmikrite und Kalkarenite, Algenriffe der sogenannten Bonterre Formation (Kambrium). Die Algenriffe treten (vgl. Abb. 4) als Saumbildung entlang des Viburnum Trends auf. Die Unterlagerung der Bonterre Formation bilden Sandsteine (Lamotte Sandstein), die transgressiv über präkambrischen Vulkaniten und Metamorphiten liegen. Die Sulfiderze treten vorwiegend in Lösungsbreccien („solution collaps breccias“) innerhalb dolomitisierten Karlkarenite der oberen Bonterre Formation auf. Die Kalkarenite überlagern die Algenstromatolith-Riffe der unteren Bonterre Formation. Die Verteilung der Kollaps-Breccien lässt vermuten, daß sie einem Prielsystem in einem intertidalen Küstenbereich folgen. Die Ausmaße der mineralisierten Brecciensysteme erreichen Mächtigkeiten von 25 m und Breiten von 100 m und halten mehrere hundert Meter bis km an. Die Metallverteilung in den Breccienzonen ist unregelmäßig. Die Paragenesen sind komplex und lassen periodische Lösungsschübe erkennen. Die Erze sind bleibetont. Das Pb-Zn-Verhältnis reicht von 3 : 1 bis >10 : 1; z.T. hohe Kupfergehalte sowie Ni- und Co-Sulfide sind typisch (Abb. 5). Flüssigkeitseinschlüsse in Zinkblenden lassen erkennen, daß die Erzlösungen salinare brines waren. Die Temperaturen der mineralisierenden Lösungen betragen um 100°C. Schwefelisotopendaten zeigen, daß Schwefel und Metalle in ein und demselben Lösungsmedium (Erzlösungen) transportiert wurden. Schwefel war evaporitischer (Sulfat-)Schwefel.

2.3.1.1.1. Die Pb-Zn-Lagerstätte Gays River (Nova Scotia, Canada)

AKANDE & ZENTELLI (1983) beschreiben aus der Lagerstätte Gays River stratiforme Erzkörper, die mit störungsgebundenen Gangsystemen in Verbindung stehen. Die Erze treten in Riffkomplexen des Karbon (Mississippian) auf. Das Liegende bilden paläozoische Metasedimente, das Hangende mächtige Evaporite des Mississippian. AKANDE & ZENTELLI (1983) sehen drei Stadien der Mineralisation:

- Evaporitablagerung erfolgt vor dem Vererzungsvorgang und bedingt Dolomitisierung des Riffes; Markasit wird ausgeschieden.
- Ausfällung von Zinkblende, Bleiglanz, Kupferkies und Calcit im dolomitisierten Riffkomplex.
- Ausfällung von Flußpat, Calcit, Markasit, Pyrit und Selenit.

Aufgrund der Messungen von Homogenisierungstemperaturen an fluid inclusions läßt sich in den Mineralisationsstadien ein Temperaturgefälle erkennen:

Zinkblende: 215°C.
Erzcalcit: 173°C.
Calcit (post ore): 142°C.
Fluorit: 142°C.
Baryt: 137°C.

Die S-Isotopengehalte von Gips, Anhydrit und Baryt stimmen mit karbonem Meerwasser überein; Pb-Isotopendaten bezeugen, daß das Bleiangebot aus dem metamorphen Basement (Metasedimente) stammt. Die Metallzufuhr aus dem Untergrund erfolgte über „feeder zones“, die heute gangförmige Vererzungen darstellen. Die Ausbreitung metallhaltiger Lösungen im Riffkomplex erfolgte epigenetisch konkordant.

Für die genetische Interpretation sind tiefgreifende Zirkulationen von Brines im metamorphen Untergrund anzunehmen.

Weitere charakteristische Lagerstätten des Mississippi Valley-Typs treten im südöstlichen Missouri auf. Pb, Zn, Cu sind an Porenhohlräume von Riffen gebunden.

In den Appalachen tritt ZnS (PbS) in Hohlräumen von kalkig-dolomitischen Plattformkarbonaten (Ordovizium-Karbon) auf, wobei die primäre Porosität von Gezeitensedimenten für die Platznahme von Erzen maßgeblich erscheint.

MOSIER & BRISKEY (1983, cit. in AKANDE & ZENTELLI, 1983) geben eine Zusammenstellung von derzeit in Nordamerika bekannten Pb-Zn-Lagerstätten des Mississippi Valley-Typs (Erzhalt >1 Mio. t).

Vereinigte Staaten

- Austinville
- Central Missouri
- Central Tennessee
- East Tennessee
- Friedensville
- Kentucky – Illinois
- Metalline
- North Arkansas – Ozark
- Southeast Missouri
- Tri-State
- Upper Mississippi Valley

Canada

- Gayna R. – Godlin L.
- Monarch – Kicking House
- Nanisivik
- Newfoundland Zinc
- Pine Point
- Polaris – Eclipse
- Robb – Lake

Am europäischen Kontinent wird die Lagerstättenprovinz der oberschlesisch-silesischen Zone (Polen) einheitlich dem Mississippi-Valley-Type zugeordnet.

2.3.1.2. Die Lagerstättenprovinz im Südwesten Sardiniens (Italien)

Im südwestlichen Küstenland Sardiniens treten in kambrischen Karbonaten eine Reihe von Pb-Zn-Ba-(Fe-Cu-)Lagerstätten auf. Die metallreichen Lagerstätten der Iglesiente-Sulcis Region werden von BONI (1985) dem Mississippi-Valley-Typ zugeordnet. Nach BONI lassen sich in den kambrischen Sedimenten vier Vererzungstypen unterscheiden:

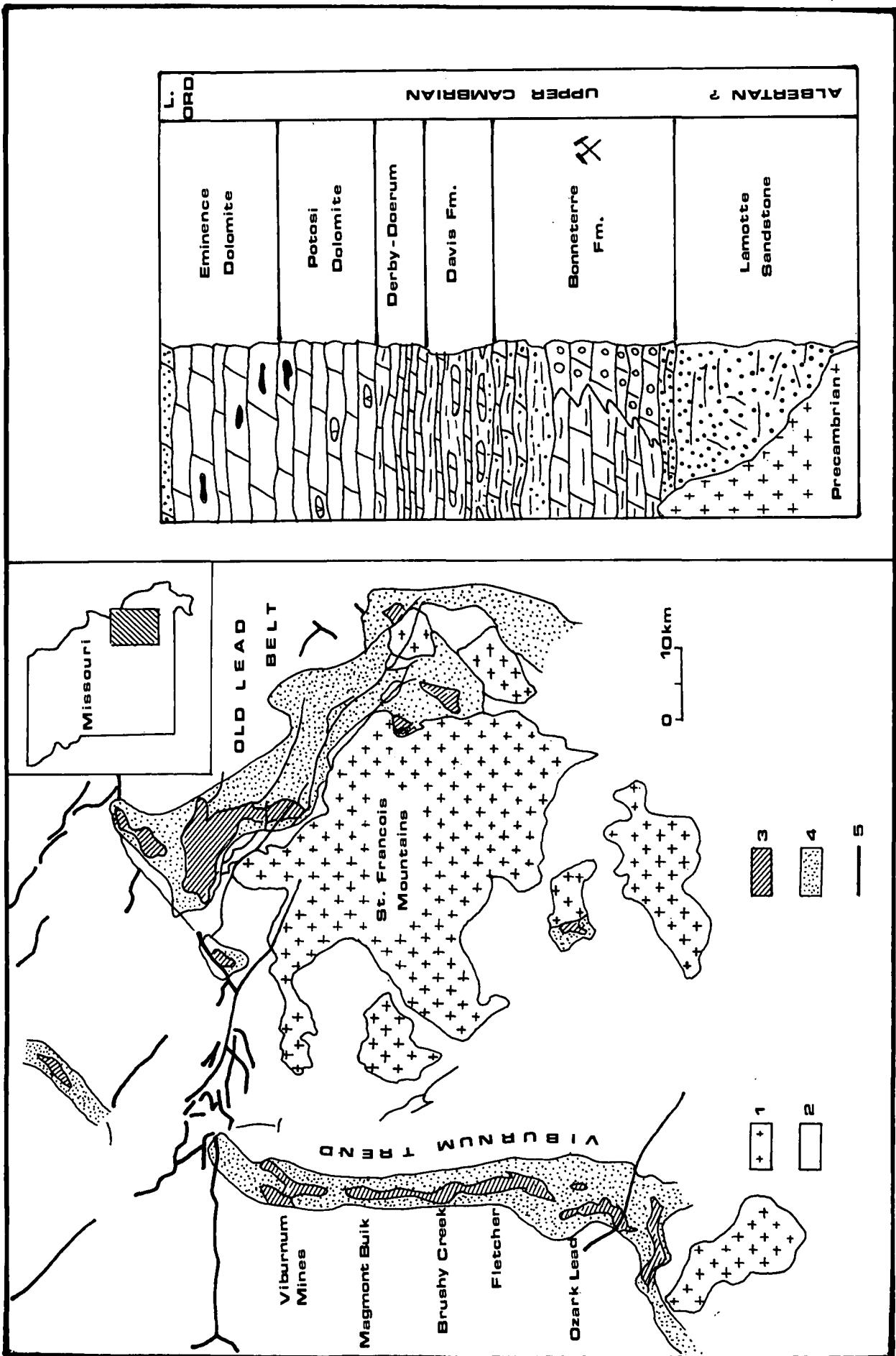


Abb. 4.
Geologische Übersichtskarte des Viburnum Trend und Old Lead Belt, Missouri.
Stratigraphisches Profil der Kambrium Abfolge (erführende Bonnerie Formation) nach SAWKINS, 1984).
1 = Präkambrische Basis; 2 = Sedimente des Kambriums-Ordoviziums; 3 = Gebiete mit hochprozentigen Erzen; 4 = Gebiete mit sprungigen Erzen; 5 = Hauptstörungen.

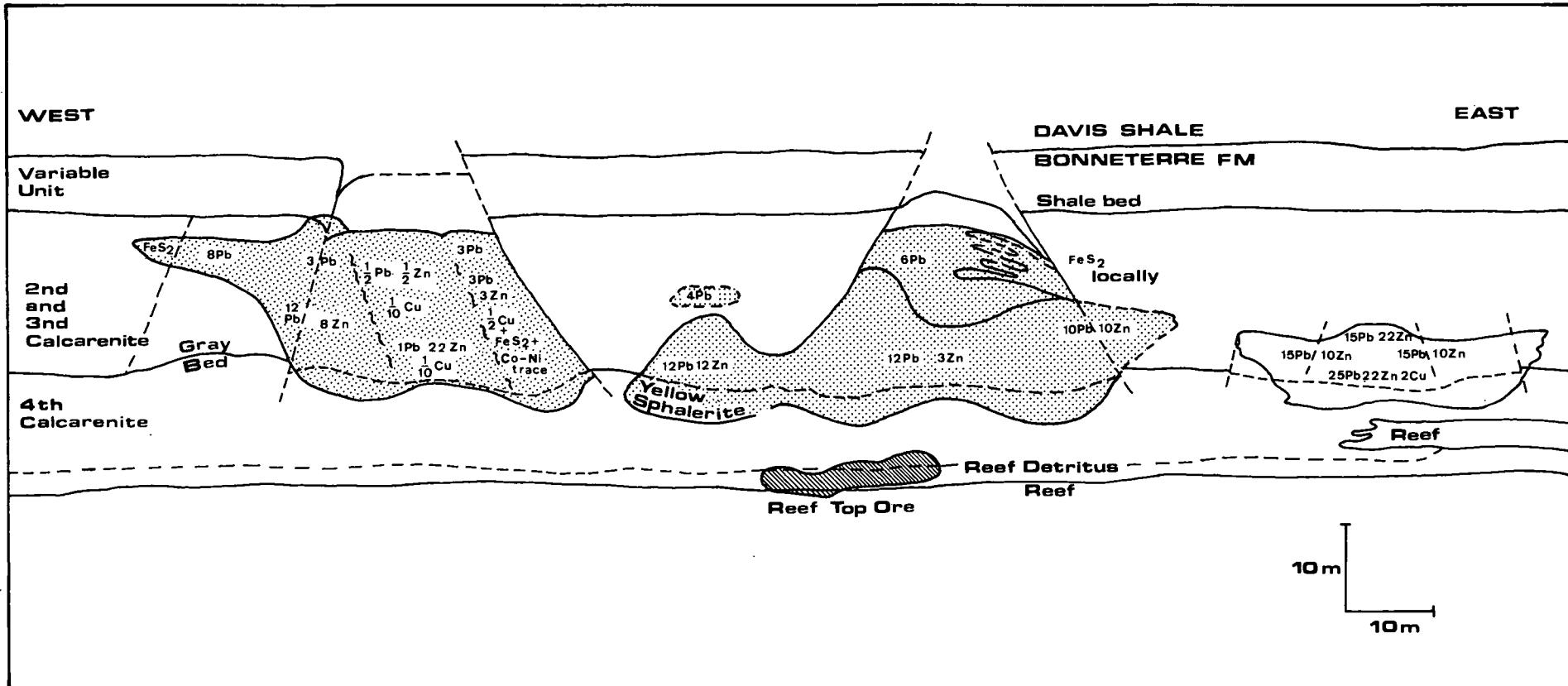


Abb. 5.
Schnitt durch einen Brekzienerzkörper der Buick-Mine (Viburnum Trend, Missouri) mit Metallverteilung.
Nach SAWKINS (1984).

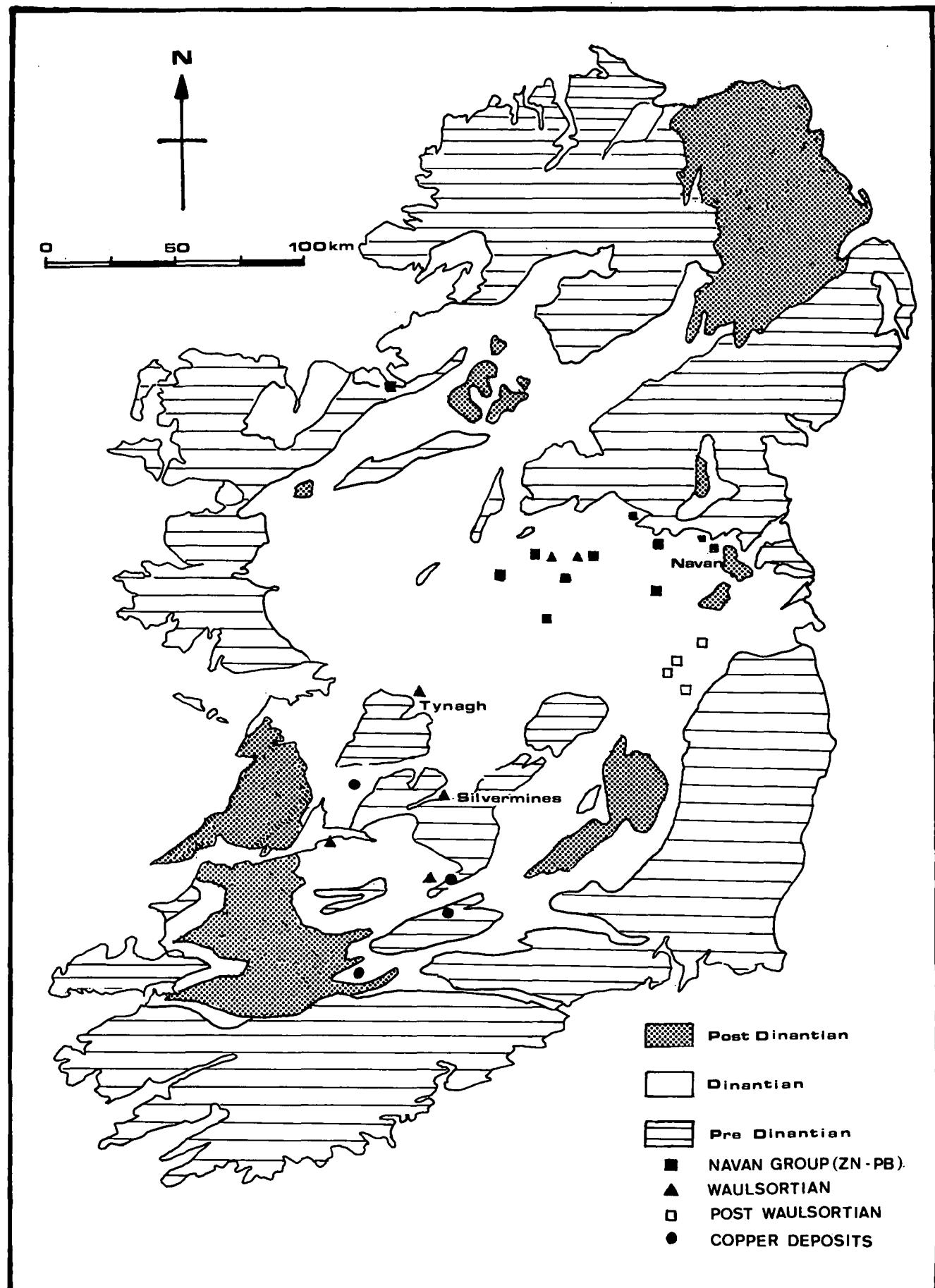


Abb. 6.
Zn-Pb-(Cu-)Lagerstätten im Karbon Irlands.
Nach HITZMAN & LARGE (1986).

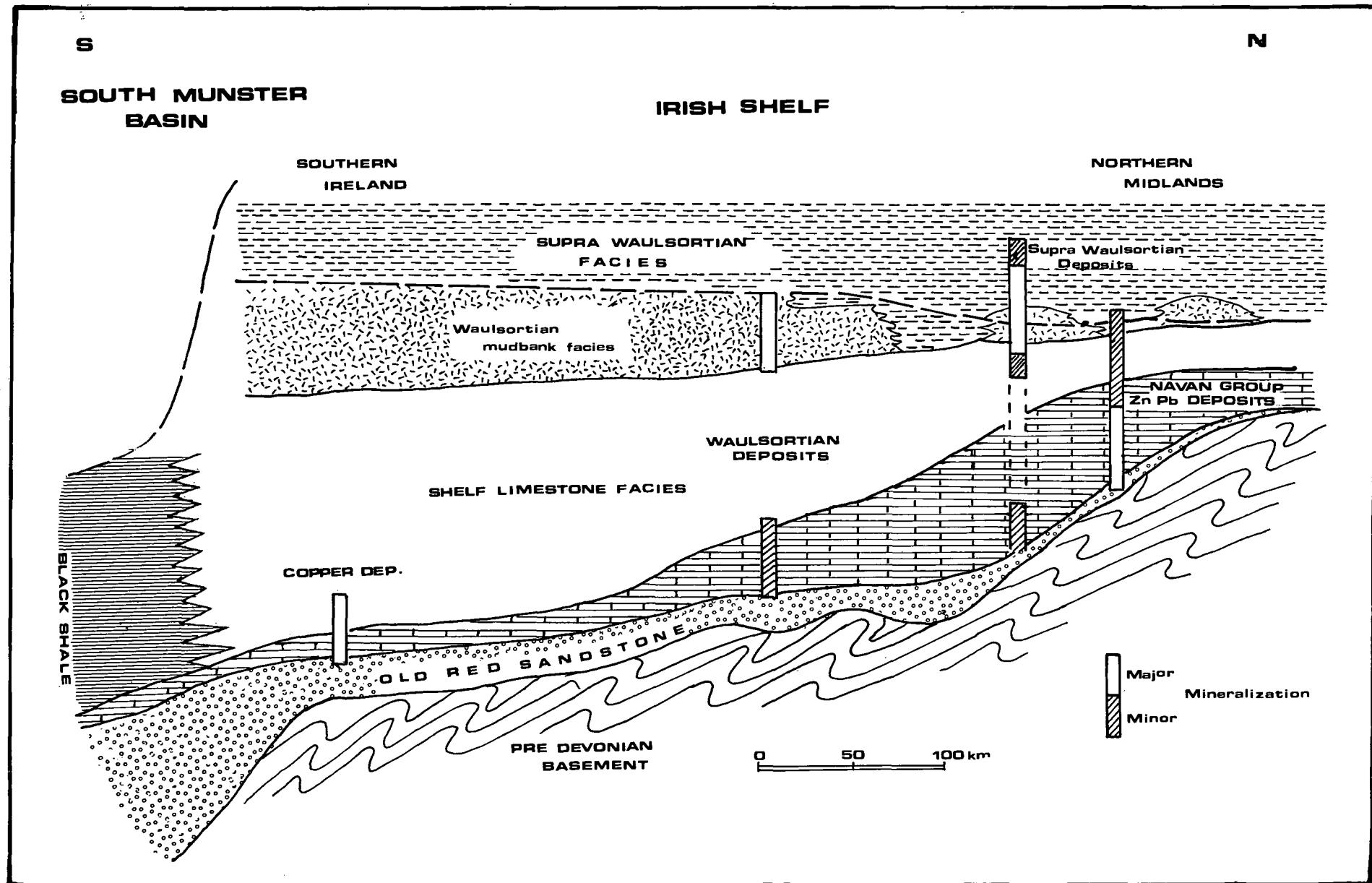


Abb. 7.
Paläogeographischer Überblick und stratigraphische Reichweite der Pb-Zn-Cu-Vererzungen im Unterkarbon von Irland.
Nach HITZMAN & LARGE (1986).

- Stratiforme Erzkörper im liegenden Anteil der kambrischen Abfolge, die aus Kalken und Dolomiten aufgebaut wird.
- Schichtgebundene Erzkörper in Karsthohlräumen und Gangspalten, die mit ordovizischen und permotriadischen Erosionsflächen in Zusammenhang zu bringen sind.
- Quarz- und/oder karbonatführende Gänge mit sulfidischem Mineralisationen (\pm Flußspat, Schwerspat) spätherzynischen Alters.
- Metamorphe Erzkörper vom Skarn-Typ, die in Aureolen um herzynische Granite auftreten.

Die Erzkörper können aufgrund ihrer unterschiedlichen Bildungsweise in die Bereiche der Syngene - Diagenese bzw. Epigenese gestellt werden.

Die glaubwürdigste Deutung der Entstehung der Vererzungen ist nach BONI (1985), daß die mineralisierenden Lösungen im Zeitraum der Diagenese aus kambrischen und ordovizischen Gesteinen bezogen wurden.

Ein magmatischer Einfluß war in herzynischer Zeit für die Mineralisationen maßgebend. Als Spendergestein für die Mineralisationen werden Unterkrustengesteine des Präkambrisiums angenommen. Die Mineralisationsvorgänge sind mehrphasig. Die Erzkörper sind unregelmäßig im Raum verteilt. Insbesondere schichtgebundene Pb-Zn-Vererzungen kambrischen Alters und Ba-F-Pb-(Ag)-Gangvererzungen sind von bergwirtschaftlichem Interesse.

2.3.1.3. Die Pb-Zn-(Ba-,Cu-)Lagerstätten im Karbon von Irland

Europas derzeit bedeutendste Pb-Zn-(Ba-,Cu-)Lagerstätten sind in Irland erschlossen. Die derzeit bergwirtschaftlich interessanteste Lagerstätte ist der Navan-Erzkörper, nördlich Dublin, mit einem Lagerstätteninhalt von 70 Mio. t Roherz. Weitere Lagerstätten wie Silvermines, Keel, Tynagh gelten als ausgeerzt. Die umfangreichen Prospektions- und Explorationsarbeiten haben jedoch bereits vielerorts für Ersatz gesorgt.

Die Lagerstätten sind weitgehend an Karbonatgesteine des Karbon gebunden (Abb. 6). Die Bildung der Lagerstätten wird als synsedimentär bis syndiagenetisch bezeichnet, wobei die Bindung an paläogeographische Strukturen auffällt (Abb. 7).

Die Erzkörper liegen in der Nachbarschaft von Riffstrukturen (Walsortian Reef Complex) in Flachwasser-

sedimenten eines salinaren, marinen Ablagerungsräumes.

RUSSEL (1978) ist der Ansicht, daß die Erzbildung mit einem Rifting Mechanismus in Zusammenhang steht. Ein lokal auftretender basaltischer Magmatismus (300 Ma) begleitet die Rifting Vorgänge.

Abb. 8 zeigt das von RUSSEL (1978) konzipierte metallogenetische Schema. Das Abströmen von Meerwasser bewirkt Lösung und Aufnahme von Metallen aus dem geologischen Untergrund. Durch Konvektionsströme dringen Hydrothermen an tiefgreifenden Strukturen wieder hoch.

Genetisch stehen die irischen Pb-Zn-Vererzungen zwischen dem Mississippi Valley Type und den Bildungen „massiver Sulfiderzlagerstätten“.

Als Beispiel einer „massiven Sulfiderzlagerstätte“ gilt die Pb-Zn-Ag Lagerstätte Tynagh. Metallführende Lösungen wurden unter Druck in Karbonatkarbonate während der Diagenese eingepreßt. Die Lösungszufuhr erfolgte mehrphasig an der Tynagh-Störung (RIEDEL, 1980 cum lit.).

Folgende Paragenesen sind zu beobachten:

- Frühdiagenetische, kolloforme und granulare Pyrite.
- Mikrokristalline Zinkblenden, Bleiglanz, Schwerspat und Dolomit.
- Gangförmige Verdrängungen von Tennantit, Chalcopyrit, Bornit, Arsenopyrit sowie Bleiglanz und Schwerspat.

Nach RIEDEL (1980 cum lit.) wird die Ausfällung der Erzminerale auf das Milieu im Flankenbereich eines karbonatischen Schlamm-Bioherms zurückgeführt. Absterbende Lebewesen und Bakterien verursachten lokal schwach reduzierende Bedingungen. Baryt deutet auf ein präevaporitisches Ablagerungsmilieu. Die Hauptmineralisation fand synsedimentär bis syndiagenetisch durch hydrothermal-exhalative Lösungszufuhr statt.

2.3.1.4. Die karbonatgebundenen Pb-Zn-Lagerstätten in den Anden (Peru)

FONTBOTE et al. (1981) beschreiben Pb-Zn-Lagerstätten aus dem triassischi-liassischen „Pucará-Becken“ von Peru, die mit den karbonatgebundenen Lagerstätten Europas vergleichbar sind. Der Pb-Zn-Gürtel des Westteiles des Pucará-Beckens und der Ostteil des Beckens mit der Lagerstätten San Vicente sind bedeu-

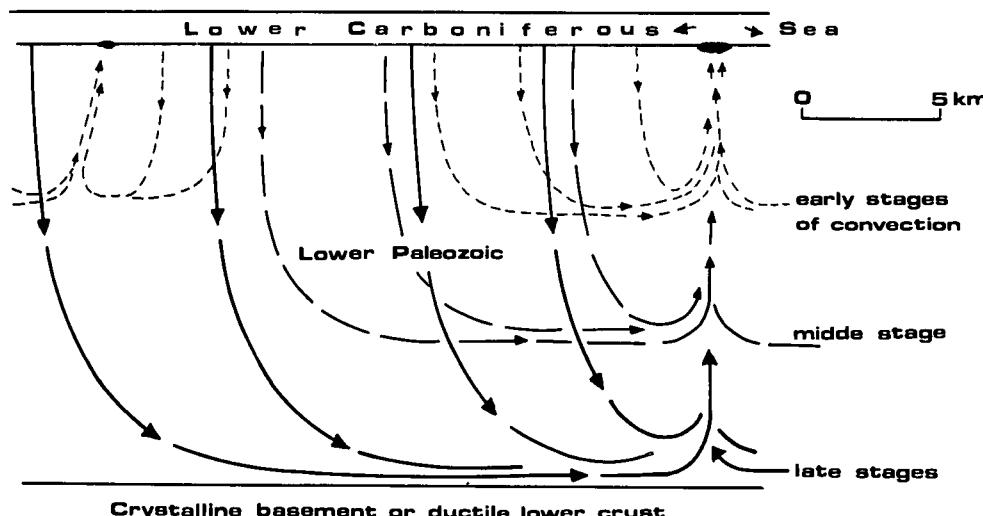


Abb. 8.
Entwicklung eines geothermalen Systems am Beispiel von Pb-Zn-Lagerstätten in Irland.
Nach RUSSEL (1978).

tende Erzträger (Bleiglanz, Zinkblende, Schwerspat, Flußspat).

Die Erzführungen liegen paläogeographisch kontrolliert in zwei Stockwerken. Im Westteil des Beckens sind die Erze an die Transgressionsserie der Obertrias gebunden, während im Ostteil die Erze in mächtigen Karbonatabfolgen des Lias auftreten.

Die Karbonatabfolgen wurden in einem tektonisch instabilen Ablagerungsraum sedimentiert. Starke Subsidenzraten und Bruchtektonik sowie ein basischer bis intermediärer Vulkanismus prägen die Sedimentabfolgen.

Der Vulkanismus kann jedoch ähnlich wie in den Ostalpen, nicht mit der Erzbildung in Zusammenhang gebracht werden.

Die Pb-Zn-Erze in den liassischen Karbonatabfolgen sind durch hohen Reinheitsgrad geprägt; die obertriadische, an die Transgressionsserie gebundenen Mineralisationen zeigen komplexe Paragenesen. Neben Bleiglanz und Zinkblende treten Silber und Kupfer in z. T. ökonomischen Mengen auf.

AMSTUTZ & FONTBOTE (1983) zeigen modellhaft die Abhängigkeit der Vererzung von der Paläogeographie. Der Reinheitsgrad der Erze steht in Abhängigkeit von der Entfernung zum „metallspendenden“ Untergrund.

3. Die karbonatgebundenen Pb-Zn-Lagerstätten im Mesozoikum Europas und Nordafrikas

Die Pb-Zn-Mineralisationen in Karbonatgesteinen des Mesozoikums, insbesondere der Trias ist mit unterschiedlicher Intensität im gesamten mediterranen Orogen unter Einschluß der angrenzenden nördlichen und südlichen Kratone, wie der Germanischen Trias, des Französischen Zentralplateaus, des Oberschlesischen Karpathenvorlandes und des Nordafrikanischen Kratons (inkl. Atlas Orogen) verbreitet (Abb. 9).

Die Bildungen geochemischer Anomalien und Vererzungen in Karbonatgesteinen sind nicht unbedingt an

die Trias gebunden, auch ältere und jüngere Karbonatgesteine, wie Perm oder Jura und Kreide sind von mineralisierenden Vorgängen betroffen.

Abb. 9 zeigt die regionale Verteilung karbonatgebundener Pb-Zn-Lagerstätten in Europa und Nordafrika, unabhängig von ihrer stratigraphischen Position (Kambrium bis Kreide), Abb. 10 eine schematische paläogeographische Situation (FONTBOTÉ et al., 1983) zur Zeit „triadischer“ Pb-Zn-Lagerstättenbildung. In Tab. 2, 3 und 4 wird auf die stratigraphische Position bzw. auf



Abb. 9.
Übersichtskarte der karbonatgebundenen Pb-Zn-Lagerstätten in Europa.

Nach SCHROLL (1985).
1 = Ost- und Südalpen; 2 = Südalpen (Dolomiten); 3 = Savefalten; 4 = Westalpen; 5 = Karpaten; 6 = Oberschlesien; 7 = Dinariden; 8 = Balkan; 9 = Tunesien; 10 = Atlas; 11 = Betische Cordillere; 12 = Germanische Trias; 13 = Cevennen; 14 = Sardinien; 15 = Südbelgien; 16 = Nord- und Südpenniden; 17 = Irland.

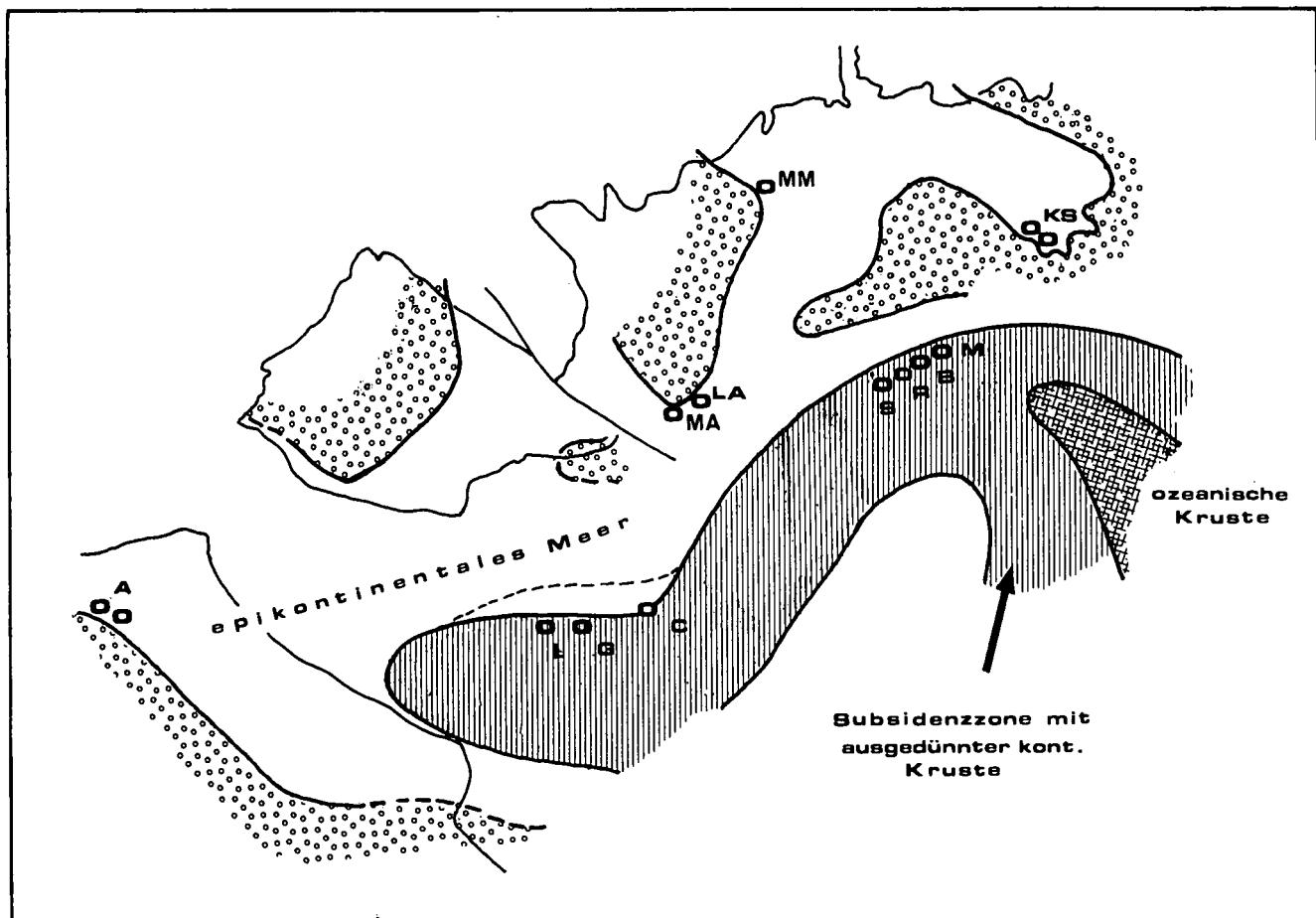


Abb. 10.

Schematische paläogeographische Situation zur Zeit triadischer Pb-Zn-Lagerstättenbildung (Europa – Nordafrika).

Nach FONTBOTE et al., 1983, und KOSTELKA, CERNY & SCHROLL, 1986.

M = Mezica; B = Bleiberg; R = Raibl; S = Salafossa; MM = Maubach-Mechernick; LA = Largentier; MA = Malines; C = Cartagena; G = Sierra de Gador; L = Sierra de Lujar (Betische Cordillere); A = Lagerstätten in der Randzone des Atlas (Marokko); K/S = Karakau-Silesische Zone.

Tabelle 2.
Stratigraphischer Überblick über karbonatgebundene Pb-Zn-Lagerstättenbildung in den Triasabfolgen Europas.

	Ostalpen	Südalpen	Westkarpaten	Balkan Bulgarien	Oberschlesien Polen	German. Trias Deutschland	Frankreich	Spanien
Rhätische, Norische Stufe							S-Rand des Zentralmassivs (Kambrium–Jura)	
Karnische Stufe (Typus)	Bleiberg-Kreuth Gailtaler Alpen							
Raibler Schichten	(Mitterberg, Fö- rolach, Pirkach)							
Ladinische Stufe (Typus)	Draukalkalpen (Bleiberg-Kreuth,	Raibl, Pb-Zn-La- gerstätten in den						
Wetterstein- kalk)	Radnig, Jauken, Windisch Blei- berg, Hochobir, Petzen, Mesiča)	(Anis-Karn, Typus Salafossa)	Dolomiten (Anis-Karn, Vareš (Pb,Zn,Mn,Fe,Ba)				Betische Cordi- llere, S-Spanien F(Pb,Zn)	
Anisische Stufe	Topla N-Rand der Gail- taler Alpen Nördliche Kalk- alpen (St. Veith, Annaberg, Schwarzenberg)	Lagerstätten in den Dolomiten (Anis-Karn, Typus Salafossa)	Pb-Zn Poniky Tibe Ardovo	Pb,Zn,Cu Stara Planina (Sedmoschisle- nitsi, Plakalnitsa etc.)	Pb-Zn Krakau- silesische Erz- provinz (Olkusz etc.)	Muschelkalk (Freihung, Wies- loch, Bleiglanz- bank)		
Skythische Stufe		Save-Falten Pb, Zn						

Tabelle 3.
Übersicht der karbonatgebundenen mesozoischen Pb-Zn-Lagerstättenbildung (Europa und N-Afrika).

	Atlas-Orogen (Marokko)	Atlas-Orogen (Tunesien)	Betische Kordillere (Spanien)	SE-Rand des Zentralmassivs (Frankreich)	Krakau-Silesi- sche Zone (Polen)	Germanische Trias (Deutschland)	Balkan (Bulgarien)	Alpen (N + S) (Österreich, Jugoslawien, Italien)
Stratigraphie	Untertrias	Jura und Kreide (Trias)	Trias (Ladin)	Obertrias-Jura über Kambrium	Trias (Anis)	Trias (Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper)	Trias (Anis)	Trias (Anis, Ladin, Karn)
Fazies des Mutterge- steins	Tonige Dolomite und Kalke über permo-triadi- schen „red beds“	Pelagische Sedi- mente, trans- gressive Flach- wassersedimen- te mit Riffgestei- nen und Evaporiti- ten (Diapiren)	Gezeiten und Lagunensedi- mente mit Paläo- karststrukturen	Obertriadische Transgressions- sedimente über Kambrium, Pa- läokarst	Epikontinentale Flachwasserfa- zies	Epikontinentale Flachwasserfa- zies	Epikontinentale Flachwasserfa- zies	Geosynklinale Plattformsedi- mente (instabile Schelfbedingun- gen)
Zusammen- setzung	Pb (Zn, Ba, V)	Zn-Pb (Ba, F, Fe) F, Pb, Zn (Fe, Cu)	Zn-Pb-Fe (Ba) Pb : Zn = 1 : 6	Zn-Pb (Fe)	Pb, Cu, Zn, Fe (Co, Bi, Ag, Ba)	Pb, Zn, Cu (Fe) (Co, Ni, Ag, As)	Pb-Zn (F, Ba, Fe)	
Form der Erzkörper	Schichtförmig	Schichtförmig an Diapir- und Riff- strukturen, stockförmig, gangförmig	Linsige, schicht- schichtgebunde- ne Erzkörper	Taschenförmige Karsthohlräume	Stratiforme Brekzienerkör- per, Karststruk- turen	Schichtförmig	Schichtförmig	Schichtförmig, stockförmig, gangförmig
Metallinhalt der Erz- körper	0,2 Mio. t Pb (Mibladen)	0,9 Mio. t Pb+Zn (Bon Grine)	<0,1 Mio. t F, Pb, Zn pro Lagerstätte	ca. 0,5 Mio. t Pb+Zn pro Lagerstätte	>50 Mio. t Pb+Zn Summe der Erz- provinz	0,12 Mio. t Pb+Zn Wiesloch Mechernich: 3,0 Mio. t Maubach: 0,3 Mio. t	>1,5 Mio. t Pb+Zn+Cu (Sedmochisle- nitsi)	max. 7 Mio. t Pb+Zn (Beispiel Bleiberg) 10.000–30.000 t pro schichtig + gangförmigem Erzkörper; Stock- werk >100.000 t
Genetische Deutung	Epigenetisch durch Grundwas- sereinwirkung bzw. hydrother- male Verdrän- gungen	Epigenetisch an Diapirstrukturen gebunden	Frühdiageneti- sche Dolomitisi- sierung und Umla- gerung	Mechanische, flu- viatile Auffüllung von Karsthohl- räumen	Hochsalinare Pa- läobrines (Haupt- phase im Lias)	Sedimentär durch Umlagerung eines Altbestan- des, Kontrolle durch Fazies	Syndiagenetisch (bis epigenetisch) von Fazies und Struktur kon- trolliert	Syndiagenetisch, von der Fazies und Struktur kon- trolliert
Typische Lagerstätten	Mibladen	Bou Grine Bou Jabeur Toissit Bon Beker	Orgiva Sierra de Baza Vielzahl von Kleinlagerstätten in den Alpujarri- den	Le Malines Largentiere	Olkusz	Freihung Wiesloch	Sedmochislenitsi	Bleiberg-Kreuth Mesica, Raibl Salafossa, Lafatsch

fazielle und lagerstättenkundliche Gegebenheiten eingangen. In nachfolgenden Kapiteln werden Beispiele von Pb-Zn-Lagerstätten des Mesozoikums schwerpunktmäßig beschrieben.

3.1. Die Buntmetallvererzungen der germanischen Trias

In der germanischen Faziesentwicklung Mitteleuropas sind Buntmetallmineralisationen weit verbreitet. Sie erreichen jedoch nur in wenigen Fällen bergwirtschaftliche Bedeutung. Tab. 5 gibt einen Überblick über das Auftreten der Mineralisationen im Süddeutschen und Norddeutschen Becken (nach WALTHER, 1982).

Im Buntsandstein sind es vorwiegend Kupfererze, im Muschelkalk und Keuper vorwiegend Bleiglanz, Kupferkies, Zinkblende und Schwerspat. Auffälligstes Beispiel dieser Mineralisationen ist die sgn. „Bleiglanzbank“ im unteren Gipskeuper Süddeutschlands, wo Erze in strenger Bindung an die paläogeographischen Verhältnisse auftreten.

SCHMIDT (1980, cit. in WALTHER, 1982) hat unter Einbeziehung des bevorzugten Auftretens von Kupfer und Uran im Jungpaläozoikum und Buntsandstein, von Blei

und Zink in Muschelkalk und Keuper und von Mangan und Eisen im Jura die Frage eines „exogenen Vererzungszyklus“ als Folge einer Aufbereitung im Zuge von Verwitterung, Transport und Sedimentation bei der Abtragung variszischer Gebirgsrümpfe zur Diskussion gestellt.

In Norddeutschland bestehen vor allem im Trochitenkalk bzw. untergeordnet im Wellenkalk (Muschelkalk, Anis) Pb-, Zn-Gehalte, die als auffallende geochemische Anomalie (Gehalte bis 1000 ppm) bezeichnet werden können, wobei jedoch örtlich eine diagenetische bis postdiagenetische Anreicherung erfolgte (HOFMEISTER et al., 1972, cit. in WALTHER, 1982).

In Süddeutschland treten nach WALTHER (1982) eine Vielzahl von Mineralisationen in Mergel- und Karbonatbänken auf, die in Einzelfällen bergwirtschaftliche Bedeutung erlangten (Bergbau Freihung und Wiesloch).

In der „Bleiglanzbank“, die als 5 cm–40 cm mächtige Grenzbank zwischen Unterem und Mittlerem Wellenkalk (Muschelkalk) auftritt, wird die Mineralisation von Pyrit, Bleiglanz, Kupferkies und Zinkblende (Fahlerz) gebildet. Die Metalle wurden einem Flachmeerbereich mit erhöhter Salinität (Wattcharakter), wahrscheinlich fluviatil von der Vindelizischen Schwelle, zugeführt und sedimentär abgesetzt. Die Schwermetallgehalte der Grenzbank betragen zwischen 0,1 % und 1 %. Eine

Tabelle 4.
Mineralbestand der karbonatischen, mesozoischen Pb-Zn-Vererzungen (Europa und N-Afrika).

	Atlas-Orogen (Marokko)	Atlas-Orogen (Tunesien)	Betische Kordillere	SE-Rand des Zentralmassivs (Frankreich)	Krakau- Silesische Zone	Germanische Trias	Westkarpaten	Balkan Bulgarien	Ostalpen
Kreide		Bleiglanz Zinkblende Flußspat Schwerspat Strontiummin. Pyrit, Siderit							
Jura		Zinkblende Bleiglanz Schwerspat Flußspat Strontiummin.		Bleiglanz Zinkblende Schwerspat					
Trias	Bleiglanz Zinkblende Schwerspat Cerrusit Vanadinit Wulfenit Kupferkies Anglesit Smithsonit Hemimorphit Malachit	Strontiummin.	Flußspat Bleiglanz Zinkblende Pyrit, Jordanit Bournonit Tetrahedrit Tennantit Enargit Geocronit	Zinkblende Bleiglanz Pyrit	Zinkblende Bleiglanz Pyrit	Bleiglanz Zinkblende Pyrit Kupferkies Fahlerz Schwerspat (Cu,Co,Ag,Bi)	Bleiglanz Zinkblende Kupferkies Tennantit Bornit Tetrahedrit Rhodochrosit	Bleiglanz Zinkblende Kupferkies Co,Ni	Zinkblende Bleiglanz Flußspat Schwerspat Anhydrit, Pyrit Markasit Wulfenit Jordisit Bleiglanz Zinkblende Cu,Ag(As) Fahlerz

weitere Bleiglanzbank tritt nach WALTHER (1982) im östlichen Teil des Süddeutschen Beckens und im Thüringer Becken im Vorland der Vindelizisch-Böhmischen Schwelle auf. Die stratigraphische Position ist der untere Mittelkeuper. Die Mineralisationen sind an pelitische, an organischer Substanz reiche Sedimente gebunden, wobei die Erzführung von der Paläogeographie kontrolliert wird.

Die Erzminerale sind Bleiglanz, Kupferkies, selten Zinkblende und Eisenkiese. Schwerspat tritt als Faziesindikator auf. Als Durchschnittsgehalt der erzführenden Partien werden 3500 ppm Pb und 900 ppm Cu genannt.

SCHWEIZER (1979) deutet die Bleiglanzbank aufgrund geochemischer Untersuchungen als Ergebnis einer Regressionsphase unter Sabkha-ähnlichen Bedingungen.

Die Metalle sollen aus den bei der Verwitterung der Arkosen aus Kalifeldspäten freiwerdenden Metall- und Bariummengen stammen und durch H₂S aus organischer Substanz als Sulfid gefällt worden sein. Die Erze

sind bevorzugt an die Übergänge von Letten zu Sandstein gebunden und in Bereichen mit raschem Fazieswechsel besonders konzentriert. Sedimentäre Anreicherungseffekte, wie z. B. junge Störungszonen, haben am Beispiel der Lagerstätte Freihung zu wirtschaftlich interessanten Erzkonzentrationen geführt.

Den obgenannten eindeutig sedimentär entstandenen Mineralisationen stehen die genetisch umstrittenen Imprägnationslagerstätten von Mechernich (Eifel) und Maubach gegenüber. Sie werden heute (WALTHER, 1982) als epigenetisch, störungs- bzw. strukturgebunden gedeutet, wobei die Platznahme der Erze in der Oberkreide bzw. Tertiär erfolgte. Die strukturgebundenen Mineralisationen zeigen enge Beziehungen zu unterlagernden, devonischen Gangvererzungen, wobei die vererzten klastischen Triasschichten dem variszischen Grundgebirge unmittelbar aufliegen.

Die schichtgebundene Pb-Zn-Lagerstätte Wiesloch, südlich Heidelberg im „anisischen“ Trochitenkalk aufgetreten, ist ebenfalls als epigenetisch anzusehen. Die

Tabelle 5.
Lithostratigraphische Position der Pb-(Zn,Cu,Ba)-Vorkommen in der germanischen Trias (nach H.W. WALTHER, 1982).

	Süddeutsches Becken		Norddeutsches Becken
	Schwarzwaldrand	Oberpfalz	
Keuper	Cu Schaffhausen	Pb Weißenberg	Pb-Zn Osnabrück, Mittelweser, Aller
	Pb (Cu,Ba) Bleiglanzbank	Pb Creußen, Bodenmühle, Hahnbach, Eschenfelden, Wollau, Bayreuth Pb Freihung, Hahnbach, Tanzfleck, Eschenfelden Pb Creußen	
Muschelkalk	Pb Wiesloch, Reiselfingen	Pb Grafenwöhr	Pb(Zn, Ba) Weser-Leine-Bergland, Hildesheim, Salzgitter Pb(Zn) Süd-Niedersachsen
Buntsandstein	Cu Eschenbach, Nordschweiz	Pb,Cu,Ba Hirschau, Schnaittenbach	Cu Helgoland, Hardegsen

Bildung wird im Zusammenhang mit der tertiären Graben tektonik der östlichen Randstörung des Rheintalgrabens gesehen. Die älteste Mineralisationsphase ist durch eine Cu-Ag-Co-Bi-Teilparagenese gekennzeichnet, die jüngere Pb-Zn-Teilparagenese entstand durch den reduzierenden Einfluß von Kohlenwasserstoffen. Kluftkontrollierte Karsthohlräume wurden mit Zinkblende (Schalenblende), Bleiglanz, Jordanit, Schwerspat und Calcit vererzt. WALTHER (1982) sieht in der Lagerstätte Wiesloch eine große Ähnlichkeit mit den ober-schlesischen Pb-Zn-Lagerstätten.

3.2. Pb-Zn-(Ba,F)-Vorkommen in den Zentralalpen der Schweiz

Die triadischen Abfolgen in den Schweizer Anteilen der Alpen sind extrem arm an mineralischen Vorkommen. Die Zentralalpen waren zur Zeit der Trias eine Übergangszone zwischen zwei unterschiedlichen paläogeographischen Ablagerungsräumen.

- Im Norden erstreckte sich die postvariszische (bzw. außeralpine) europäische Plattform als Träger der germanischen Triasentwicklung.
- Im Süden die Karbonatplattform in alpiner Lithofaziesentwicklung.

Die Triasentwicklung im Zentralalpenbereich erreicht max. Mächtigkeiten von 200 m und wird untergliedert in:

- Die untertriadische „Melser-Serie“ (kontinentale Arkosen, Quarzite mit marin-lagunaren Einflüssen).
- Die mitteltriadische „Rötisserie“ (transgressive Karbonate in lagunarer Fazies).
- Die obertriadische „Quartenserie“ oder „Phyllitische Trias“ (mit pelagischen und detritischen Sedimenten).

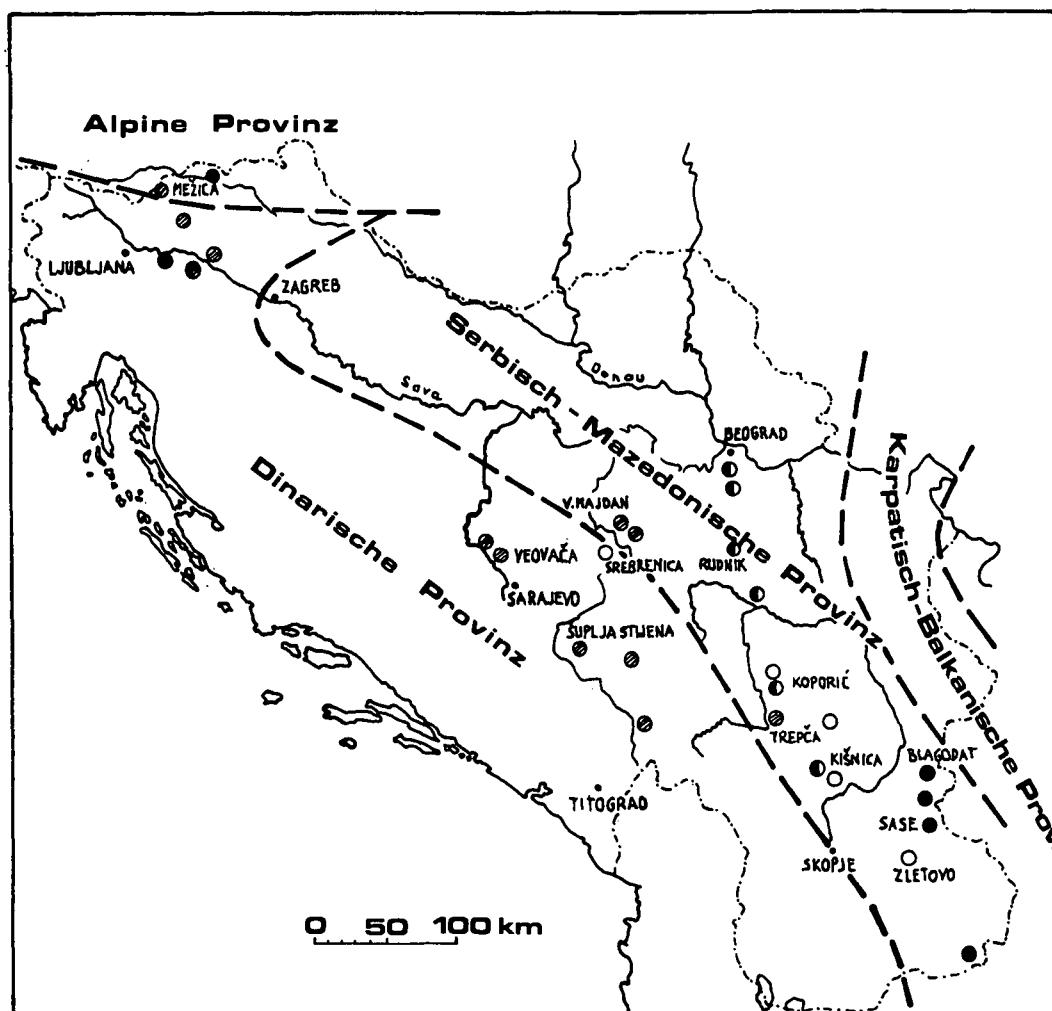
SCHMIDT, S. Th. & AMSTUTZ, G. C. (1983 cum lit.) beschreiben Pb-Zn-(Ba,-F-)Vorkommen in der „südlichen Sedimenthülle“ des Gotthardmassivs. Die Trias erscheint hier als das Anfangsstadium der mesozoischen Transgression über paläozoischen Gneisen. Die Erzminerale (Sulfide, Schwerspat und Flußspat) treten an der Basis der Triasabfolge in Quarziten und Dolomiten auf. Die Mineralisationen sind vorwiegend schichtparallel, teils fein verteilt im Gestein, teils linsenartig angereichert.

Die Erzparagenesen lassen eine gewissen Abhängigkeit von der Lithofazies der Trägergesteine erkennen.

- Karbonate: Baryt-Fluorit-Pyrit-Zinkblende (Kupferkies-Magnetit).
- Kalkige Quarzite: Baryt-Fluorit-Pyrit-Zinkblende (Markasit-Kupferkies.)
- Schiefer: Pyrit.
- Quarzite: Pyrit-Baryt-Fluorit-Zinkblende-Bleiglanz-Ag/As, Sulfosalze (Magnetit-Kupferkies).

SCHMIDT & AMSTUTZ (1983) vertreten die Ansicht, daß die Vorkommen an der Triasbasis trotz metamorpher Überprägung als synsedimentär anzusprechen sind.

Abb. 11.
Verbreitung mesozoischer
Pb-Zn-Vorkommen in Ju-
goslawien.
Nach STRUCL (1981).



Ähnliche Mineralisationen treten in Lengenbach, Binntal auf, die an das Penninikum der „Monte Leone Decke“ gebunden sind.

3.3. Die schichtgebundenen Pb-Zn-Lagerstätten der Trias Jugoslawiens

Nach JANKOVIĆ (1967, 1974) cit. in STRUCL (1981) unterscheidet man in Jugoslawien in bezug auf die Lagerstättenverteilung und deren Zusammenhang zu Magmatismus und geotektonischer Stellung vier metallogenetische Erzprovinzen (Abb. 11):

- Ostserbische bzw. Karpatisch-Balkanische Erzprovinz.
- Serbisch-Mazedonische Erzprovinz.
- Dinarische Erzprovinz.
- Alpine Erzprovinz.

Die triadischen Blei-Zink-Lagerstätten zeigen eine weite Verbreitung und treten praktisch in allen angeführten Erzprovinzen auf. Eine Raumeinschränkung in Bezug auf jüngere Tektonik und Verbreitung magmatischer Gesteine ist nach STRUCL nicht zu erkennen!

Die Blei-Zink-Lagerstätten finden sich in den Nordkarawanken, in den Julischen Alpen und Ostslovenien (Save-Falten), im Raum von Vareš, im nördlichen Montenegro (Črna gora) sowie in Westserbien. STRUCL (1981) sieht besonders in den Erzführungen der ostserbisch- bzw. karpatisch-balkanischen Erzprovinz beginnende Riftsysteme in der Untertrias. Die erzführenden Gesteine sind weitgehend an ozeanische Krustengesteine gebunden.

3.3.1. Alpine Erzprovinz

Von den kalkalpinen Lagerstätten sind bergwirtschaftlich die Lagerstätten Mešica und Topla von größtem Interesse. Sie liegen in mitteltriadischen Schichtgliedern der östlichen Ausläufer der Nordkarawanken.

Die Erzführung in Topla, unweit östlich der österreichisch-jugoslawischen Staatsgrenze, tritt in Dolomitgesteinen der anisischen Stufe („Alpiner Muschelkalk“) auf. Die Erzführung in Mešica ist an ladinisch-karnische Faziesentwicklungen (Lagunar- und Riffazies) über weite stratigraphische Bereiche gebunden. Die Erzkörper sind schichtgebunden aber auch diskordant. Über die genannten Lagerstätten wird nachfolgend berichtet.

Die übrigen triadischen Pb-Zn-Vorkommen Sloweniens sind von untergeordneter Bedeutung (DROVENIK, 1980).

3.3.1.1. Beispiele der alpinen Erzprovinz: Die Pb-Zn-Lagerstätte Mešica und Topla

Unweit der österreichischen Staatsgrenze, östlich der Petzen, geologisch dem Nordstamm der Karawanken und somit dem Drauzug angehörig, befinden sich die Pb-Zn-Lagerstätten Topla und Mešica.

Die Erzmineralisationen liegen in mehreren stratigraphischen Niveaus der karbonatischen mitteltriadischen Abfolge. Die Lagerstätte Topla ist nach STRUCL (1974) schichtig an Dolomite der anisischen Stufe gebunden, während in Mešica die Erzmineralisationen in ladinisch-karnischen Sedimenten wesentlich vielgestaltiger auf-

treten. Die stratigraphische Position der konkordanten Erzführungen (STRUCL, 1981) im Wettersteinkalk liegt in Bereichen von 10 bis 15, 25, 50 bis 60 sowie 140 m im Liegenden des 1. Raibler Schiefertons. Die Lagervererzungen sind an „edle Flächen mit schwarzen Breccien“ im Sinne der Bleiberger Sonderfazies des oberen Wettersteinkalkes gebunden.

Diskordante Erzkörper werden von STRUCL (1981) in schichtgebundene Gang- bzw. Kluftvererzungen sowie Breccienvererzungen und Vererzungen in und entlang posttriadischer Störungszonen untergliedert.

Im Revier Navršnik treten vorwiegend schichtgebundene Vererzungen auf, während im Revier Union diskordante Vererzungen dominieren. Die diskordanten Erzzüge des Unionsystems weisen eine Teufenerstreckung von über 600 m liegend des Raibler Schiefertons auf.

Das Vorhandensein von stratiformen Pb-Zn-Erzen im hangenden Wettersteinkalk und die genannten, bis über 600 m tief greifenden, kluftförmigen Mineralisationen werfen bis heute noch divergierende Auffassungen hinsichtlich der Genese der Lagerstätte Mešica auf.

Die schichtgebundenen Gang- bzw. Kluftvererzungen treten meist in engstem Bereich der „syngenetischen“ stratiformen Erzlager auf. Die Kluftwände zeigen oft typisch karstartige Oberflächen. Die von STRUCL (1981) als Paläokarstklüfte gedeuteten Hohlraumformen sind überwiegend mit Bleiglanz und Markasit gefüllt.

Breccien-Vererzungen von besonderem bergwirtschaftlichem Wert befinden sich am Rande der Wettersteinlagunafazies bzw. innerhalb von Riffgesteinen. Die Entstehung der Breccien ist sehr verschiedenartig. STRUCL nennt Dislokationsbreccien, Kollaps- und tektonische Breccien als Erzträger.

Die Lagerstätte Topla ist an Schichtglieder der anisischen Stufe gebunden und stellt ein Paradebeispiel schichtgebundener, „synsedimentärer“ Vererzungen im Anis der Ostalpen dar.

Die älteste Urkunde über das Toplatal, eine südlich der Petzen gelegene Lagerstätte, geht auf das Jahr 1834 zurück. Bis 1889 waren die Gruben mit kurzzeitigen Unterbrechungen in Betrieb. Wegen der ungünstigen geographischen Lage, besonders aber wegen neuer Aufschlüsse von reichen Pb-Zn-Erzen in der Lagerstätte Mešica, wurden die Arbeiten in Topla eingestellt. Um 1970 wurde die Lagerstätte intensiv erkundet und mit einem Erzgehalt von 6,5 % Zn und 2 % Pb eingeschätzt. Sie ging Mitte der Siebziger Jahre wieder in Betrieb (Pb : Zn-Verhältnis: 1 : 4 bis 1 : 6).

STRUCL (1974), der die Lagerstätte und ihre Umgebung detailliert bearbeitete, gliedert die Karbonatabfolge des „Alpinen Muschelkalkes“ in:

- Untere Kalkserie (bioturbate Flaserkalke sowie dunkle Plattenkalke).
- Mittlere Dolomitserie („anischer Zwischendolomit“) mit Dolomiten, Intraklastdolomiten und Kollapsbreccien.
- Obere Kalkserie mit hornsteinführenden Kalken und Mergellagen.

Auf eine Fläche von rd. 0,6 km² ist die mittlere Dolomitserie als erzführend bekannt, wobei zwei Vererzungstypen unterscheidbar sind:

- Schichtvererzungen mit mannigfältigen sedimentären und diagenetischen Gefügemerkmalen.
- Vererzungen in Form von Imprägnationen und dünnen Kluftausfüllungen.

Die Lagerstätte ist arm an Mineralparagenesen. Neben Zinkblende und Bleiglanz beobachtete man untergeordnet Pyrit, Markasit, Melnikopyrit, Hydrozinkit, Smithsonit, Cerussit, Anglesit, Eisenoxide und Greenockit.

Aufgrund der Feinkörnigkeit der Erzminerale und der beinahe fehlenden diagenetischen Überprägung gehört die Anis-Lagerstätte Topla zu den wenigen karbonatbundenen Pb-Zn-Vererzungen, die eine eindeutig sedimentäre Entstehung erkennen lassen. Die als Erzschlämme erhalten gebliebenen Texturen (Erzhrythomite) zeigen vielerorts Texturen des umgebenden Karbonatsediments. So sind z. B. „load casts“ und Rippelstrukturen im Erzsediment erhalten geblieben.

Die Erzmineralien sind im Gegensatz zu stratigraphisch vergleichbaren Vererzungen in den Ost- und Südalpen, aber auch der germanischen Trias arm an Spurenelementen. STRUCL (1974) beschreibt folgende Gehalte:

- Zinkblenden sind extrem eisenarm (um 0,1 %).
- Kupfergehalte schwanken zwischen 300 und 400 ppm.
- Cadmiumgehalte zwischen 1000 und 1500 ppm.
- Ge und As liegen unter der Nachweisgrenze.
- Bleiglanze sind arm an Ti und As (um 30 ppm).
- Die Elementgehalte von Ag, Bi, Cu werden mit 3 ppm angegeben.

Topla gilt heute hinsichtlich der Metallherkunft als Erosionsprodukt älterer, paläozoischer Mineralisationen. Das Blei ist nach isotopischen Untersuchungen weitaus älter (rd. 500 Mio Jahre) als die umgebenden Karbonatsedimente, die Bindung der Erze wird weitgehend von der Fazies kontrolliert.

Als Erklärung für das Bleialter gibt STRUCL (mündl. Mitt.) an, daß im Bereich Topla die Anisschichten und geringmächtiges Permoskyt direkt auf Altpaläozoikum (Magdalensbergserie, Ordovicium-Silur) aufliegt.

3.3.2. Dinarische Erzprovinz

Die Pb-Zn-Lagerstätten in triadischen Schichtgliedern der Dinariden zeigen nach STRUCL (1981) vielerorts genetisch Zusammenhänge mit dem triadischen Geosynklinalvulkanismus. Gegenüber den Bleiglanz-Zinkblende-Vererzungen der kalkalpinen Baueinheiten treten in den Dinariden polymetallische Vererzungen verschiedenster Zusammensetzung auf (Baryt, Eisensulfide, Eisenoxide, Fahlerze, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Antimonit, Boulangerit, Bournonit, Zinnober etc.).

Erwähnenswert sind besonders die bosnischen Lagerstätten Borovica, Veovača, Oovo sowie Brskovo und Šuplja stijena in Montenegro.

In der Lagerstätte Borovica liegt die Erzführung in karbonatischen Schichten des Anis, sie umfaßt Siderit, Ankerit, Hämatit, Barytbreccien mit Zinkblende und Bleiglanz. Die überlagernde Abfolge (Diabas-Hornstein-Formation) wird von ladinischen hornsteinführenden Schiefern mit Pyroklastiten aufgebaut. Geosynklinale Ergußgesteine (Spilit und Diabase) führen als Mineralisation Baryt, Eisensulfide, Bleiglanz, Zinkblende, Tetradrit und Kupferkies.

In der benachbarten, annähernd zeitgleichen Lagerstätte Veovača bei Vareš treten zusätzlich Antimonit, Boulangerit, Bournonite und Zinnober hinzu.

Gegenüber den genannten vorwiegend karbonatbundenen Lagerstätten, sind die Lagerstätten Montenegro (Črna gora) in engem Zusammenhang mit dem triadischen Porphyrit-Vulkanismus zu sehen.

Die Blei-Zink-Vorkommen von Brskovo finden sich in einer Serie von Porphyriten und Keratophyren mit Einschaltungen von triadischen, schiefrigen Sedimenten. Die schichtigen Erzkörper bestehen vorwiegend aus Pyrit und Zinkblende. Die gebänderten Derberze entsprechen weitgehend dem Typus Rammelsberg.

Anderorts (z. B. Šuplja stijena überwiegen gangförmige ZnS-Vererzungen in Keratophyren.

Die triadischen Pb-Zn-Erze in Črna gora weisen nach STRUCL einerseits typisch „marin-sedimentäre“, andererseits charakteristische „hydrothermale“ Bildungsmerkmale auf. Durch Metamorphose kam es in diesen Lagerstätten oftmals zu Umlagerungen und sekundären Erzanreicherungen.

3.3.3. Serbisch-Mazedonische Erzprovinz

Die triadischen Pb-Zn-Lagerstätten Westserbiens zeigen nach STRUCL (1981) ähnliche Verhältnisse. Die erzführenden triadischen Gesteinsserien lagern diskordant auf dem paläozoischen Untergrund und bestehen teils aus klastischen Gesteinen (Quarzite und Konglomerate), teils aus Karbonatabfolgen. Ähnlich wie in den Dinariden ist auch in Westserbien die Diabas-Hornstein-Formation (Diabase, Porphyrite, Tuffe) vertreten. Zusätzlich ist das gesamte Schichtpaket von jüngeren Granodioriten, Andesiten, Daziten und Quarzlatiten durchbrochen bzw. durchsetzt.

Welche magmatische Aktivität als eigentlicher Erzbringer anzusehen ist, ist vielfach ungeklärt. Nach Ansicht vieler jugoslawischer Lagerstättenforscher wird die Metallogenese in Zusammenhang mit dem jüngeren Magmatismus gesehen. Als klassisches Beispiel nennt STRUCL das Granodioritmassiv von Boranja. Rund um dieses Massiv finden sich in der metamorphen Kontaktzone Lagerstätten und Vorkommen von Magnetit und Molybdänglanz, in einiger Entfernung Blei- und Zinkerze sowie noch weiter außen Antimonit-, Flußpat- und Zinnober-Lagerstätten. Es liegt augenscheinlich eine zonare Verteilung von Lagerstätten im Sinne der klassischen Lagerstättenlehre vor.

Die bergwirtschaftlich wichtigsten Pb-Zn-Vorkommen dieses Gebietes sind Veliki Majdan, Bobija und Tisovik.

Veliki Majdan liegt im SE-Randgebiet des Boranja Granodiorites. Die aus Derberzen bestehenden Erzkörper sind vorwiegend an Kalke, die Imprägnationserze dagegen an Quarzlatitkontakte gebunden.

Die Baryt-Cerussit-Lagerstätte Bobija ist schichtgebunden und wurde, wie die noch weiter SE des Granodiorits gelegene Lagerstätte Tisovik, nicht von der Metamorphose erfaßt.

Durch das Auftreten feinschichtiger Erze (Schwerpat, Cerussit, Quarz; untergeordnet Pyrit, Zinkblende, Bleiglanz, Kupferkies, Tetraedrit) werden die letztgenannten Lagerstätten als syngenetisch-sedimentäre Bildungen angesehen.

Nach STRUCL (1981) ist die Anlage der Vererzungen Westserbiens in der Trias erfolgt. Der Einfluß des Granodiorits ist lediglich für die Prägung der Lagerstätte und ihres Inhaltes verantwortlich zu machen.

3.3.4. Ostserbische bzw. Karpatisch-Balkanische Erzprovinz

In der karpatisch-balkanischen metallogenetischen Provinz fehlen karbonatgebundene Pb/Zn-Lagerstätten. Die Lagerstätten dieser Provinz werden der Vollständigkeit halber angeführt.

Nach JANCOVIC (1977) reicht diese Provinz vom Apuseni Gebirge in Rumänien über die Ridanj-Krepoljin-Zone und dem Vulkanitkomplex von Bor in Ostserbien, der Srednjegorje-Zone in Bulgarien bis in das Gebiet von Burgas am Schwarzen Meer.

Diese Erzprovinz, die dem „Tethyan Eurasian Metallogenic Belt“ angehört, trägt eine Reihe von ökonomischen Lagerstätten. Von besonderer Bedeutung sind „porphyry copper“-Lagerstätten und massive Kupfersulfidlagerstätten.

Diese endogenen Lagerstätten stehen in Beziehung mit vulkanisch-intrusiven Komplexen mit meist kalkkalischer Zusammensetzung. Seltener sind Erzlagerstätten, die an Ophiolite gebunden sind.

In der metallogenetischen Einheit überwiegen Kupfer- und Molybdänerze. Blei, Zink und Gold sind meist nur im Außenraum von „porphyry copper“-Erzkörpern anzutreffen. Zink und Blei werden als Prospektionsindikatoren für Kupferlagerstätten verwendet.

Die Lagerstättentypen dieser metallogenetischen Provinz sind:

- Porphyry copper mit Molybdän.
- Metasomatische massive Sulfiderze.
- Skarnlagerstätten.
- Ganglagerstätten

Die metallogenetischen Epochen dieser Provinz sind:

- Untertrias
Beginn von rifting Systemen.
- Unterjura
Ophiolite mit kleinen Erzkörpern von Fe-Ti-Oxiden, Cu-Ni-Sulfiden und vulkano-sedimentären Mn-Lagerstätten.
- Cenoman/Eozän
Erzbringende Hauptepoche, Kupferlagerstätten. Laramische vulkano-intrusive Komplexe (Granodiorite, Diorite).
- Neogen
Vulkanismus (Pb, Zn, Au, Cu) im Nordteil der Provinz.

Die Mineralisationen sind an oberadinisch-karnische Karbonate gebunden. Esino Kalk in Gorno, Sciliar Dolomit in Salafossa und Dolomia Metallifera in Raibl sind die Trägergesteine der Pb-Zn-Erze. Die genannten Gesteine sind stratigraphische Äquivalente des Wettersteinkalkes bis -dolomites der Nordalpen. Die Erzführungen sind gangförmig mit stockförmigen Ausweiterungen. Schichtige Vererzungen treten lediglich in Gorno auf. Die Erze sind zinkbetont ($Pb : Zn = 1 : 5$); Schwer- und Flußspat in wechselnden Gehalten begleiten die sulfidischen (oxidischen) Pb-Zn-Erze.

3.4.1. Paläogeographie und Metallogenese

Nach OMENETTO (1979 cum lit.) kontrollieren regional ausgedehnte N-S gerichtete Strukturelemente die paläogeographische Entwicklung der permotriadischen Sedimentabfolge. Diese Strukturen bewirkten die Herausbildung von Plattformen und Becken. Wie aus Abb. 12 hervorgeht, erfolgt die Untergliederung in die Plattformen: Liganese – Atesine – Julische und in die Becken: Lombardisches – Carnian-Bellunese.

Die Abfolgen in den Plattformen sind unregelmäßig und mächtigkeitsreduziert, im Bereich der Becken regelmäßig und mächtig. BRIGO & OMENETTO (1977) fassen die metallogenetische Entwicklung in Plattformen und Becken wie folgt zusammen:

In den Plattformen

- Auftreten von Mineralisationen vorwiegend an der Basis der permotriadischen Abfolge.
- Zuordnbare Beziehung mit mineralisiertem kristallinem Basement.
- Stratiforme Erzanreicherungen (Pb-Zn) in anischen Schichtgliedern der Liganeser Plattform, U-Pb-Cu im Grödener Sandstein und im permischen Bellophonkalk, insbesondere im Bereich der Atesine Plattform.

Als Beispiel von stratigraphisch tief liegenden Pb-Zn-(F)-Vererzungen führt KLAU & MOSTLER (1983) die permischen Schichten von Tregiovo an. Diese fluviatilen bis lakustrinen Schichten wurden in intramontanen Becken über dem Bozner Quarzporphyr abgelagert. Vererzt sind lakustrine Sedimente. Nach KLAU & MOSTLER sind die Erze von den unterlagernden Vulkaniten abzuleiten und wurden im Porenwasser der lakustrinen Sedimente ausgefällt. Die Erzvorräte in den Schichten von Tregiovo werden von den Verfassern mit 40 Millionen Tonnen (ca. 4 % Zn) angegeben.

Im Beckenbereich

- Auftreten von Mineralisationen über die gesamte permotriadische Abfolge (insbesondere im lombardischen Becken), wobei die Schichtglieder des Perm, Anis, Ladin/Karn und Nor mineralisiert sind.
- Es treten klare paragenetische Differenzierungen auf, wobei
 - Fe-Ba-U im Permoskyth,
 - Pb-Zn-F-(Ba) im Anis, Ladin/Karn,
 - F im Nor vertreten sind.
- Auftreten von schichtgebundenen (stratiformen und diskordanten) Lagerstätten, oft in Verbindung mit „restricted metallotects“ und kontrolliert von lokalisierbaren paläogeographischen und paläotektonischen Parametern.

3.4. Pb-Zn-Vererzungen in der Trias der Südalpen (Italien)

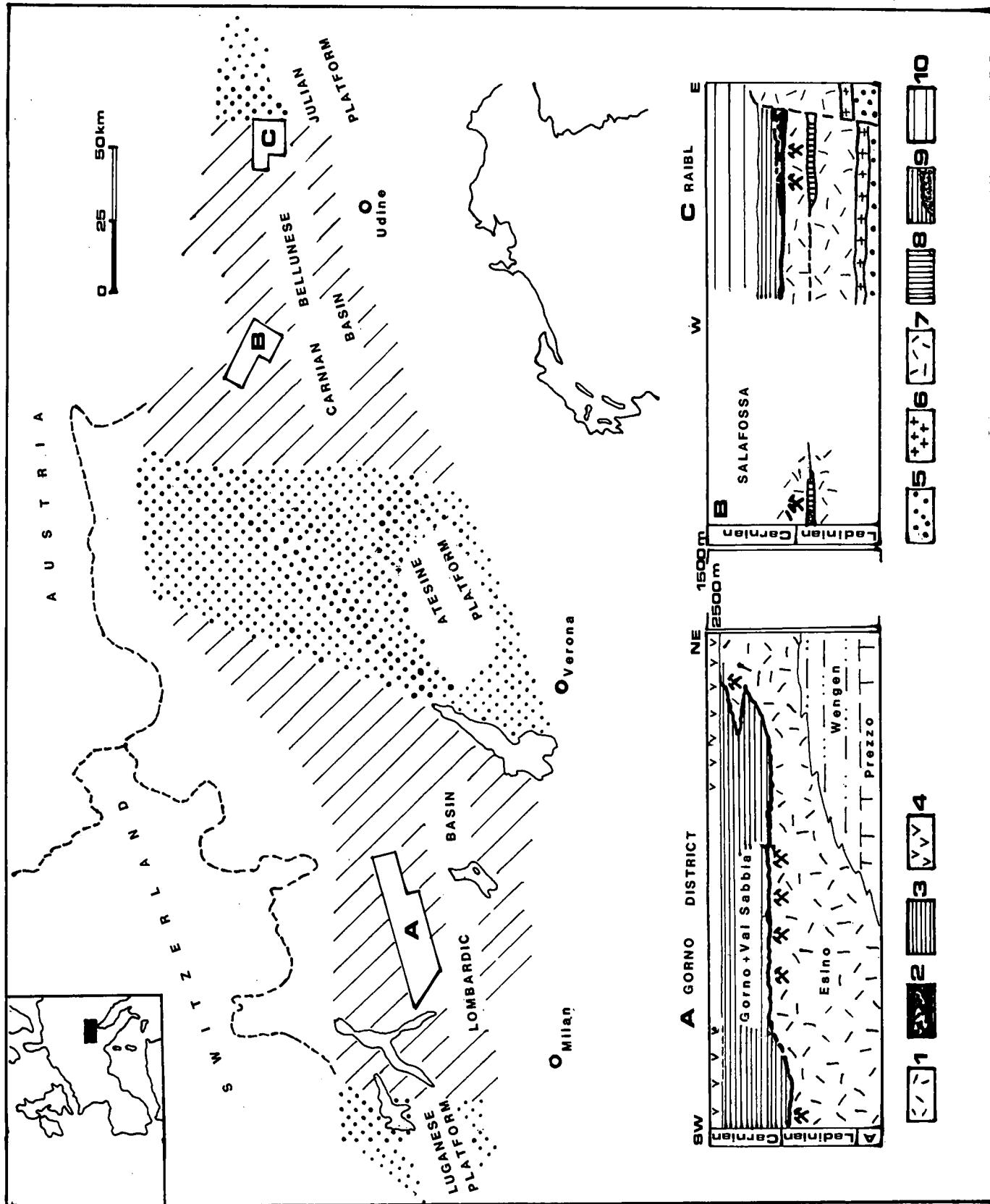
Im italienischen Anteil der Südalpen, die sich von der jugoslawisch-italienischen Grenze im Osten bis in den Raum nördlich Mailand über 350 km erstrecken, sind vier Lagerstättenprovinzen bekannt (vgl. Abb. 12):

- Raibl.
- Salafossa.
- Auronzo.
- Gorno.

Das Pb-Zn-Metallvermögen der genannten Lagerstätten wird nach OMENETTO (1979) mit >3 Millionen Tonnen abgeschätzt, wobei rd. 2,5 Millionen Tonnen Pb+Zn-Metall seit Bestehen der Bergbaubetriebe gewonnen wurden.

Abb. 12.
Paläogeographie der
Permofrias in den Süd-
alpen.
Nach OMENETTO (1979).
A = Gorno-Distrik; B =
Salafossa-Distrik; C =
Raibl.

1 = Karbonatplattform-
Fazies; 2 = Backplätt-
form, Kalke und Schie-
fer; 3 = Lagunäre Delta-
fazies; 4 = Evaporite der
S. Giovanni Bianco-For-
mation; 5 = Kaltwasser-
Formation; 6 = Rio
Freddo-Vulkanit; 7 =
Karbonatplattform-Fa-
zies; 8 = Pseudobu-
chenstein; 9 = Calcare
del Predil-Formation; 10
= Rio del Lago-For-
mation.



- Ökonomische Konzentrationen speziell im Übergang zwischen ladinischen und karnischen Sedimenten (z. B. Gorno, Salafossa, Raibl).

3.4.2. Die Pb-Zn-F-Erzprovinz Gorno

Die Provinz, ca. 20 km nördlich Bergamo gelegen, umfaßt eine „Hoffnungsfläche“ von rund 2000 Quadratkilometern. Die Pb-Zn-F-Mineralisationen treten im hangenden Esino Kalk, dem 70 bis 150 m mächtigen „Metallifero“ auf. Es werden zwei Fazieseinheiten unterschieden.

Die untere Fazieseinheit wird aus peritidalen, z. T. epikontinentalen Plattformkarbonaten aufgebaut. Die obere Fazieseinheit ist einem geschützten „back platform“ Becken zuzuordnen.

Die Abfolgen entwickelt sich zwischen dem Hangenden der ladinischen Karbonatplattform des Esino Kalke und dem Liegenden der karnischen delta-lagunaren Abfolge des „Val-Sabbia-Sandsteines“ der sogenannten Gorno-Formation.

Innerhalb des „Metallifero“ tritt von W nach E eine Faziesverzahnung auf, wobei gegen Osten hin die Vererzungen in fortschreitend höheren Positionen auftreten. Die im Westen auftretenden Pb-Zn-Vererzungen von Lecco gehören dem Unterladin an, während die im Osten auftretenden Flußspaterze des Bergbaues Presolana in das mittlere Karn zu stellen sind.

Im „Metallifero“ sind die Mineralisationen an folgende paläogeographische Ereignisse gebunden:

Am Faziesübergang Plattformkarbonate – Becken kommt es zu Trockenlegung der „back-platform“ Kalke über einem Netzwerk von küstennahen Hochzonen. Diese Hochzonen sind tektonische Horstbildungen. Die nunmehr trocken liegenden Hochzonen werden von Erosion und Verkarstung erfaßt. Die nachfolgende marine Transgression bringt am Litoralrand bituminöse, schwarze Tone („Schwarzschiefer“) zur Ablagerung.

Die Erzführungen sind nach OMENETTO (1979) zweiphasig und vorgenannten paläogeographischen Ereignissen zuzuordnen.

Die Erzführungen im „Metallifero“ sind ausgebildet als:

- Stratiforme Erzkörper im unteren Teil der Schwarzschiefer.
- Diskordante Erzkörper in den verkarsteten „back-platform“ Kalken.

Die stratiformen Erzkörper in den Schwarzschiefern sind zinkbetont. Die Mineralisationen werden von klumpenförmigen Aggregaten kristalliner Zinkblende (porphyroblastische Körner und Kristallaggregate von 0,5 mm bis mehrere cm Durchmesser) aufgebaut. Die Aggregate sind mit feinkristallinem Bleiglanz und Pyrit vergesellschaftet. Als Matrix der Erze tritt ein Gemenge von Calcit und bituminösem Material mit wechselnden Gehalten von Illit, Quarz und Gips innerhalb der Schwarzschiefer auf. Unter dem Mikroskop erweisen sich die Zinkblendeaggregate als Rekristallisationsprodukte von frühdiagenetischen ZnS-PbS-FeS₂-Körnern mit z. T. erhaltenen laminierten bzw. disseminierten Texturen. Die Rekristallisation erfaßte auch die umgebenden bituminösen Sedimente. In rekristallinen Aggregaten zeigen Bleiglanze oft mikroskopische Einschlüsse von Cu-Sb-As-Sulfosalzen (Tetraedrit, Bournonit, Jamesonit, Tennantit, Boulangerit).

Die diskordanten Erzkörper haben meist einen räumlichen Zusammenhang mit stratiformen Erzkörpern. Sie treten in Karsthohlräumen innerhalb der Esino-Kalke auf, die die sulfidführenden Schwarzschiefer unterlagern. Neben Hohlraumfüllungen treten Mineralisationen als Netzwerke in Fissuren und Breccienzonen auf. Die Paragenesen der diskordanten Erzführungen sind ident mit den stratiformen Erzen, lediglich die bituminösen Sedimentbestandteile nehmen nach unten rasch ab. Die diskordanten Erze sind Fremdkörper im umgebenden Gestein. Die Gesteine des „Metallifero“ sind frei von geochemischen Anomalien.

Die Erzzusammensetzung und die Geochemie der bituminösen Karbonatgesteine lassen erkennen, daß sowohl schichtige als auch diskordante Mineralisationen von einer syndiagenetischen Metallanreicherung in bituminösen Schlämmen abzuleiten sind. Diese bituminösen Schlämme lagern transgressiv über verkarsteten Hochzonen und füllten früh gebildete Karsthohlräume auf, die direkt mit der Emersionsfläche in Verbindung stehen.

BRIGO & OMENETTO interpretieren z. T. massive Sulfidkonzentrationen mit Calcit als Bindemittel, in tieferen Höhlensystemen als chemisches Ausscheidungsprodukt von metallführenden brines, wobei deszendent und lateral Erzlösungen aus Schwarzschiefern während des Kompaktionsstadiums mobilisiert wurden.

Die nahe Verwandtschaft zwischen schichtigen und diskordanten Vererzungen in Gorno wird durch isotopische Daten bestätigt. Spurenelemente der Erze sind Cd, Fe, Ga, Ge, Sb und Hg. Die Anwesenheit von Sb und Hg in Zinkblenden und z. T. Bleiglanzen der Lagerstätte Gorno führt FRUTH & MAUCHER (1966) auf eine vermutete Anwesenheit vulkanischer Zentren zurück. BRIGO & OMENETTO sind jedoch der Ansicht, daß die metallogenetische Provinz der Lombardei geochemisch durch Hg- und Sb-Anwesenheit charakterisiert ist. Es treten örtlich schichtgebundene Sb- und Hg-Erze (Tetraedrit und Zinnober) in der metamorphen Basis auf, ferner sind Hg- und Sb-Führungen in manganreichen Sideriten bei Servino in skytischen Sedimenten bekannt.

Die Fülle von Fakten sprechen nach BRIGO & OMENETTO für eine „postdepositional evolution“ der Pb-Zn-Mineralisationen im Erzbezirk Gorno. Die Entwicklung war noch vor Ende des Mesozoikums abgeschlossen. Die Autoren führen als Beweis porphyrische Gänge mesozoischen Alters an, die die Vererzungen durchschlagen.

3.4.3. Die Pb-Zn-Erzprovinz Salafossa und Auronzo

In den Dolomiten, nördlich von Belluno bis an die österreichische Staatsgrenze reichend, sind eine Vielzahl von Pb-Zn-Mineralisationen bekannt. Von besonderem bergwirtschaftlichem Interesse ist die rd. 5 km westlich von Sappada gelegene Lagerstätte Salafossa. Die Lagerstätte wurde 1957 aufgefunden, nach modernsten Gesichtspunkten exploriert und nach 25 jähriger Bauzeit 1986 ausgerichtet.

Die Lagerstätte hatte ein Erzvermögen von 10 Mio. t mit mittleren Metallgehalten von 4,9 % Zn und 0,95 % Blei bei z. T. hohen Anteilen von Eisenkiesen.

Die triadische Abfolge in den Dolomiten ist nach ASERETO et al. (1977) durch Karbonatplattformen und Beckenentwicklungen mit hohem klastischem Sedi-

mentanteil gekennzeichnet. Die Karbonatplattformentwicklung des Serler Dolomits (Unteres Anis), Contrin Formation (Oberes Anis), Sciliar Dolomits (Ladin), Cassianer Dolomits (Oberes Ladin bis mittleres Karn) stehen paläogeographisch in engem Wechselspiel mit Beckenentwicklungen, die insbesondere in der ladini-schen Stufe durch mächtige vulkanoklastische Sedimente gekennzeichnet sind. Die Plattformen wurden vom Anis bis in das Karn durch drei Emersionsphasen beeinflußt.

Die Pb-Zn-Mineralisationen treten vorwiegend im Übergangsbereich Plattform – Becken auf. Überregional gesehen dominiert Zink ($Zn : Pb = 5 : 1$). Die Erze sind überwiegend an Lösungsbreccien und Hohlraumbildungen (Paläoreliefs) gebunden, die Störungszonen folgen.

Im Serler- und Cassianer Dolomit tritt eine Häufung von Mineralisationen auf.

Bergwirtschaftlich interessante Erzanreicherungen liegen in der Nähe von Störungszonen, die während der alpinen Orogenese aktiviert bzw. reaktiviert wurden (Abb. 13).

Abb. 14 zeigt die paläogeographische Situation der östlichen Dolomiten und die damit in Zusammenhang stehenden Pb-Zn-Vererzungen.

Durch die tektonischen Bewegungen (Dislokation) gelangten die Plattformkarbonate oftmals in Kontakt mit Sedimenten des Oberperm und Anis, die generell reich an Schwefelverbindungen sind (z. B. Evaporite der Bellerophonschichten).

ASERRETO et al. (1977) beschrieben folgende mineralisierende Vorgänge:

- Lösung von Metallionen während Emersionsphasen. Vorkonzentration in Böden; Transport und Ablage-rung im Becken,

- Syn- bis postdiagenetische Migration der Metallio-nen („complex chloridic brines“) vom Becken in die Karbonatplattform.
- Ausfällung und Platznahme als Metallsulfide im Be-reich von Störungszone und Paläokarststrukturen. Die massive Sulfidbildung soll erfolgen, wenn durch vorgenannte tektonische Dislokation „schwefelrei-che Sedimente“ mit Karbonatplattformsedimenten in Kontakt treten (Reduktion von Sulfat in Sulfid).

Nach ASERRETO et al. (1977) sind die Pb-Zn-Lager-stätten der Dolomiten nachfolgend kurz charakterisiert.

Salafossa

Die Lagerstätte ist in Cassianer Dolomiten (Ladin, Karn), ca. 1,5 km vom Plattformrand entfernt, gelegen. Der scharf abgrenzbare stockförmige Erzkörper mit rd. 590.000 t Pb + Zn-Metall und 200.000 t Eisen ist als Breccie ausgebildet. Die Erze, Zinkblende, Bleiglanz und Pyrit in weißer sparitischer Dolomitmatrix umhüllen weitgehend taube Dolomitbreccien. Zinkblende tritt oftmals kolloform um die Gesteinsbruchstücke auf, Blei-glanz ist meist rekristallisiert.

Auronzo-Distrikkt

Die Lagerstätte Argentiera (7 km westlich von Auronzo) wurde 1971 ausgegraben und produzierte rd. 1 Mio. t oxidische Erze mit 6 % Zn und 1 % Pb (Galmei und Cerussit).

Breccienminerale und resedimentierte Erze treten im Serler Dolomit auf.

Weitere Erzkörper (Ferrera, Grigna, Pian da Barco) liegen rd. 1,5 km nordwestlich Auronzo und lieferten seit dem 18. Jhd. bis 1963 rd. 0,6 Mio. t mit 6 % Zn und 1,2 % Pb. Die Breccienminerale sind ausschließ-lich an tektonische Strukturen gebunden.

Im „Monte Rite – Valle Inferno“ Gebiet zwi-schen Fornesighe und Cibiana treten eine Vielzahl von

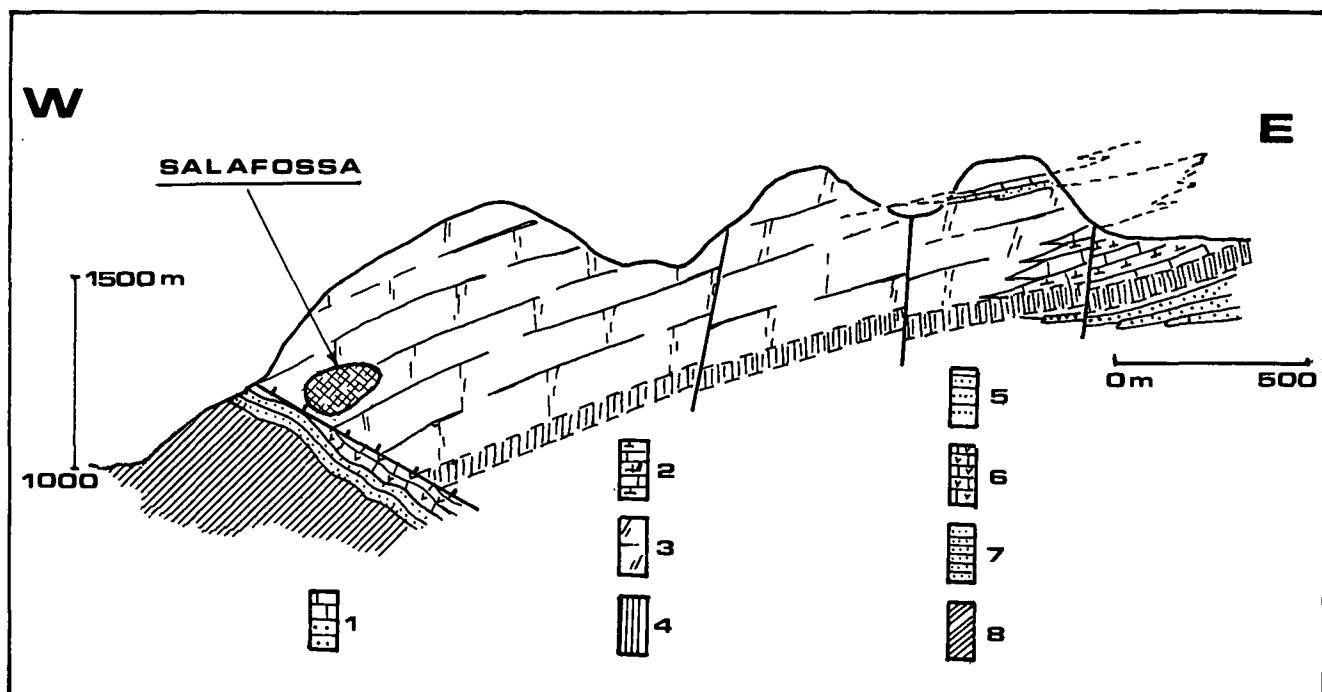


Abb. 13.
Geologisch-tektonischer Rahmen der Pb-Zn-Lagerstätte Salafossa.

Nach ASERRETO et al. (1977).

1 = Obere S. Cassiano-Formation; 2 = Untere S. Cassiano-Formation; 3 = Cassianer Dolomit; 4 = Pseudobuchenstein-Formation; 4 = Wengen-Gruppe; 6 = Bellerophon-Formation; 7 = Val Gardena-Formation; 8 = Paläozoisches Basement.

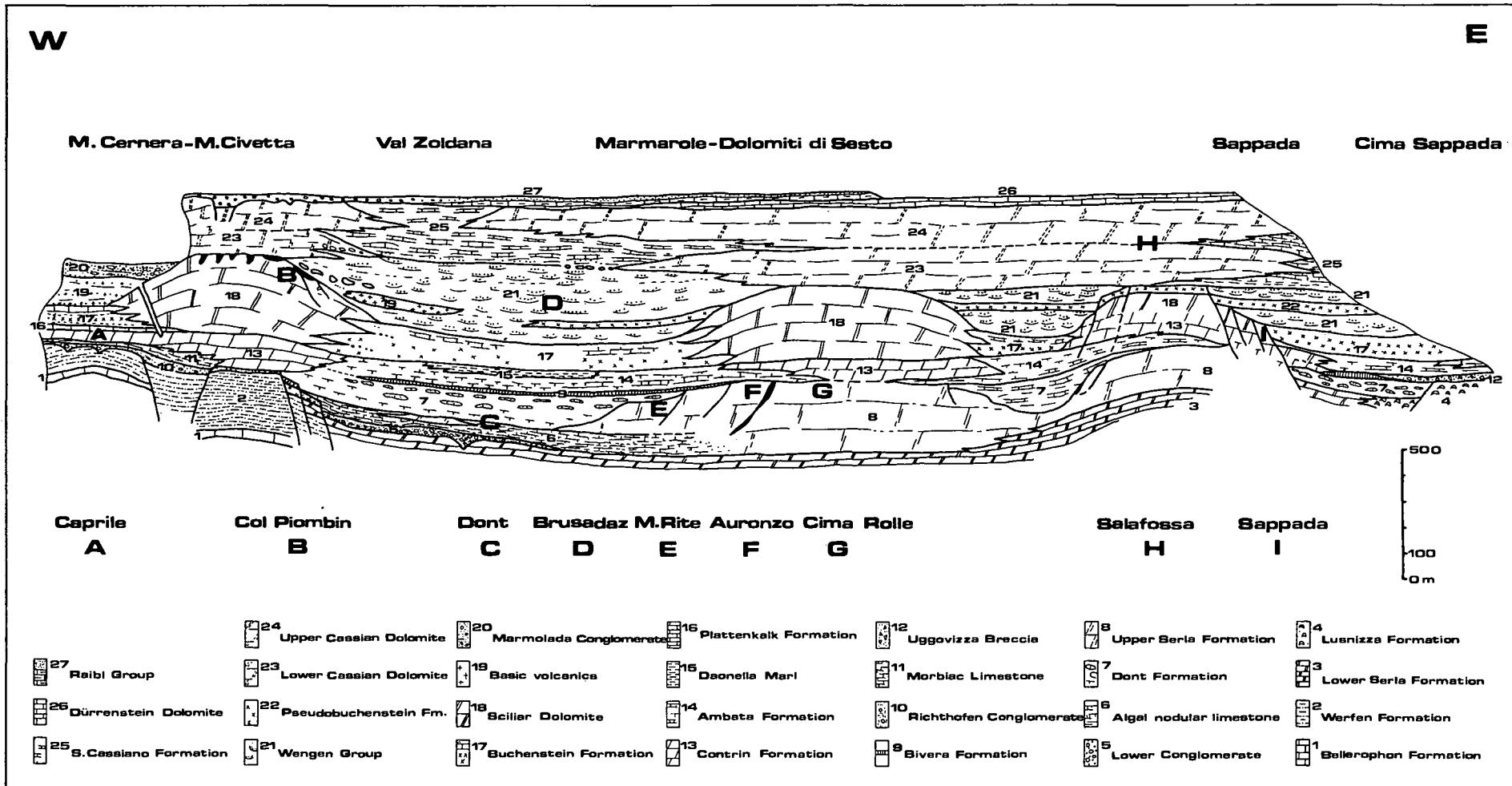


Abb. 14.
Stratigraphische Korrelation (E-W) der Trias in den Dolomiten und stratigraphische Position der Pb-Zn-Vorkommen (A-I).
nach ASSERETO et al. (1977).

Pb-Zn-Vorkommen im Serla-Dolomit (anisische Stufe) auf Karststrukturen, als Folge einer anisischen Emissionsphasen, sind mit Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit und Schwerspat als „Internsediment“ gefüllt, wobei die Konzentration der Erze zu einem späteren Zeitpunkt (Tertiär) erfolgte.

10 km südwestlich von Cortina liegt am Passo Giau die Lagerstätte Col Piombin. Die Erze treten im Hangenden der Sciliar-Karbonatplattform auf und sind vorwiegend an Hohlräume eines Paläoreliefs gebunden. Turbiditsedimente der Wengener Schichten treten zusammen mit Zinkblende und Bleiglanz und Dolomitsbreccien als Internsedimente auf. Resedimentation von Erzen und/oder Migration von Erzlösungen in ein Paläorelief wird angenommen.

Die Erzvorkommen Cresta dei Tofi (San Stefano di Cadore), Cima Rolle, Dont, Brusadaz, Caprile und Sappada sind bergwirtschaftlich von untergeordneter Bedeutung. Wie vorgenannte Lagerstätten sind diese Pb-, Zn-, Fe- (Ba-)Mineralisationen strukturgebunden.

Die Zusammenfassung der Erze in den Dolomiten ist sehr eintönig. Zinkblende und Bleiglanz sind mit wechselnden Gehalten von Eisensulfiden (Pyrit, Markasit) und Schwerspat vergesellschaftet. Die Erze sind frei von Silber, Kupfer und Antimon.

Interessant erscheint, daß nach BRIGO et al. (1988) die Pb-Isotopendaten der Triasvererzungen des Auronodistrikts weitgehend den schichtgebundenen Zn-, Pb-, Ba- (F-)Vererzungen in den Karnischen Alpen entsprechen. Die Erze sind an ein devonisches Paläorelief gebunden und werden von unterkarbonen bis unterpermischen klastischen Sedimenten überlagert. Die Erze sind Aufarbeitungsprodukte bzw. Verwitterungsprodukte (Ba, F) devonischer Karbonate (Karsterze).

3.4.4. Die Pb-Zn-Erzprovinz Raibl

Die Erzprovinz südlich von Tarvisio gelegen, konzentriert sich auf das Rio del Lago Tal nördlich des Cave del Predil. Die Erzprovinz umfaßt eine Fläche von ca. 5 km². Der Monte Re (1912 m SH) birgt die Lagerstätte Raibl (Cave del Predil). Ca 1,5 Mio. t Pb + Zn-Metall wurden aus der Lagerstätte gefördert.

Die grundlegenden Arbeiten über die Geologie und Lagerstättenkunde gehen auf DI COLBERTALDO (1948) zurück. ASSERETO et al. (1976), BRIGO & OMENETTO (1976), BRIGO et al. (1977), OMENETTO (1979) schufen moderne paläogeographische Modelle, die für die Erklärung der Lagerstätte maßgeblich sind.

Über Sandsteinen und Kalken der Werfener Schichten folgen mächtige Konglomerate und Breccien der sog. „Ugovizza Breccie“. Diese Breccien sind wesentliche Bestandteile der anisischen Stufe. Sie werden von oberanisisch-unterladinischen Vulkaniten der „Kaltwasser Formation“ überlagert. Diese „Rio Freddo“ Vulkanite bestehen vorwiegend aus Tuffiten und Ignimbriten. Diesen basalen Schichten folgt der über 1000 m mächtigen „Dolomia Metallifera“, das Äquivalent des Wetterstienkalkes in nordalpiner Fazies. Die karnische Stufe (Raibl Group) wird im Lagerstättenbereich vom unteren und oberen Dolomia Metallifera 500–600 m mächtig aufgebaut. Zwischen den beiden Schichtgruppen treten gut gebankte, tuffitisch-kalkige „Pseudobuchensteinschichten“ auf. Den hangenden Dolomia Metallifera

überlagern bituminöse Dolomite der Raibl Gruppe (Calcare del Predil).

Die Paläogeographie dieser Raibler Schichtgruppe ist durch eine E-W streichende Beckenentwicklung zwischen dem Valbruna- und Rio del Lago-Tal (Raibl) gekennzeichnet. Die euxinischen marinen Sedimente der Calcare del Predil Formation sind im Beckenzentrum bis zu 300 m mächtig, am Beckenrand sind die Schichten mächtigkeitsreduziert und von Störungen begrenzt.

In der Lagerstätte Raibl tritt Pb und Zn im Verhältnis 1 : 5 auf. Die Vererzungen sind gangförmig bzw. stockförmig. Schichtige Mineralisationen fehlen. Die Mineralisationen treten im „Oberen Dolomia Metallifera“ auf und werden von OMENETTO cum lit. (1979) als epigenetische, deszendente Füllungen von Hohlräumen und Fissuren gedeutet. Die vererzten Hohlräumbildungen stehen in engem Zusammenhang mit N-S streichenden Störungen (Abendblatt-Morgenblatt, Struggl, Aloisi, Fallbach), NE streichende Störungen (Rinnengraben – Bärenklamm) sowie NNW bis NW streichenden Störungen (Abendschlag, Vizenco). Abb. 15 zeigt vereinfacht die Lagerstätte.

Die Erzführungen sind Fremdkörper im Nebengestein. Es fehlen jegliche Anzeichen primär stratiformer Pb-Zn-Mineralisationen im Dolomia Metallifera.

Geochemische Gehalte von Pb, Zn treten nach ZELLER (1970) in den mergeligen Kalken der Pseudobuchensteinschichten auf (122 ppm Zn, 10 ppm Pb). Stratiforme Anomalien (1460 ppm Zn, 650 ppm Pb) wurden auch aus den basalen „Calcare del Predil“ Schichten beschrieben.

Die tektonischen Strukturen bzw. Störungen in Raibl waren seit dem Albagerungszeitraum der „Pseudobuchensteinschichten“ (Oberladin) aktiv. Fortschreitend während des unteren Karns haben sich die Strukturen (block-faultings) dem sedimentären Environment der dolomitisch-bituminösen „Calcare del Predil Formation“ angepaßt, wobei es zu Faziesvariationen und Mächtigkeitsschwankungen beidseitig der „Strukturen“ kam. Die Strukturen blieben bis in alpidische Zeit, z. T. sogar bis heute tektonisch aktiv.

Die erzführenden Strukturen stehen in enger Beziehung zu den triadischen paläogeographischen und paläotektonischen Verhältnissen, die Lagerstätte ist an den östlichen Rand des E-W-gerichteten karnischen „Raibl-Vabruna“ Beckens gebunden. Die strukturgebundenen Erze treten ausschließlich in ladino-karnischen Plattformkarbonaten des Oberen Dolomia Metallifero auf. Diese erzführende Serie wird im Liegenden von den vulkano-sedimentären „Pseudobuchensteinschichten“, im Hangenden von den bituminös-dolomitischen Schichten der Calcare del Predil-Formation begrenzt.

Die aus epigenetisch zu bezeichnenden Mineralisationen bestehen aus makro- und mikrokolloformen Zinkblenden gelber bis roter Färbung. Schalenblenden sind die überwiegende Erztextur.

Die Zinkblenden sind nach HEGEMANN (1960) reich an Ge und Ti, Bleiglanz ist frei von Silber. Die Ge-Gehalte der ZnS liegen zwischen 400 und 450 ppm (Produktionszahlen der Zinkhütte Gailitz).

Im südlichen Teil der Lagerstätte überwiegt gelbe Schalenblende mit grobkristallinem Bleiglanz (Bereich Struggl). In diesem Teil überwiegen schwach negative $\delta^{34}\text{S}_{\text{‰}}$ -Werte (-6,43 bis -14,43). Starke Rekristallisationen der Sulfide sind typisch. Alpine tektonische Pro-

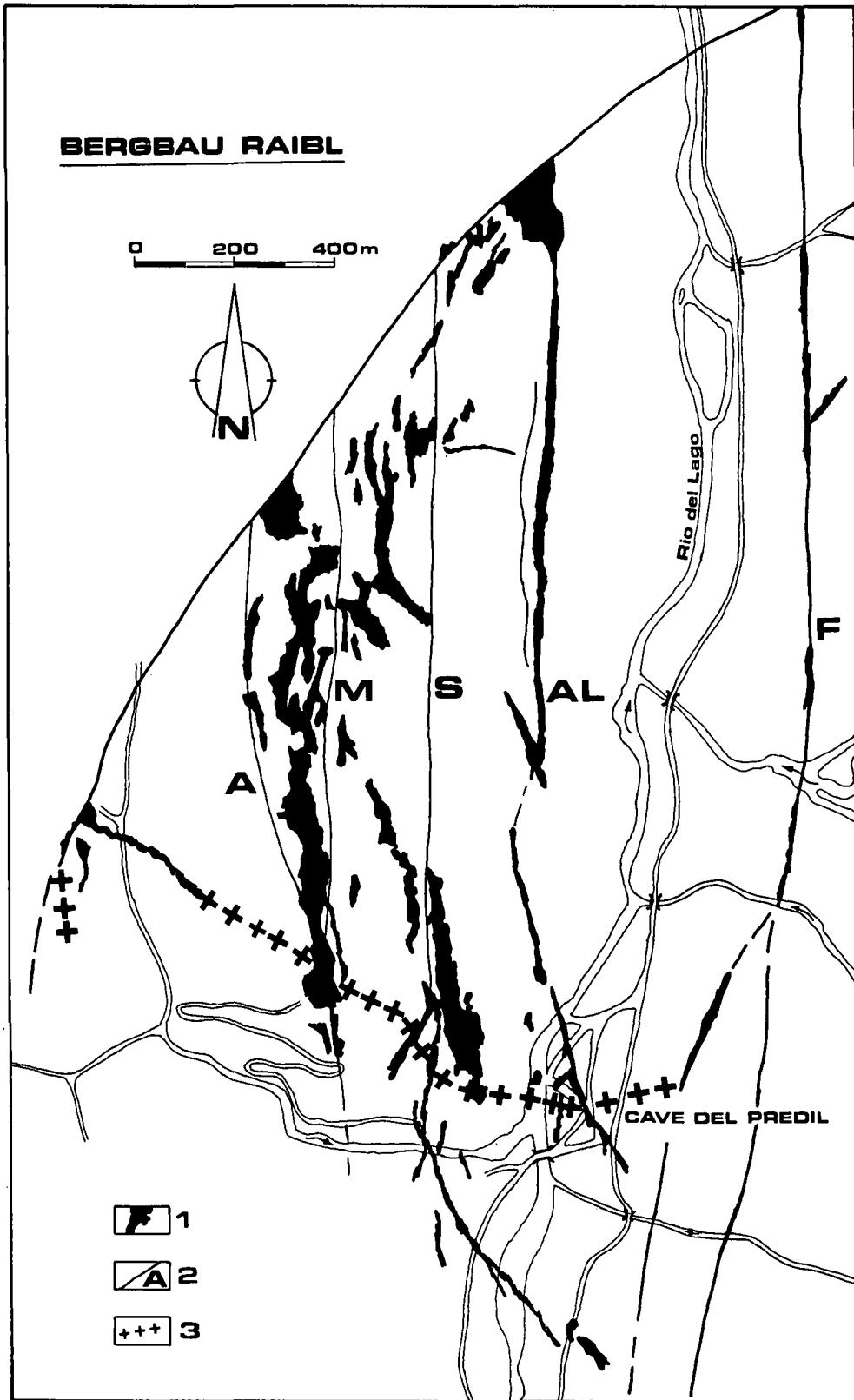


Abb. 15.
Übersichtsskizze des Pb-Zn-Bergbaus Raibl.
1 = Erzführungen; 2 = Störungszonen; 3 = Ausbißlinie der Calcare del Predil-formation.
A = Abendblatt; M = Morgenblatt; S = Struggl; AL = Aloisi; F = Fallbach.

zesse werden für diese Rekristallisationen verantwortlich gemacht.

Im nördlichen Abschnitt der Lagerstätte (entlang der NE streichenden Bärenklammstruktur) tritt hauptsächlich rote Schalenblende in Vergesellschaftung mit Pyrit und Melnikopyrit, Dolomit, Schwerspat, Spuren von Bleiglanz und Jordanit auf. Die roten Schalenblendens sind besonders reich an Germanium (400 bis 1000 ppm). Die Erze zeigen „primäre Texturen“, die

das Erz begleitenden mechanischen Internsedimente sind schlecht sortiert und beinhalten Komponenten von schwarzen bituminösen Dolomiten mit Zinkblende, Pyrit und Schwerspat-führenden Mikriten. Die $\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$ -Werte der roten Schalenblende und der begleitenden Eisensulfide in der Bärenklamm-Zone sind hoch negativ (-21,71 bis -25,60).

Als letzte, späteste Mineralisationsphase treten in Raibl „Röhrenerze“ auf. Diese Erze sind als Stalaktiten

ausgebildet und werden von grobkörnigem Bleiglanz sowie oxidischen Pb-Zn-Fe-Produkten und Fragmenten von stalaktitischen Pb-Zn-Fe-Gelsulfiden in einer späti-gen weißen Dolomitmatrix aufgebaut.

Im regionalen als auch lagerstättenbezogenen Rahmen besteht in den genannten Erzprovinzen der Südalpen eine enge Beziehung zwischen der Pb-Zn-Mineralisation und der paläogeographisch-paläotektonische Si-tuation in der Trias.

Die von OMENETTO (1979) vorgenommenen vergleichen-den Studien lassen erkennen, daß der heute vorliegende Grad der Vererzungen Variationen aufweist, die in Bezug auf Erzzusammensetzung, Gefüge und Geochemie auf eine differenzierte, postsedimentäre Evolution zurückzuführen ist.

3.5. Pb-Zn-Vorkommen in den Westkarpaten (CSSR)

Im Gegensatz zu den paläozoischen und kristallinen Einheiten der Westkarpaten, die eine große Zahl von wirtschaftlich bedeutenden und genetisch vielfältigen Minerallagerstätten beherbergen (KANTOR, 1977; ILAVSKY, 1979), ist die Metallogenie der mesozoischen Ge-steineinheiten einfach.

Nach ILAVSKY (1979) sind die paläozoischen Erze hauptsächlich komplexer Natur und überwiegend vulkanosedimentärer Genese. Die stratigraphische Reich-weite umfaßt den Zeitraum Kambrium – Silur. Die schichtgebundenen Komplexerze weisen eine wech-selnde Zusammensetzung von Eisensulfiden, Pb, Zn, Cu, Sb; Cu-Ni-Co; U-Mo, As, ±Ba auf.

Karbonatgebundene Pb-Zn-Erze treten ausschließ-lich in der anisischen Stufe in Form von Kleinlagerstätten bzw. Vorkommen auf. Die mächtigen, überlagern-den Karbonatkomplexe (Ladin-Karn) sind frei von Pb-Zn-Mineralisationen.

Die Abfolge der Trias in den Westkarpaten („Choc- und Drienock Decke“) beginnt mit Vulkaniten (Skyth), gefolgt von grauen Dolomiten, dunklen Karbonaten vom Typus Gutensteiner Kalk (Anis) und massigen hellen Karbonaten (Typus Steinalm Kalk), Reiflinger Kal-ken sowie den mächtigen Abfolgen von Wettersteinkalk (Ladin, Karn).

Die Pb-Zn-Mineralisationen sind ausschließlich an Karbonate (dunkle Kalke und Dolomite) der anisischen Stufe gebunden. Sie bilden unregelmäßige linsige Kör-per mit Breccien, Erzrhythmen, Imprägnationen und gangförmigen Typen. Neben den Hauptmineralen Blei-glanz und Zinkblende treten wechselnde Gehalte von Eisensulfiden, Kupferkies, Tennantit, Bornit, Tetrahe-drit, Rhodochrosit auf. Gangarten sind Dolomit, Calcit und Quarz.

Nach KANTOR (1977) haben die Vorkommen Poniky, Malužina, Pila, Ardoro und Tiba gewisse bergwirt-schaftliche Bedeutung erlangt.

Das Alter der Erzanreicherungen in anisischen Kar-bonaten der Westkarpaten wird sehr wahrscheinlich als mitteltriadisch angenommen. Dafür sprechen eine Rei-he von Isotopen-Daten. Für die Herkunft der Metalle werden von KANTOR (1977, cum lit.) eine Reihe von möglichen Faktoren herangezogen.

Neben geochemisch anomalem Verhalten anisischer Profilabschnitte, welches örtlich zur Lagerstättenbil-dung beitragen hätte können, werden vor allem vulka-

nische Aktivitäten für die Metallzufuhr verantwortlich gemacht. Basaltische bis quarzporphyritische Tuffe und Tuffite treten in skythischen, anisischen und ladini-schen Sedimenten als Einlagerungen auf.

Die Nähe der mineralisierten anisischen Sedimente zum paläozoischen Untergrund und somit die mögliche Mobilisation von Erzen aus älteren Schichten wird an-deutungsweise in Erwägung gezogen.

Für Verdrängungerscheinungen, Mobilisationen und Konzentrationen von Pb-Zn-Erzen werden hydrother-mal-metasomatische Vorgänge (Kreide bis Neogen) vermutet.

Ungeachtet der eher problematischen Interpretier-barkeit karbonatgebundener Pb-Zn-Mineralisationen in den Westkarpaten erscheint die stratigraphische Bindung an die anisische Stufe auffallend. Der zum Teil polymetallische Aufbau der Erze läßt gewisse Analogien mit den Lagerstätten am Balkan (Sedmochisleniti), den Lagerstätten der germanischen Trias, aber auch den Anislagerstätten in den Nordtiroler Kalkalpen (z. B. St. Veith) bzw. den niederösterreichischen Kalkal-pen (z. B. Annaberg) erkennen. Die Abhängigkeit vom geologischen Untergrund (Resedimentation bis Lö-sungszufuhr) erscheint dem Verfasser für initiale lager-stättenbildende Prozesse maßgebend zu sein.

3.6. Pb-Zn-(Cu)-Vererzungen im NW-Balkan (Bulgarien)

Im Nordwestteil des Balkans liegen eine Reihe von vorwiegend karbonatgebundenen Vererzungen.

Die um den Durchbruch des Flusses Isker, ca. 60 km nördlich von Sofia, gelegenen Vorkommen und Lager-stätten konzentrieren sich auf den Umkreis der Bezirksstadt Vraca. Das sog. Iskar Gorge Gebiet stellt geotektonisch einen Teil der Stara Planina-Zone der Balkaniden und somit die östliche Fortsetzung der Kar-paten dar.

Neben der in Betrieb befindlichen Pb-Zn-Lagerstätte Sedmochislenitsi unweit Vraca nennt RENTZSCH (1963) und MINCEVA-STEFANOVA (1978) eine Vielzahl von Mine-ralisationen und Vorkommen, von denen Plakalnitsa, Mázko, Zapachitsa, Rakovdol, Bakára und Izremets größtenteils ausgeerzt, jedoch bergwirtschaftlich recht be-deutsam waren.

Die Basis der an mitteltriadische, vorwiegend anisi-sche Karbonate gebundenen Vererzungen wird von Diabasen, Phylliten etc. des Silur bzw. Karbon aufge-baut. Oberkarbon liegt als klastische Entwicklung mit z. T. Kohleführung vor. Rotsedimente (Buntsandstein und Röt) beherrschen die Abfolge der Unteren Trias.

Die Mitteltrias ist mit Mächtigkeiten von 220 bis 290 m in mariner Karbonatfazies ausgebildet. Es herr-schen gebankte Abfolgen von dunklen Dolomiten und Kalken vor, die der anisischen Stufe zugerechnet wer-den.

Die ladinische Stufe, rd. 80 m mächtig, wird von dickbankigen Dolomiten aufgebaut. Die Obertrias be-herrschen dunkle Dolomite und Mergelhorizonte (karni-sche Stufe); der Jura wird von kontinental-klastischen Sedimenten aufgebaut.

Die wirtschaftlich interessanten Erzvorkommen des Vraca Erzbezirkes treten in mitteltriadischen Schichten auf. Die Pb-Zn-Cu-Führung setzt nach RENTZSCH (1963)

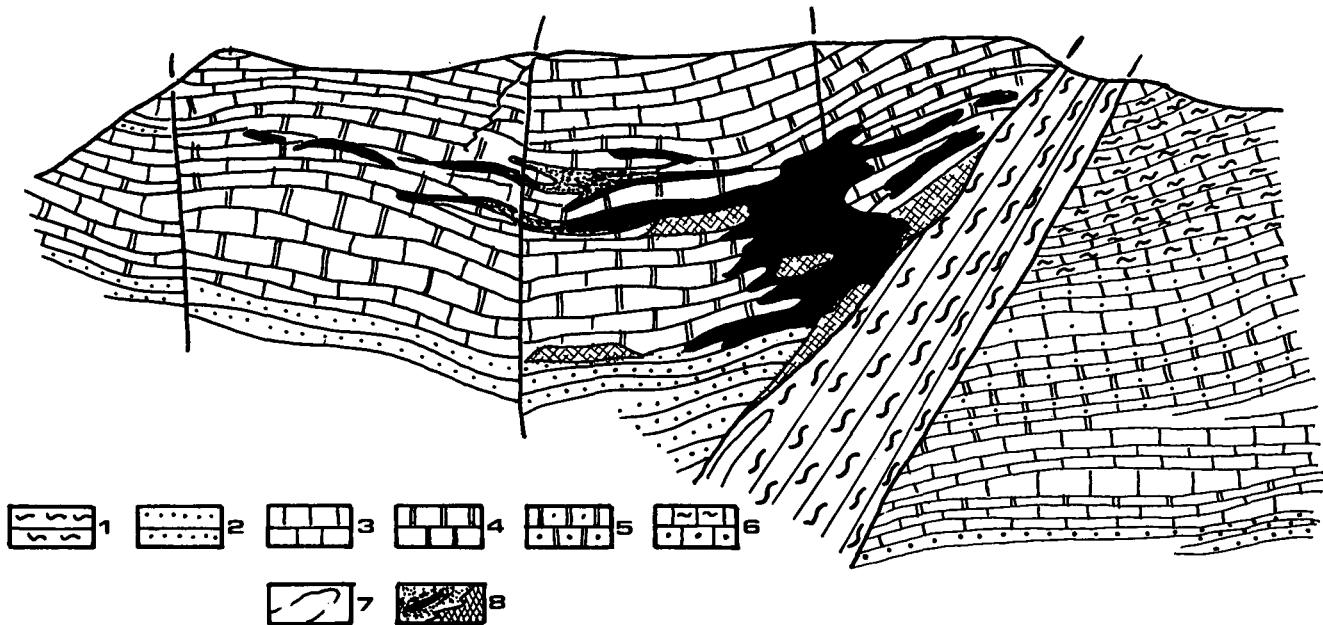
S**N**

Abb. 16.
Schnitt durch die Pb-Zn- Lagerstätte Sedmochislenitsi.
Nach MINCEVA-STEFANOVA (1978).
1 = Karbon; 2 = Untertrias; 3 = Kalke des Anis; 4 = Dolomite des Anis; 5 = Ladin; 6 = Obertrias; 7 = Störungen; 8 = Mylonite; 9 = Erzkörper.

an der Grenze Röt – Mitteltrias ein und reicht max. 200 m über diese Grenze.

Im Bereich der Lagerstätte Sedmochislenitsi sind lagerförmige Erzkörper an eine liegende Dolomitzone aber auch an Dolomitlinsen im Hangenden der anischen Abfolge gebunden. Bis zu 16 Erzlager sind auf eine Mächtigkeit von 160 m bekannt, wobei Zn-Pb-reiche und Cu-Pb-reiche Erze abwechselnd auftreten. Die Liegendabfolge ist kupferbetont.

Die Erzlinsen können Dimensionen von 300 m Länge und 40 m Breite erreichen. Kalkige Zwischenschichten sind nicht erzführend. Die Form der Erzführung ist schichtig, bisweilen treten stockförmige Vererzungen auf (Abb. 16).

Minerogenetisch stellt MINCEVA-STEFANOVA (1978) zwei sulfidische Mineralisationsphasen dar. Eine Pb-Zn-Phase steht einer Pb-Cu-As-Ag-Phase gegenüber. Neben den Hauptzonen Pb-Zn-Cu treten eine Vielfalt von Mineralparagenesen (Sulfide und Sulfosalze) auf, wobei insbesondere Cobalt-Nickel-Mineraile erwähnenswert sind.

Die genetischen Deutungen (cit. in RENTZSCH, 1963; MINCEVA-STEFANOVA, 1978) über die Lagerstättenbildung im Vraca-Erzberzirk sind überaus weit gespannt. Die Vorstellungen reichen von synsedimentär, hydrothermal-synsedimentär, telemagmatisch, sekundär-hydrothermal bis hydrothermal-metasomatisch. Die bulgarische Lehrmeinung ist die einer hydrothermal-metasomatischen Genese. Dolomitisierung und Mineralisation werden in Zusammenhang mit der strukturellen Entwicklung dieses Erzbezirkes gebracht.

Nach Ansicht des Verfassers sind die Mineralisationen von der tektonischen Struktur und den faziellen Verhältnissen kontrolliert. Im NW-Balkan ist die Vererzungsbinding an die anische Stufe auffallend.

3.7. Die schichtgebundenen Zn-Pb-Lagerstätten Oberschlesiens (Polen)

Mit einem Metallinhalt von >50 Mio. Tonnen Blei und Zink stellen die Lagerstätten in Oberschlesien nördlich von Krakau bei weitem das größte Pb-Zn-Rohstoffpotential Europas dar (GRUSZCYK, 1967).

Die Vererzungen treten im Unteren Muschelkalk (anische Stufe) auf und sind geotektonisch an die „Krakau-Silesische Monoklinale“ gebunden.

Die Basis bilden teilweise metamorphe Gesteinsserien des Karbon und Altpaläozoikums, die diskordant von permtriadischen Sedimenten überlagert werden.

Die Krakau-Silesische Monoklinale ist das Dach einer NW-gerichteten Horststruktur, die seit der Kratonisierung im Unteren Perm mehrfach gehoben wurde.

Über permischen Konglomeraten folgen Dolomite des Röt mit vereinzelt Mineralisationen, gefolgt von faziell differenzierten, unterschiedlich mächtigen Karbonaten des Muschelkalkes (Abb. 17). Die kalkigen Gogolin-Schichten leiten über zu erzführenden Dolomiten, die von Diplopora-Dolomiten und den dolomitischen Karchowice-Schichten überlagert werden. Tonig-mergelige Keuper-Schichten bilden den Abschluß der flachmarinen triadischen Sequenz.

Die Abfolge des Muschelkalkes erreicht Mächtigkeiten um 100 m.

Die Paragenese Zinkblende – Bleiglanz – Eisenkies tritt ausschließlich in Dolomiten auf, wobei die massiven Erzkonzentrationen vorwiegend an schichtige Hohlraumbildungen gebunden sind. Die generell als Karsthohlräume gedeuteten Kavernen sind von ehemals gelartigen Erzen gefüllt, wobei oftmals taube Do-

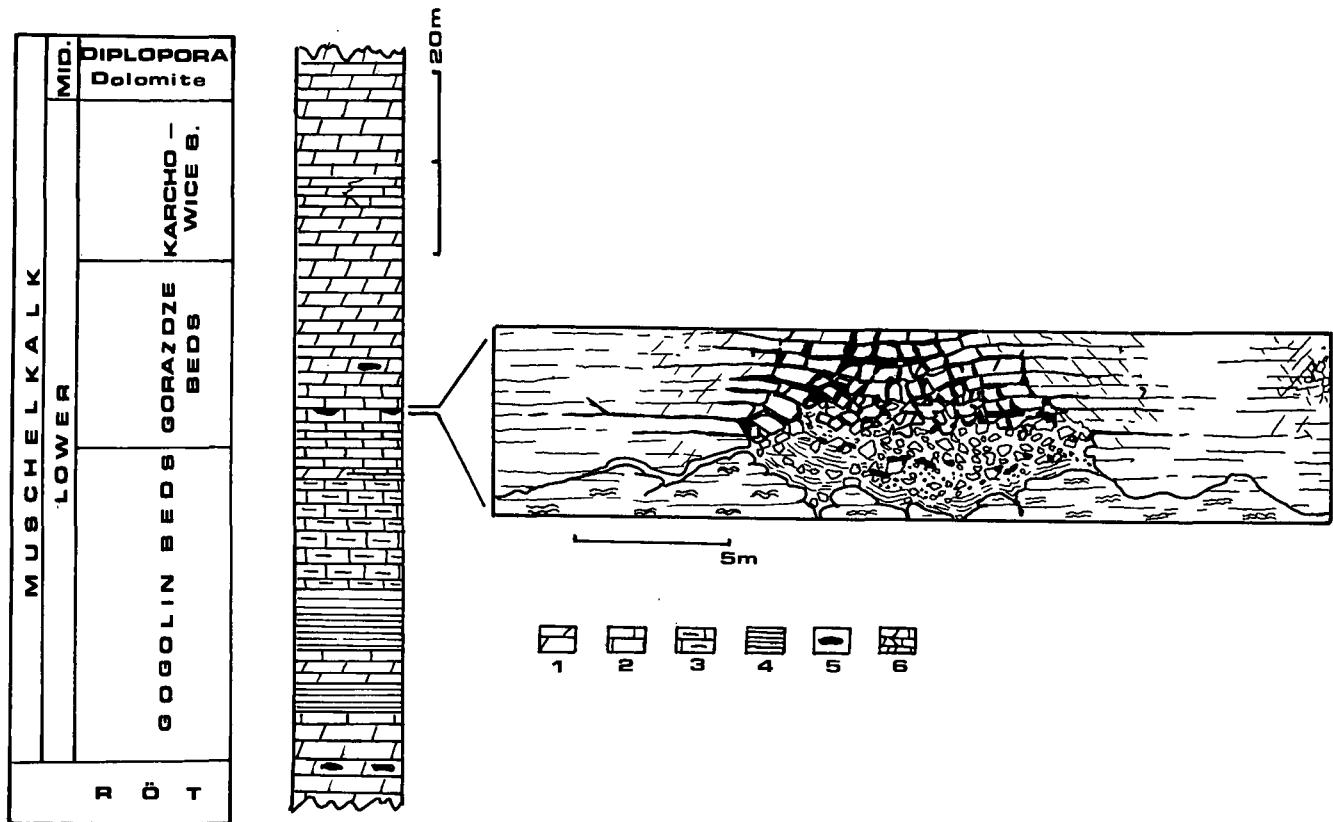


Abb. 17.

Stratigraphie des erzführenden Muschelkalkes in der Krakau-Silesischen Zone (PAWLOWSKA & WEDOW, 1980) und idealisierter Schnitt durch einen Breccien-erzkörper (SASS-GUSTKIEWICZ, 1980).

A,B = Stratigraphie und lithologische Abfolge.

1 = frühdiagenetische Dolomite; 2 = Kalke; 3 = mergelige Kalke; 4 = Mergel; 5 = Kieselknuern; 6 = fazielle Übergänge.

Iomitblöcke und Breccien in der Erzmatrix eingebettet sind.

Die grundlegenden Arbeiten über die oberschlesischen Erzvorkommen gehen auf GRUSZCYK (1967), HARANCYK (1979), DZULYN SKY & SASS-GUSTKIEWICZ (1980 cum lit.), PAWLOWSKA & WEDOW (1980), NIEC (1980) zurück.

Die Fülle der bestehenden Literatur lässt heute noch völlig konträre genetische Ansichten erkennen.

HARANCYK führt die Bildung der schichtgebundenen Erze auf eine altkimmerische hydrothermale Phase zurück; eine jungkimmerische Mineralisationsphase führt zum Absatz von Krusten- und Karsterzen. Im Alttertiär entstanden im Zuge der jüngsten Hydrothermalphase Pb-Zn-Fe-Erze mit Schwerspat in Erznestern und -gängen.

GRUSZCYK hingegen geht von einem syngenetischen Absatz der Erze aus und deutet die epigenetischen Erze als Folge von Umlagerung von Primärerzen. GUILBERT & PARK (1986) bezeichnen die Pb-Zn-Vererzungen als klassisches Beispiel des Mississippi-Valley-type.

Aus den Arbeiten von PAWLOWSKA & MEDOW (1980) bzw. NIEC (1980) geht hervor, daß die erzführenden Schichtglieder des Muschelkalkes unter Gezeitenbedingungen in einem Flachmeer abgelagert wurden. Die Flachwassersedimente sind durch anomale Konzentrationen (rd. 0,2 %) von Pb und Zn gekennzeichnet. Durch diagenetische Prozesse erfuhren die Muschelkalk-Sedimente eine Metallkonzentration in primären Sedimenten. Feinkörnig disseminierte schichtige Sulfide wurden gebildet. Erze wurden in weiteren diagenetischen Stufen in gewissen Vererzungszonen konzen-

triert, wobei die Übergangsfazies zwischen primären Kalken und frühdiagenetischen Dolomiten als kontrollierender Faktor für diese Konzentrationen gilt (OSMAN & PIESTRZYNSKI, 1989).

Die Erzkonzentration erfolgte nach PAWLOWSKA & MEDOW (1980) in vier Phasen durch den Einfluß von hochsalinaren „Paläobrines“ im Zeitraum zwischen Trias und Quartär. Eine Phase im Lias, während der initialen Herausbildung der alpinen Geosynklinale, wird als die bedeutendste Konzentrationsphase angesehen.

Die Infiltrationsstufen korrespondieren wahrscheinlich mit den Vorgängen der Verkarstung und Breccierung.

3.8. Zn-(Pb-)Vererzungen am Südrand des französischen Zentralmassivs

Nordwestlich von Marseille treten am südöstlichen Rand des Zentralmassivs (Cevennen) eine Reihe von Zn-(Pb-)Mineralisationen auf. Von bergwirtschaftlicher Bedeutung sind die Lagerstätten Le Malines und Largentière (Abb. 18).

Mineralisationen finden sich in Sedimenten des Mittelkambriums (black series) und in mesozoischen Hüllsedimenten (Trias, Jura), wobei eine paläozoische Diskordanz, welche die herzynische Basis von den mesozoischen Hüllsedimenten trennt, für die Mineralisationen von besonderer Bedeutung ist (Abb. 20).

Am Beispiel der Lagerstätte Malines zeigen FOGLIERINI, BERNARD & VERRAES (interner Bericht der Fa. PENNARROYA) die Vielfalt der Mineralisationsprozesse, die für die Lagerstättenbildung am S-Rand des Zentralplateaus verantwortlich sind:

- Im Mittleren Kambrium treten erste Pb-Zn-Mineralisationen schichtgebunden auf, die über weite Erstreckung an pyritimprägnierte pyroklastische Sedimente gebunden sind. Metallanreicherungen sind von der Fazies kontrolliert und liegen insbesondere in niedrigenergetischen, feinkörnigen vulkanoklastischen Sedimenten euxinischer Fazies.
- Eine zweite Mineralisation erfaßte Lösungshohlräume als Sedimentfüllung. Zwischen Oberkarbon und Obertrias entwickelte sich eine markante Paläokarst-Morphologie, die durch Heraushebung begünstigt wurde. Die Karsthohlräume werden untertriaisch durch Karstsedimente (fluviatil) aufgefüllt. Fe, Pb, Zn wird mechanisch als Sulfid sedimentiert. Durch die extensive marine Transgression im Hettangium werden weitere Mineralisationsprozesse unterbunden.
- Im Oberen Sinemurien führt eine lokale epirogenetische Heraushebung zu einer weiteren Emersionsphase. Verwitterungsmaterial aus karbonatischen

Massiven trug zur Umlagerung bereits bestehender Mineralisationen bei. Kluftgebundene und krustenförmige Sulfide und Quarz werden oftmals durch milchigen Baryt verheitzt.

- Die marine Transgression im Bathonian brachte Flachwassersedimente zur Ablagerung. Die größtenteils unter hochenergetischen Bedingungen abgelagerten küstennahen Sedimente (oolithische Karbonate) bildeten „Fallen“ für mechanisch umgelagerte Sulfide. Stratiforme Mineralisationen, mit einem Metallinhalt von 0,3 Mio. t, treten in Dolomiten des Bathonian auf, wobei Metallanreicherungen an Bereiche reduzierenden Milieus gebunden sind. Die Anreicherungen sind jedoch bergwirtschaftlich derzeit uninteressant.

Mikrothermometrische Untersuchungen (CHAREF & SHEPPARD, 1989) an stabilen Isotopen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) zeigen, daß vier verschiedene Mineralisationereignisse stattgefunden haben (siehe Abb. 19). Unterschiedlich temperierte (70–165°C) salinare Lösungen (10–20 Gewichts-% äquivalent NaCl) haben mehrphasige Mineralisation bewirkt.

Die fluiden Lösungen werden nach CHAREF & SHEPPARD (1989) von Formationswässern abgeleitet, die sich möglicherweise in tiefen Bereichen des Rhone-Bek-

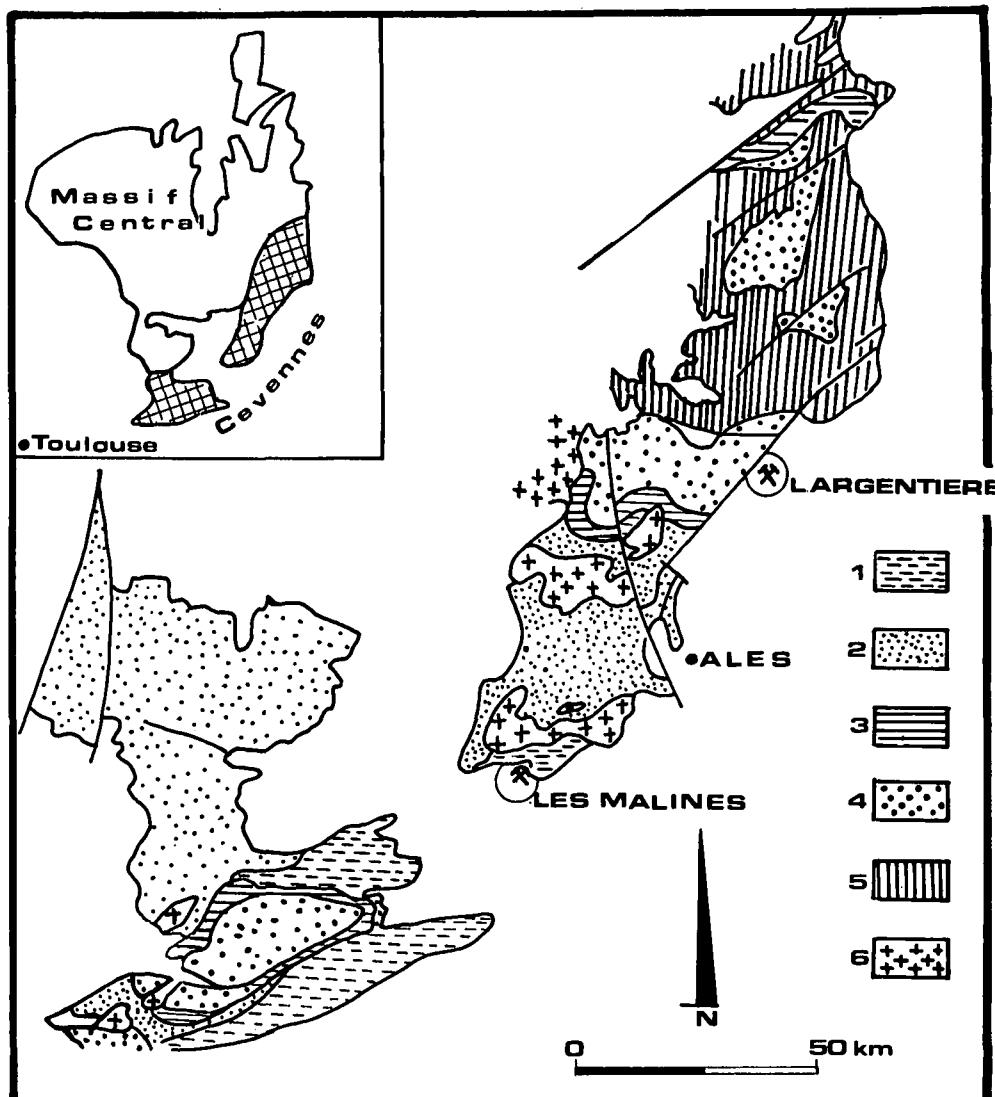
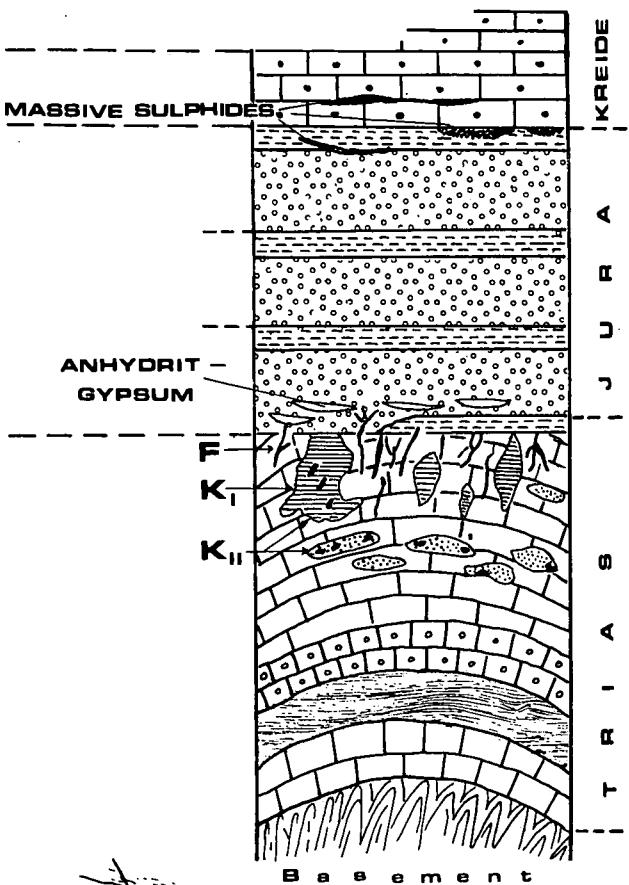


Abb. 18.
Geologische Übersichtskarte des Südrandes des Französischen Zentralmassivs.
1 = nichtmetamorphe, präkarbone Formation; 2 = epizonal metamorphe Formation; 3 = Glimmerschiefer und Gneise; 4 = Augengneise; 5 = Averne District Formation; 6 = Granite.



kens entwickelt haben. Das Becken hatte zur Zeit der Mineralisation (post-Hettangian) eine Mächtigkeit von 3 km. Während der Entwässerung des Rhone-Beckens kam es wahrscheinlich episodisch zur Auspression heißer, metallführender Brines.

Abb. 19.
Schematisches Säulenprofil der Abfolge in der Pb-Zn-Lagerstätte Malines,
S-Rand des französischen Zentralmassivs.
Nach CHAREF & SNEPPARD, 1988.
 $K_I + K_{II}$ = stratiforme Erze und Karsterze; F = gangförmige Erze.

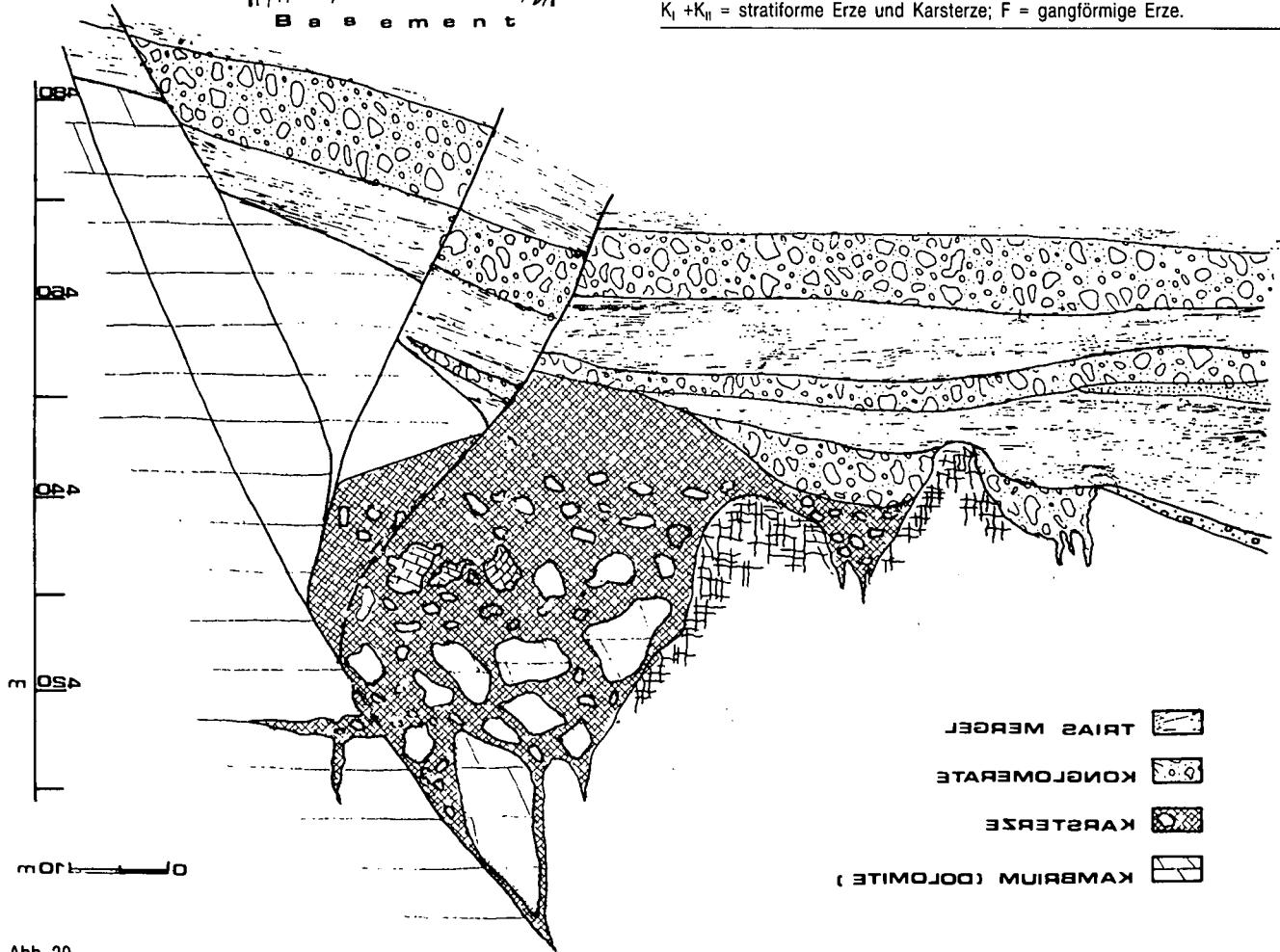


Abb. 20.
Karsterzkörper am S-Rand des französischen Zentralmassivs.
Nach FOGLIERINI et al.

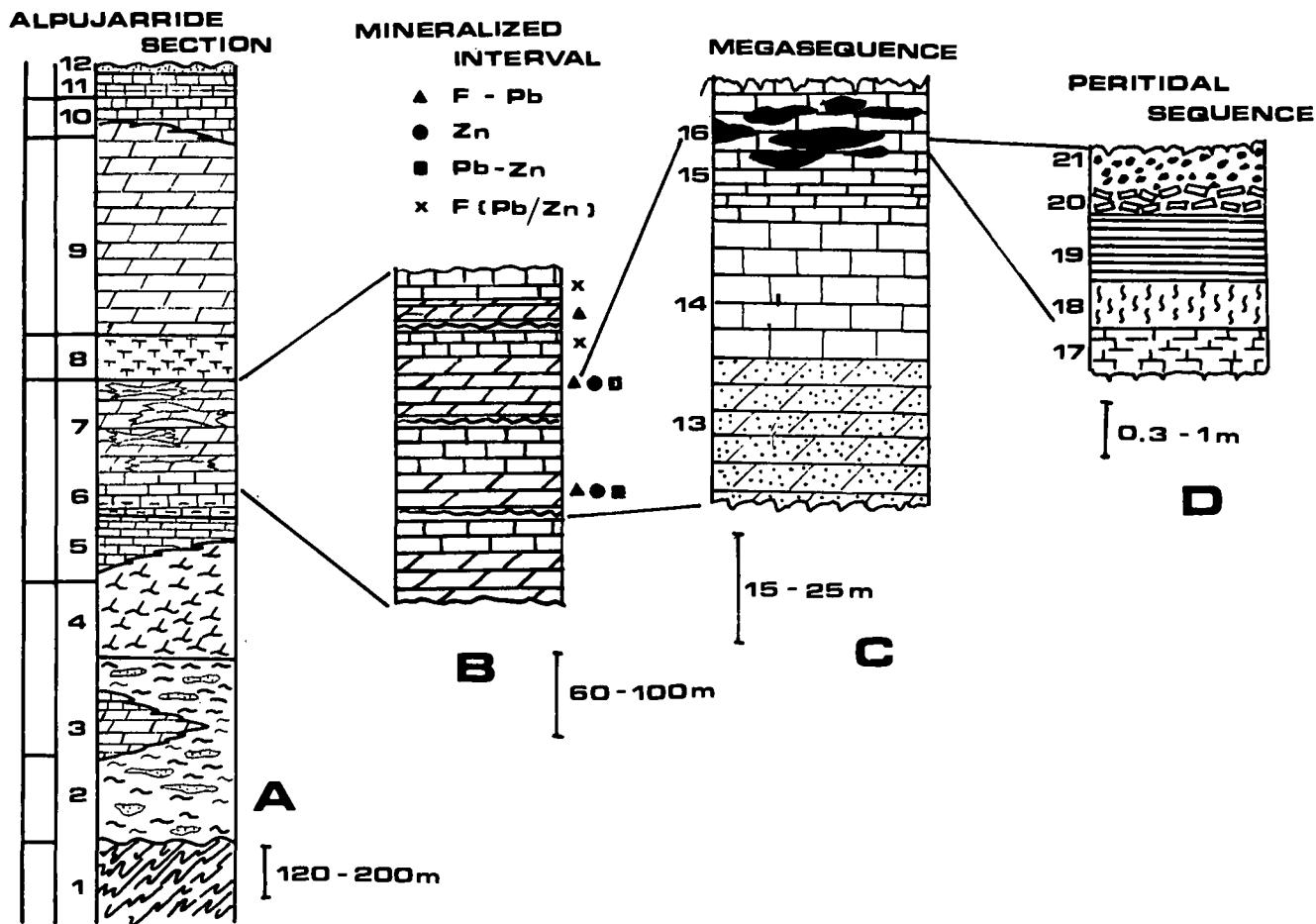


Abb. 21.
Schichtfolge der Alpujarrides (Betische Cordillere) nach MARTIN et al. (1984) mit Position der Pb-Zn-F-Mineralisationen.
1 = metamorphe Basis (Glimmerschiefer und Quarzite); 2 = Phyllite und Quarzite; 3 = Kalke und argilitische Dolomite; 4 = massive Dolomite; 5 = tonige und feinlaminierte Kalke; 6 = gebankte Kalke mit Hornsteinknauern; 7 = Kalke mit erzführenden, gebankten Dolomiten; 8 = Wechsellagerung von Kalken, Dolomiten, Mergeln und Evaporiten (Gips); 9 = Dolomite; 10 = feingeschichtete Kalke; 11 = hornsteinführende Kalke; 12 = Knollenkalke und Radiolarite; 13 = dolomitisierte Kalkarenite; 14 = mikritische Kalke; 15 = peritidale Karbonatabfolge; 16 = Pb-Zn-F-vererzte Karsthohlräume; 17 = mikritische Sedimente; 18 = bioturbate Mikrite; 19 = Algenmatten; 20 = laminierte Dolomite mit Trockenrissen; 21 = Dolomite mit Evaporiteinschaltungen.

3.9. Pb-Zn-F-Mineralisationen in Südspanien

MARTIN & TORRES-RUIZ (1984), FONTBOTE et al. (1983) beschreiben aus der Betischen Cordillere Südspaniens karbonatgebundene Pb-Zn-Flußspatvererzungen. Die über weite Areale der Alpujarrides schichtig entwickelten Mineralisationen sind an Flachwassersedimente der ladinischen Stufe gebunden und werden als sedimentär-syngenetisch gedeutet. Über die bergwirtschaftliche Bedeutung der Vererzungen fehlen gesicherte Angaben. Der Metallinhalt (F, Pb, Zn) dürfte je Lagerstätte ca. 0,1 Mio. t (mündl. Mitt. Dipl.Ing. BRUGGER) betragen.

Die Schichtfolge über metamorphem Paläozoikum besteht aus einer 1,5 bis 2 km mächtigen Abfolge. Phyllite und Quarzite (ca. 500 m mächtig) permischen bis mittelanischen Alters lagern diskordant über Glimmerschiefern. Ab dem mittleren Anis bis ins Rhät ist eine faziell differenzierte Karbonatabfolge entwickelt.

Die kalkig-dolomitische Abfolge des oberen Ladin (ca. 250 m mächtig) lässt vier Megazyklen erkennen. Jeder Zyklus wird von Gezeitensedimenten – Lagunensedimenten und Sedimenten einer vorgelagerten Barriere – aufgebaut (Abb. 21).

Ein Erosionsrelief mit Verkarstungserscheinungen bildet jeweils den Abschluß eines Megazyklus. Das als Paläokarst zu bezeichnende Relief ist mit detritischem Karbonat, zum Teil roten Tonen und Erz aufgefüllt.

Die Mineralisation wird von MARTIN et al. (1984) nicht als mechanische Resedimentation, sondern als Folge von frühdiagenetischen Dolomitisationsprozessen gesehen. CERNY (1983) sieht ähnliche Bildungsprozesse im Bereich der Lagerstätte Bleiberg-Kreuth.

Paläokarstvererzungen und schichtige Erze werden von MARTIN et al. (1984) als zeitgleich angesehen.

Hauptmineral ist Flußspat, gefolgt von Bleiglanz und Zinkblende, welche meist lagige Strukturen bilden.

Mikroskopisch, vorwiegend an Bleiglanz gebunden, sind folgende Erzminerale: Pyrit, Jordanit, Bournonit, Tetrahedrit, Tennantit, Enargit, Geocronit.

3.10. Pb-Zn-Lagerstätten im Atlas Orogen (Nord-Afrika)

Die nordafrikanischen Länder Marokko, Algerien, Tunesien sind neben Uran, Kupfer, Eisen bedeutende Pb/Zn Produktionsländer. Die Jahresproduktion betrug

1984 ca. 112.000 t Pb und 32.000 t Zn (Zn : Pb = 1 : 3), wodurch die Bleibetontheit der Lagerstätten dokumentiert ist. Die epikontinentale Mesozoikumentwicklung Nordafrikas wird durch flachmarine, vom Festland her fluviatil beeinflußte Abfolgen aufgebaut. Die Erze sind überwiegend an Karbonate und Sandsteine gebunden, wobei die stratigraphische Position vielfach in den Bereich knapp über die permo-triadische „red bed“ Entwicklung fällt, oft aber auch in jurassische und kretazische Sedimente reicht. Mit Ausnahme der Lagerstättenprovinz des Cavallo Massivs (NE Algerien), die durch Vulkanismus geprägt ist, sind die Lagerstätten an karbonatische aber auch siliziklastische Flachwassersedimente gebunden.

Die genetischen Vorstellungen über die Bildungsweisen der Atlas-Orogen-Lagerstätten differieren stark. VASSILEFF & POPOV (1977, cum lit.) vertreten die Ansicht, daß die Bildung der Erze an geologisch-tektonischen Strukturen erfolgte; CAIA (1976) stellt den Einfluß des Grundwassers für die Mineralisationsvorgänge in den Vordergrund; FUCHS (1981) sieht die Erzmineralisationen (Ba, U, Pb, Zn) in Zusammenhang mit Evaporitbildung. Will man die mannigfältigen Erscheinungsbilder der nordafrikanischen Pb-Zn-(Cu)-Lagerstätten in ein Schema eingliedern, so fällt auf, daß die Erzführungen in Summe gesehen von West nach Ost in immer höhere stratigraphische Niveaus ansteigen. Im marokkanischen Anteil des Atlas finden sich die Erzführungen nahe über den permo-triadischen Basisschichten, im tunesischen Anteil bereits in oberkretazischen bis miozänen Sedimentserien. In beiden Fällen scheint die Nähe des Untergrundes als „Spendergestein“ maßgeblich verantwortlich zu sein.

Nach der Klassifikation von AMSTUTZ & FONTBOTE (1983) sind die meisten karbonatgebundenen Lagerstätten dem „Typ A“ zuzuordnen. Lagerstätten, die in hohen stratigraphischen Niveaus auftreten, können allenfalls dem „Typ B“ zugeordnet werden (siehe Kap. „Gliederung der Pb-Zn-Vorkommen in Karbonatgesteinen“). In mineralogenetischer Sicht entsprechen die Atlas-Orogen-Lagerstätten dem „Mississippi-Valley-Typ“. Bedingt durch die unterschiedlichen lagerstättenkundlichen Arbeitsweisen ist ein Vergleich mit europäischen Verhältnissen schwer. Es wird jedoch in Erwägung gezogen, daß die nordafrikanischen Vorkommen eine Ähnlichkeit mit den „Anisvererzungen“ der epikontinentalen Sedimentationsentwicklung Europas haben. Aufgrund der z. T. komplexen Paragenesen, Erztexturen und paläogeographischen Überlegungen (Typ A) ist selbst eine gewisse Parallelität mit alpinen „Anisvererzungen“ (niederösterreichische Kalkalpen: Schwarzenberg; Nördliche Kalkalpen: Bergbau St. Veith; diverse Erzvorkommen im Anis der Gailtaler Alpen: Kolm-Dellach) nicht von der Hand zu weisen. Die lagerstättenbildenden Metallmengen in den Ostalpen sind jedoch in keiner Weise vergleichbar.

3.10.1. Marokko

Mibladen

Die Bleiglanz-Lagerstätte Mibladen ist an tonige Dolomite und Kalke oolithischer Fazies gebunden. Die marin sedimentäre, erzführende Abfolge tritt im Hangenden von permo-triadischen „red-beds“ auf.

Die Erze bestehen vorwiegend aus Bleiglanz, untergeordnet tritt Zinkblende, Schwerspat, Dolomit, Cerus-

sit und Vanadinit auf. Die Erzführungen liegen schicht-konkordant in tonigen Dolomiten. Disseminierte Erztypen und gangförmige Verdrängungen innerhalb des Schichtverbandes sind typisch für die Lagerstätte.

Die Genese der Lagerstätte wird epigenetisch durch Grundwassereinwirkung, bzw. als hydrothermale Verdrängung gedeutet.

Toissit Bon Beker

Die Zn-Pb-Lagerstätte Toissit Bon Beker tritt in Dolomiten, Kalken, Schiefern, Sandsteinen und Eisenoolithen auf; die Sedimente gehören einer kontinental bis marinen Deltafazies mit lagunaren Anklängen an. Diese Faziesentwicklung liegt im Hangenden der permo-triadischen „red bed“ Entwicklung.

An Erzen werden beschrieben: Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit, Kupferkies, Cerussit, Anglesit, Smithsonit, Hemimorphit, Wulfenit.

Die Erze treten als stratiforme Erzlinsen aber auch gangförmig auf. Neben disseminierten Typen sind Hohlräumfüllungen und Inkrustierungen vertreten.

Die Mineralisationsvorgänge werden epigenetisch durch Grundwassereinwirkung gedeutet.

Bou Sellam

Die Bleiglanzlagerstätte Bou Sellam tritt in roten, grauen und weißen Sandsteinen und Konglomeraten auf, die über Jura-Karbonaten lagern.

Die erzführende Abfolge wird als kontinentale bis marine Deltaentwicklung mit lagunaren Anklängen angesehen. Die feinkörnig disseminierte Bleiglänze und Cerussite sind schichtgebunden, wobei der karbonatische Zement der Sandsteine mineralisiert ist.

Die Mineralisationsvorgänge werden epigenetisch durch Grundwassereinwirkung gedeutet.

Merija

Ähnlich wie in Bou Sellam liegt die disseminierte Erzführung in Karbonatzement von Sandsteinen und Konglomeraten. Die Hauptminerale sind jedoch Kupferkies, Malachit und Bleiglanz.

3.10.2. Algerien

Im Gegensatz zu den marokkanischen Lagerstätten des Atlas, die sichtlich von der Fazies kontrolliert werden, treten im Cavallo Massif (NE-Algerien) Vererzungen auf, die mit vulkanischen Aktivitäten in Zusammenhang stehen.

Die Mineralisationsvorgänge werden als submarin-exhalativ gedeutet. Subvulkanische Verdrängungen sind häufig.

Die Zn-Pb-Cu-Lagerstätte El Aouana liegt in marin bis subaerischen vulkanosedimentären Abfolgen. Vererzt sind dazitische Breccien, felsische Vulkanoklastika, Kieselschiefer, Tuffite und Andesite.

Es treten massive, schichtige Zn-Pb-Erze in Linsenform und stockförmige Kupfererze auf. Die Trägergesteine sind meist alteriert.

Paragenese: Zinkblende, Bleiglanz, Kupferkies, Tetraedrit, Enargit, Pyrit, Schwerspat, Luzonit, Malachit.

3.10.3. Tunesien

Im tunesischen Anteil des Atlas Orogens finden sich eine Vielzahl von kleineren und mittleren Pb-, Zn- (Cu-, As-, Hg-, Fe-) Lagerstätten.

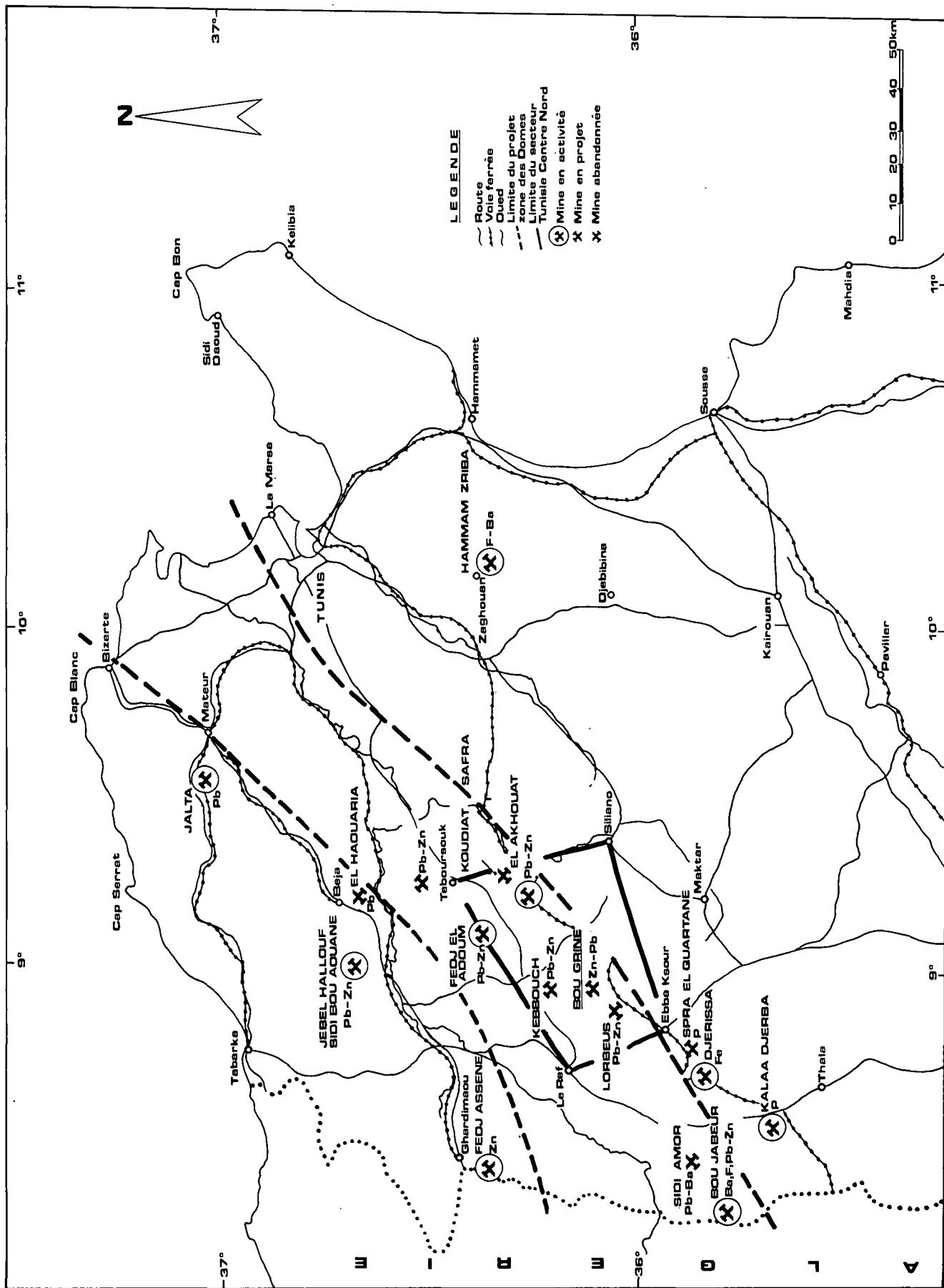


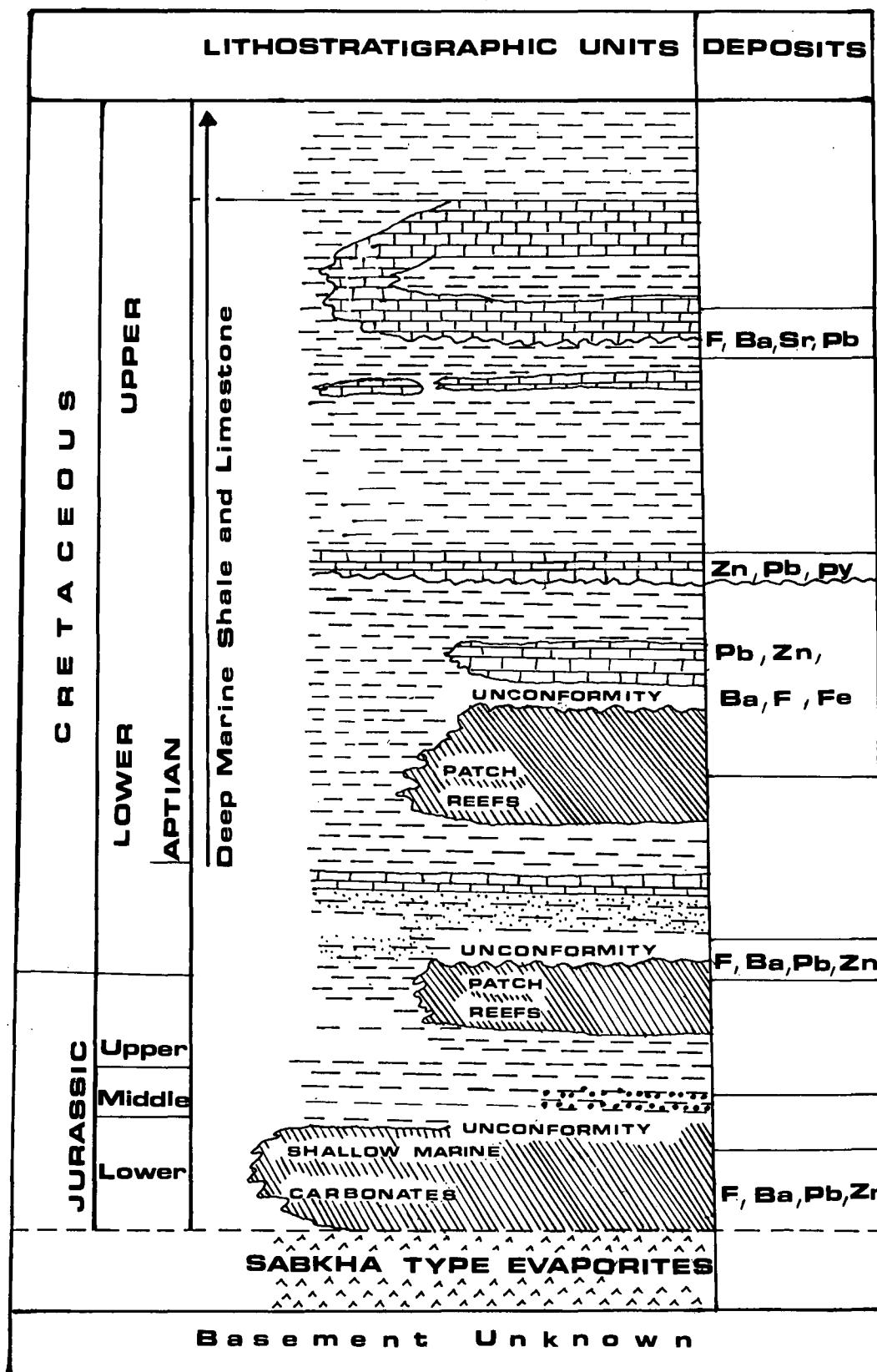
Abb. 22.
Geographische Lage der karbonatgebundenen mesozoischen Pb-Zn-(Ba,F)-Lagerstätten im tunesischen Anteil des Atlas.
Nach OREYAL (1986).

Nach VASSILEF & POPOV (1977) treten die mineralisierten Formationen hauptsächlich in den marginalen Teilen der Afrikanischen Platte auf. Die Mineralisationen sind einbezogen in die alpine Tektonik des Atlas Systems. Vier metallogenetic Zonen werden ausgeschieden. Eine Übersicht gibt Abb. 22.

- Archipelago La Galite mit Kupfer- und Pb-Zn-Vererzungen, die an die kristalline Basis gebunden sind.

- Tunesische Furche, einschließlich der Vortiefe, mit Pb-, Zn-, Cu-Lagerstätten, polymetallischen Vererzungen sowie Anreicherungen von Quecksilber, Arsen und Eisen.
- Mobile Zone des „Sahara continental slope“ mit Pb-, Zn-, Fe-Lagerstätten.

Abb. 23.
Stratigraphie und Position
der Erzfürungen im
Mezoikum Nordtunesiens.
Nach BOHLEL (1987).



- Zone der gefalteten Epiplattform-Hülle (Zentral-Tunesien und südlicher Atlas) mit Pb-, Zn-, F-, Fe-Lagerstätten.

Die in den metallogenetischen Provinzen auftretenden Erzparagenesen sind hauptsächlich:

- Bleiglanz, Zinkblende bzw. Blei-Sulfosalze.
- Kupfersulfide und Kupfer-Sulfosalze.
- Zinkblende, Pb-Sulfosalze, Kupfer-Sulfosalze, Zinn-ober, Realgar, Stibnit, Auripigment (polymetallische Formation).
- Eisen in Form von Siderit, Goethit, Limonit.
- Fluorit und Baryt.

Die Erzführungen sind an unterschiedlichste Sedimente (Karbonate, Klastika, Vulkanoklastika, Konglomerate aber auch Salzdiapire) gebunden.

Die Mineralisationen erfassen Gesteine, die stratigraphisch von der Trias, über Jura, Kreide bis in das Miozän/Pliozän reichen. Isotopenuntersuchungen an Pb/Zn-(Ba-) Vererzungen lassen ein miozänes Alter der Mineralisationsvorgänge erkennen.

Als Quelle wird ein endogener Vulkanismus angenommen, der in das Neogen eingestuft wird.

Die Erzführungen sind stratiform, gangförmig und stockförmig. VASSILEFF (mündl. Mitt.) stellt die stratiformen Pb-Zn-Lagerstätten in das Neogen, die gangförmigen Typen in den Zeitraum Pliozän-Miozän.

Die im Sockel der Abfolge auftretenden Riffe (Apt) sind oftmals stockförmig mit Pb/Zn/Ba (Bleiglanz, Zinkblende und Schwerspat) vererzt.

Interessant erscheint die Beobachtung, daß stratigraphisch ältere Vererzungen (Kreide) reich an Silber sind (Größenordnung 400 ppm). Die Silbergehalte nehmen gegen das Hangende ab.

Nach VASSILEFF (mündl. Mitt. 1981) sind im Bereich des tunesischen Anteils des Atlas ca. 250 wirtschaftlich nutzbare Vorkommen bekannt, wobei auf die Sokkellagerstätten geschätzte 30–50 Mio. t mit 3–4 % Pb und 1–3 % Zn entfallen. Netzwerkvererzungen sind dominant. 3 bis 5 Mio. t Pb + Zn entfallen auf schichtgebundene Vererzungstypen.

Trotz der allgemein anerkannten Strukturgebundenheit der Vererzungen in Tunesien diskutiert M. AMOURI (mündl. Mitt. Berchtesgaden, I.G.C.P. Nr. 6) andersartige Mineralisationsvorgänge an ausgewählten Beispielen (Beed Zeefane Erzprovinz): „Die Sedimentationsunterbrechung zwischen der karbonatischen Oberkreide und der nachfolgenden miozänen Transgression zeigt kontinentale Sedimentationsbedingungen. Diese Sedimentationsunterbrechung führt zu ausgedehnten Karst- und Verwitterungsbildungen. Durch Lösungsvorgänge werden Karsthohlräume mit Resedimentationsprodukten vielerorts mit Erz aufgefüllt. Durch die nachfolgende Transgression im Miozän werden die aufgefüllten Karsthohlräume überdeckt und konserviert.“

Die in den letzten Jahren in engster Zusammenarbeit zwischen B.R.G.M. (Orleans) und dem Office national des mines (Tunis) durchgeföhrten Forschungs- und Explorationsarbeiten haben zu aufsehenerregenden Ergebnissen geföhrt, die letztendlich zur Erschließung der Lagerstätte Bou Grine (siehe Abb. 24) geföhrt haben. Die dzt. Vorräte betragen 7,3 Mio. Tonnen bei Metallgehalten von 2,4 % Pb und 9,7 % Zn (Cut off 4 %), was einem Metallinhalt der Lagerstätte von 880.000 t entspricht. Bou Grine ist heute die größte Lagerstätte in Tunesien und nach dem Toissit Bou Becker Distrikt die zweitgrößte Pb-Zn-Lagerstätte Nord-Afrikas.

Nach BOUHLEL (1987), ORGEVAL et al. (1986), POHL (1987) stehen die Erze mit Diapirstrukturen (vorwiegend Gips) und Riffstrukturen in engem Zusammenhang.

Abb. 23 gibt einen Überblick über die mesozoische Karbonatabfolge (Trias bis Oberkreide) im tunesischen Anteil des Atlas.

Über salinaren Abfolgen der Trias, deren Basis bislang unbekannt ist, lagern pelagische Karbonat- und Schieferersedimente. Durch Regressionen bedingt kommt es im Jura und in der Unterkreide mehrfach zur Ausbildung von flachmarinen Karbonaten mit Riffwachstum.

Die strukturelle Entwicklung im Sedimentationsraum und die damit einhergehende Faziesdifferenzierung scheint maßgeblich für die Bildung von Lagerstätten verantwortlich zu sein.

Diapirstrukturen

Die im NW des tunesischen Atlas auftretenden Pb-Zn-Vererzungen sind an marginale Bereiche triadischer Diapire gebunden. Die sulfidischen Erze sind weitgehend schichtgebunden. Untergeordnet treten auch gangförmige Mineralisationen auf. Die Erzführungen treten in Karbonaten auf, die in ihrer Mächtigkeit reduziert sind. Sie wurden in einem Hochraum abgelagert. Während Emersionsphasen im Apt kam es zu Dolomitisierungen. Die schichtigen Pb-Zn-Konzentrationen dürften zu diesem Zeitpunkt oder wenig später erfolgt sein.

Die Erzführungen werden von zwei Ereignissen kontrolliert:

- Dolomitisierung und lokale Silifizierung des Muttergesteins.
- Disaggregation des Muttergesteins und nachfolgende Kristallisation von Sulfiden.

Die Mineralisation der Klüfte erfolgte wahrscheinlich erst später, im Neogen.

Die Herkunft der Metalle ist in Leaching-Prozessen der unterlagernden Gesteinsserien zu sehen. Der Aufstieg der Lösungen erfolgte im Zusammenhang mit dem Aufdringen triadischer Diapire entlang von tektonischen Strukturen. Isotopendaten sprechen dafür, daß Schwefel und Metalle aus den Salzdiapiren stammen.

Als Beispiel für die Erzkonzentration an Diapirstrukturen nennt ORGEVAL (1986) die Lagerstätte Bou Grine. Drei Typen von Zn-Pb-Erzkonzentrationen sind vertreten (Abb. 24):

- Linsige Erzkörper in der Übergangszone zwischen Trias und Kreide (peripherie Erzkörper).
- Stratiforme Mineralisationen in Kalklaminiten, reich an organischer Substanz (Cenoman-Turon).
- „Semi-massive“ Erzkörper (Hangenderzkörper, caprock- Erzkörper), die die Kreide-Abfolge (Cenoman-Turon) durchstoßen.

Die zwei letztgenannten Vererzungstypen sind für die gesamte Erzprovinz Tunesiens typisch. Sie treten streng kontrolliert durch die Bewegung „synsedimentärer Störungen“ auf. Die Störungen enden in den „hangenden Erzkörpern“.

Messungen an Flüssigkeitseinschlüssen (Flußspat und Schwerspat) zeigen, daß die Kristallisationstemperatur zwischen 90 und 120°C aus NaCl-reichen Erdöl-Hydrokarbon-reichen Lösungen erfolgte.

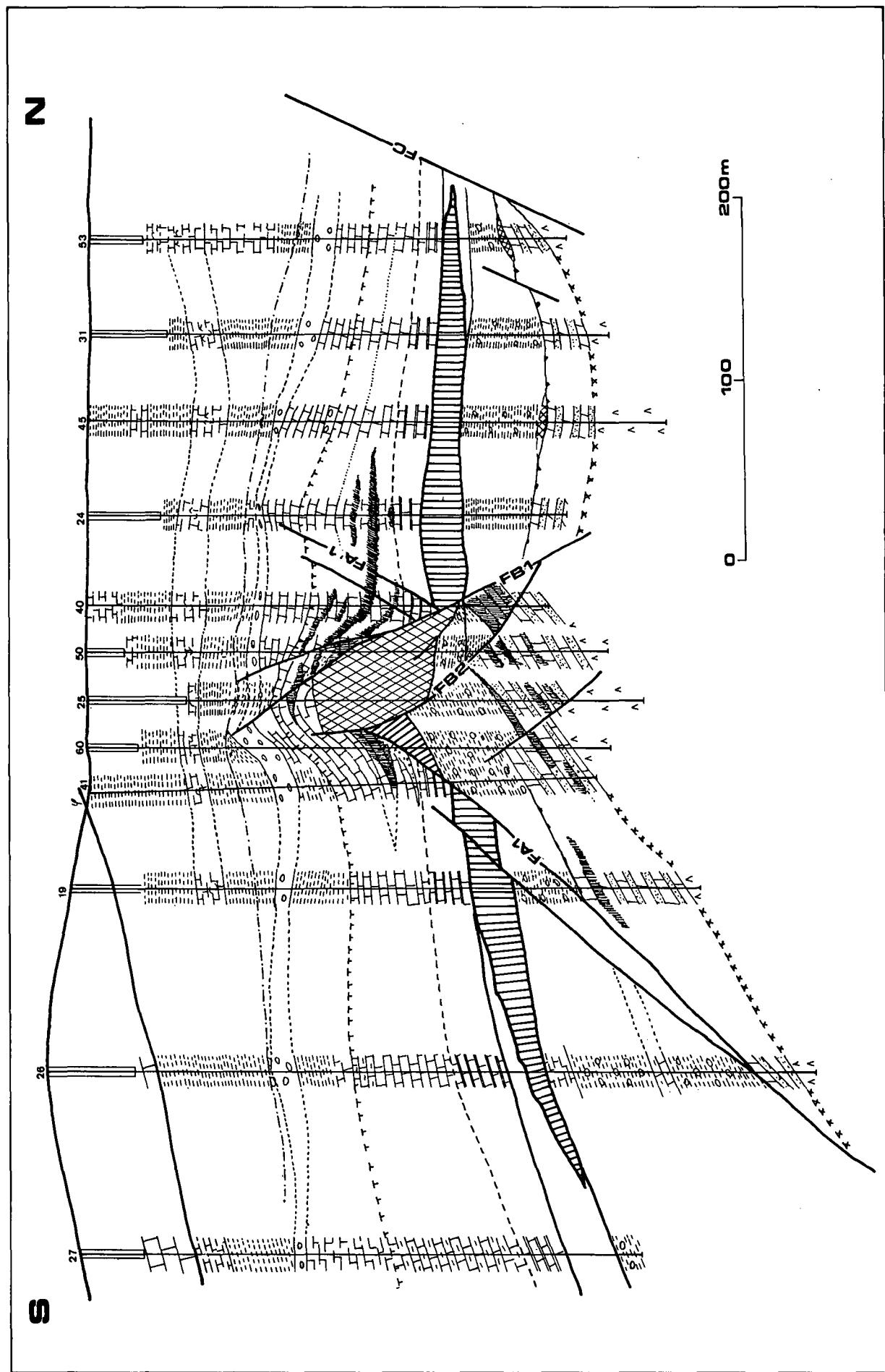


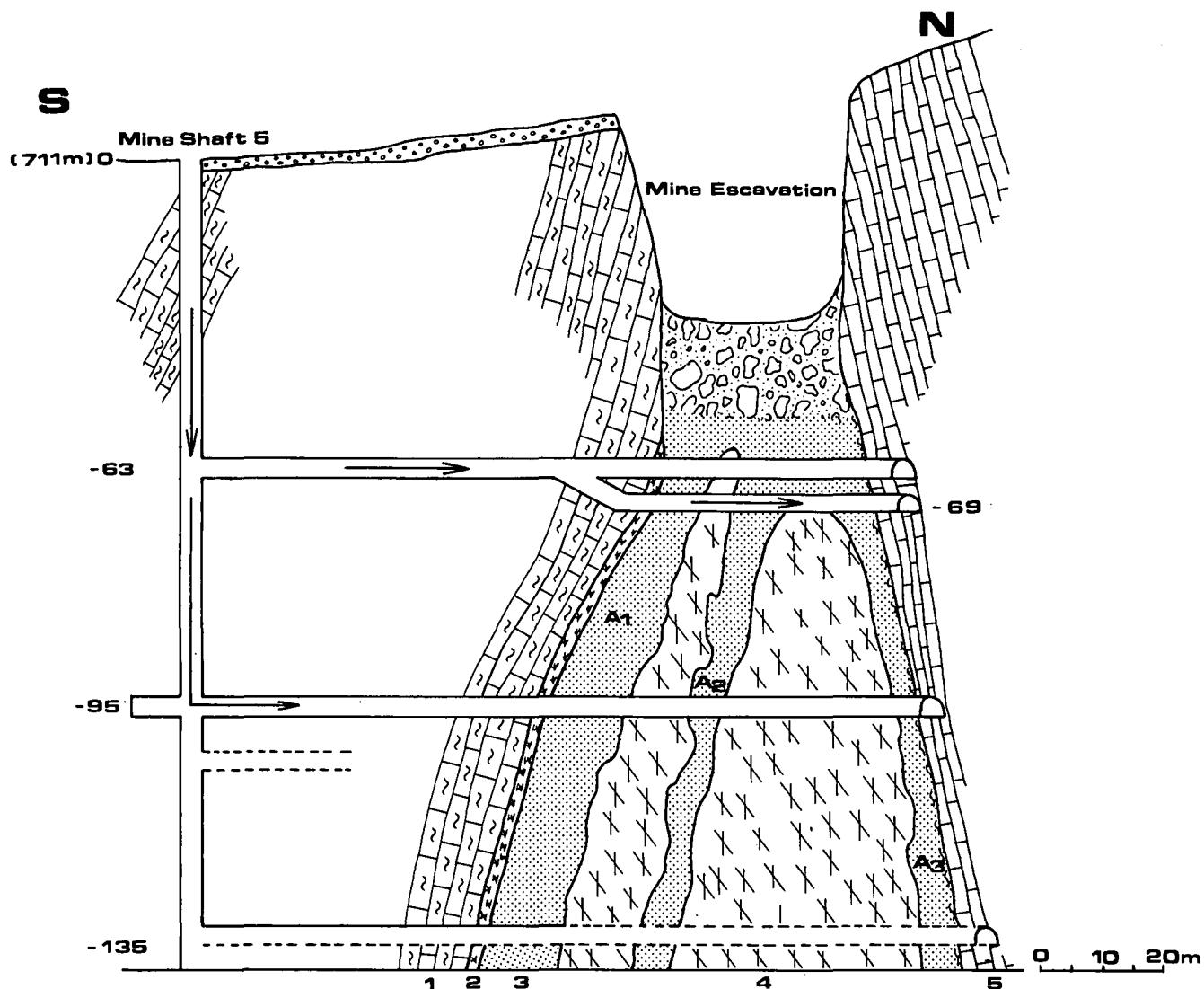
Abb. 24.
Schnitt durch die Diapirstruktur der Pb-Zn-Lagersättie Bou Grine, Tunesien.
Nach ORGEVAL et al. (1986).

Riffstrukturen

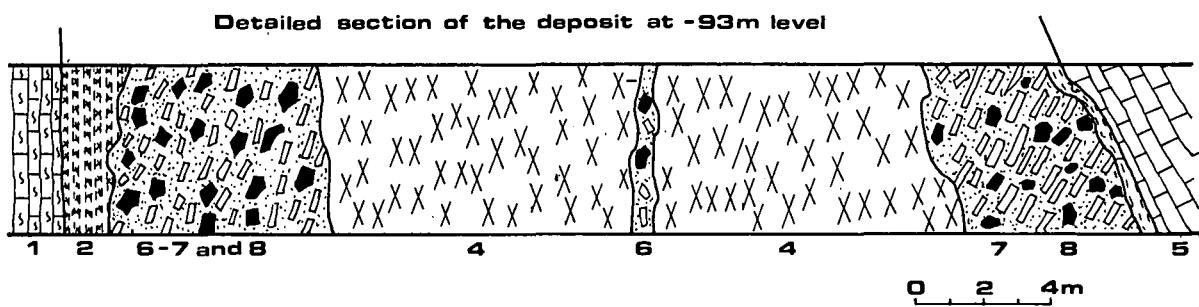
Als Beispiel für Erzkonzentrationen gebunden an Riffstrukturen nennt BOUHLEL (1987) die Lagerstätte Bou Jabeur (Abb. 25).

Folgende Entstehungsgeschichte ist wahrscheinlich:

- Riffwachstum in der Trias. Nachfolgend Regression und Emersion im Gargasian.
- Karstbildung zufolge der Regression.



Detailed section of the deposit at -93m level



- 1 Marly limestone (Upper Albian); 2 black shale (U. Albian); 3 Orbodie deposits;
- 4 Gargasian reef-carbonates (unit 5); 5 Gargasian reef-carbonates (unit 5);
- 6 Karstic breccia Pb-Zn-rich; 7 rubaneed ores baryte-rich;
- 8 Massive and geodic baryte

Abb. 25.

Schnitt durch die Riffstruktur der Lagerstätte Bou Jabeur.

Nach BOUHLEL (1987).

1 = mergelige Kalke (Oberes Alb); 2 = Schwarzschiefer (Unteres Alb); 3 = Zn-Pb-Vererzung; 4 = Riffkörper (Gargasian); 5 = Riffkarbonate (Gargasian); 6 = Pb-Zn-vererzte Karstbreccie; 7,8 = brecciierte Baryterze (8 = derber Baryt).

- Die Transgression im frühen Ober-Alb verursacht Bildung von Karst-Lösungs- und Disaggregationsprozessen im subaquatischen Milieu. Phänomene dieses Prozesses bewirkten Dolomitisierung und Silifikation des Trägergestein. Die überlagernden Schwarzschiefer reduzierten die Lösungskapazität.

Die erste Mineralisation besteht im Wesentlichen aus Sulfiden (ZnS , PbS , FeS_2). Die Kristallisation erfolgte kurz nach der Ablagerung der Schwarzschiefer durch Drucklösung. Schwerspat und Flußspat wurden nach den Sulfiden ausgeschieden.

Die Ober-Alb-Schichten lagern transgressiv über Gargasian-Schichten des Ober-Apt. Die Fazies ist tiefmarin (pelagisch). Die Sedimentation beginnt mit bituminösen Schwarzschiefern (0,5–0,2 m mächtig) und beinhaltet diagenetische Mineralisationen von Pyrit, Zinkblende, Bleiglanz und violettem Flußspat.

Diese mineralisierte Formation wird zunehmend mergelig.

Vom Cenoman bis in das Paläozän ist die Sedimentation von marinen ruhigen Beckensedimenten geprägt.

Die mineralisierten Karststrukturen werden von rd. 100 m mächtigen Sedimenten überdeckt. Bedingt durch diese Überdeckung wurde möglicherweise eine epigenetische Kristallisation unter diagenetischen Bedingungen bewirkt. Es wurde Erdöl produziert.

Während des Zeitraumes Oligozän-Miozän bewirkte die alpine Orogenese die Steilstellung der Südflanke der sog. Bou Jabour-Störung und die Steilstellung der Albo-Garganian Diskonformitätsfläche. Der miteinbezogene Paläokarst wurde aufgearbeitet. Eine weitere (zweite) Karstifikation fand statt. Gebänderter Baryt und Geodenbaryt bildete sich im Beisein von Erdöl.

Eine junge Tektonik bewirkte eine weitere Karstbildung. Höhlen von enormen Ausmaßen bildeten sich. Die Höhlenbildung hält heute noch an. Die Füllung der Höhlen erfolgte nur zum Teil mit grobkristallinem lamelarem Schwerspat und eisenoxidreichen Tonen.

4. Metallogenese der mesozoischen Pb-Zn-Lagerstätten der Ostalpen

4.1. Grundlagen der Pb-Zn-Metallogenese in Karbonatgesteinen

Die seit mehr als 20 Jahren systematisch durchgeführten Arbeiten in Bereichen schichtgebundener Pb-Zn-(F-Ba-Cu-)Vererzungen in Karbonatgesteinen lassen nach AMSTUTZ & FONTBOTE (1983) für die Bildungsweise dieser Lagerstättengruppe zwei unterschiedliche Modellvorstellungen anführen.

- Migration von salinaren, metallhaltigen Lösungen („brines“) vom Spendergestein in eine Falle.

Metall und Schwefel werden von ein und demselben Lösungsmittel transportiert oder Metalle allein werden von „brines“ transportiert. Schwefel war im Bereich der Falle vorhanden bzw. wurde von „brines“ anderer Herkunft angeliefert. Die Migration kann über Kilometerdistanzen stattfinden und durchwandert verschiedenste lithologische Einheiten. Selbst nach abgeschlossener Lithifikation der Gesteinseinheiten können Migrationen erfolgen.

Die Lithofazies des „neuen Trägergestein“ ist dagehend wichtig, daß dieses Gestein in der Lage ist, die mineralisierenden Lösungen einzufangen. Der mineralisierende Prozeß würde dann während eines unabhängigen Zeitraumes, nach erfolgter Sedimentation und früher Diagenese stattfinden. Aus diesem Grund würde der Mineralisationsvorgang keine Beziehung zum Sedimentationsraum (= Fazies) haben.



- Der mineralisierende Prozeß findet hauptsächlich während der Sedimentation und frühen Diagenese statt und ist direkt mit dem Ablagerungsmilieu (= Fazies) in Verbindung zu setzen.

Die Lithofazies des Trägersteins ist maßgebend, weil dieses „Paläoenvironment“ die Möglichkeit

schuf, daß mineralisierende Prozesse stattfinden konnten.

Source rock = Reservoir rock

Es wird festgehalten, daß dieses Modell alle Prozesse beinhaltet, die im Ablagerungsraum stattgefunden haben (z. B. Frühdiagenese, seepage reflux und evaporate pumping Mechanismen), die in der Lage waren, eine Migration von „connate“ Wässern zu bewirken.

Die Lithofazies Pb-Zn-führender Trägergesteine ist gekennzeichnet durch:

- Flachwasserfazies mit mehr oder weniger detritärem Einfluß aus Festlandbereichen.
- Gehalt an organischem Material der Kalk- und Dolomitgesteine (reduzierende Bedingungen im Diagenestadium).
- Algenlaminiten, Algenmatten.
- Schieferereinlagerungen.
- Evaporitminerale (oder Relikte derselben).
- Gezeiten- und Lagunensedimente.
- Vielfältige diagenetische Evolution der Trägergesteine.
- Diagenetische Kristallisationsrhythmite (DCR), Geodenbildungen und Breccien.

Beispiele der strengen Faziesbindung sind:

- Lagerstätte Irankuh (RASTADT, 1980), wo die Pb-Zn-Erzführung ausschließlich an schwarze dolomitische Algenlaminiten gebunden sind. Das Environment ist intertidal, wobei die Sedimente unter präevaporitischen Bedingungen abgelagert wurden.
- Lagerstätte Magmont Mine (Mississippi Valley): hier werden die Pb-Zn-Erze von intertidal-supratidalen Sedimenttypen kontrolliert.
- Bleiberger Sonderfazies, wo Erze von inter- und supratidalen Sedimenttypen kontrolliert werden.

Geometrie der Erzkörper

Im karbonatischen Milieu überwiegen 2 Typen:

- Stratiforme Erzkörper

- Diskordante gangförmige Erzkörper, die meist an Fissuren gebunden sind, jedoch im Schichtverband bleiben. Dazu gehören auch Karststrukturen.

Merkmale der stratiformen Erzkörper

- Schichtgebundene „Lager“ oder Linsen im m- bis 100 m-Bereich in Längserstreckung, cm- bis m-mächtige massive und/oder disseminierte Erze.
- in vielen Fällen, Unregelmäßigkeit der Erzkörpergeometrie durch Auffüllung der Paläotopographie hervorgerufen (z. B. Prielfüllungen).
- Meist scharfer Kontakt (hangend und liegend) der Erzlinsen zum Nebengestein.
- Häufiges Auftreten von Erzkörpern entlang vorgegebener stratigraphischer Horizonte.
- Häufige Übereinanderlagerung von Erzlinsen in der vertikalen Abfolge.
- Bei komplexem Sedimentaufbau (Sandsteine, Schiefer, Karbonate) sind die Erzparagenesen komplex, in rein karbonatischem Milieu dominieren einfache Pb-Zn-(Ba-,F-)Paragenesen.

Diagenetische Faktoren

karbonatgebundener Pb-Zn-Erze

Es werden zwei Phasen unterschieden:

- **Phase I**
setzt ein offenes diagenetisches System voraus. Porenlösungen können zirkulieren. Unter bestimmten Faziesverhältnissen können sich Erzlösungen abscheiden:
 - In einem geochemischen Mikromilieu, in dem Sulfatreduktion durch Bakterien stattfinden kann.
 - Ausreichende Wasserzirkulation, die eine hohe Erzkonzentration aus Lösungen bewirken kann (seepage- und evaporative pumping-Mechanismen).
- **Phase II**
Im Zeitraum der Diagenese kristallisieren die Sedimentpartikel inklusive der Erzminerale. Es erfolgt keine weitere Lösungszufuhr. Die Kristallisation (= Kornvergrößerung) findet in einem großteils „geschlossenen System“ statt. Als Beispiel dieser Phase sind diagenetische Kristallisationsrhythmiten (DCR), syndiagenetische Breccien und Geodenstrukturen zu nennen.
- **Sedimentation**
Phase I Erzanreicherung in diagenetisch offenen Systemen (milieuabhängiger Prozeß).
Phase II Diagenetische Kristallisation und Konzentration in einem diagenetisch geschlossenen System.

4.2. Rezente Lagerstättenbildung an Plattengrenzen

Die neue globale Geologie entwickelte sich seit den 60er-Jahren aus den Erkenntnissen der marinen Geophysik, nachdem in den ersten Dezennien dieses Jahrhunderts die von A. WEGENER vorgestellte Kontinent-Drift-Theorie infolge fehlender Beweise zunächst nicht akzeptiert worden war. Die gegenwärtige Erdkruste kann in etwa 40 Platten eingeteilt werden, die sich voneinander weg oder aufeinander zu bewegen.

Lagerstättenbildende Prozesse finden heute in divergenten und konvergenten Plattenrändern statt.

In den Kollisionszonen der Platten (konvergierend) ereignet sich die Metallogenese vorwiegend versteckt

im Bereich der Subduktionszone und ist somit den aktuogeologischen Beobachtungen nicht zugänglich. Bevorzugte Plattengrenzen sind die heutigen Kontinentalränder und Inselbögen. Insbesondere die im Bereich der Inselbögen gebildeten Eisen-, Mangan- und Kieslagerstätten wie die fossilen Lahn-Dill- und Kurokoerze zeigen große Ähnlichkeit mit den rezenten submarinen Vorkommen in den Krusten-Akkretionszonen.

Die divergenten Plattengrenzen verlaufen überwiegend im Inneren der heutigen ozeanischen Meeresbecken (ozeanischen Rücken). Hier ist die Metallogenese im wesentlichen hydrothermal-sedimentärer Art und aktuogeologischen Beobachtungen zugänglich (BÄCKER, 1982).

Die Bereiche aktiv divergierender Plattenränder, deren Gesamtlänge ca. 65.000 km beträgt (TUFAR et al., 1984), finden sich zum überwiegenden Teil auf dem Meeresboden bzw. Ozeanboden und gehen nur im geringen Maße in das Festland (Westküste Nordamerikas, Ostafrika, Rotes Meer) hinein. Entlang der divergierenden Plattenränder liegen Aufwölbungen des Erdmantels vor, und es kommt dort zum Aufstieg von Magmen, die in ihrer Zusammensetzung vorherrschend tholeiitische Basalte darstellen. Örtlich kommt es zur Bildung von hydrothermal-sedimentären Lagerstätten, die durch ihren Reichtum an Fe-Zn-Cu-Mn gekennzeichnet sind. Die Mineralparagenesen liegen sowohl in massiv sulfidischer als auch in oxidischer Form vor.

Die als „black smokers“ in die Literatur eingegangenen hydrothermalen Zuführkanäle finden sich vor allem im Bereich des ostpazifischen und mittelatlantischen Rückens.

Große Mengen von massiven Eisensulfiden mit z. T. beträchtlichen Cu- und Zn-Gehalten werden täglich hydrothermal gefördert, und zwar um die Zuführkanäle sedimentiert. Blei fehlt weitgehend (TUFAR et al., 1984; BÄCKER, 1982).

Die Bildungsweise rezenter Lagerstätten ist im Bereich des Roten Meeres am besten dokumentiert.

Die hydrothermale Erzmineralisation im „Rift Valley“ des Roten Meeres ist durch Erzschlämme und massive Sulfiderze gekennzeichnet. Gegenüber den ostpazifischen und mittelatlantischen rezenten Erzbildungen sind im Roten Meer neben Basalten auch mächtige Sedimentserien mit Evaporiten beteiligt. Das Rifting System begann im Alttertiär und frühen Miozän, kam dann zum Stillstand. Seit dem Pliozän driften die Platten wiederum auseinander.

TUFAR et al. (1984 cum lit.), BÄCKER (1982 cum lit.) sehen zusammenfassend folgende Bildungsweise: Das in den Untergrund bis in die neugebildete ozeanische Kruste (Basalt) eindringende Meerwasser wird von unten aufgeheizt. Es bilden sich Konvektionsströmungen, die auch Bereiche mit evaporitischen Sedimenten mit einbeziehen. Die Lösungen werden mit Salzen angereichert bzw. gesättigt. Dies hat Einfluß auf die Lauungsvorgänge im Basalt sowie auf den Stofftransport in den so entstandenen hydrothermalen Lösungen. Die am Meeresboden im Zentralgraben des Roten Meeres austretenden heißen, hochsalinaren, mit Metallen angereicherten, hydrothermalen Lösungen bzw. Solen weisen auf Grund ihres hohen Salzgehaltes – gegenüber Meerwasser – eine höhere Dichte auf. Sie bleiben durch das submarine Relief bedingt in Senken (= Fallen) liegen. In den Fallen werden feinkörnige Erzschlämme zusammen mit sulfatischen, karbonatischen Schlämmen meist in feingeschichteter Form sedimen-

tiert. An Wertmetallen treten vor allem Zink, Kupfer und Silber auf.

Am bekanntesten ist das Atlantis II-Tief mit seinen gemischt oxidisch-sulfidischen Erzschlämmen mit hohem Silikatanteil, die dort eine ca. 60 km² große bis zu 25 m (Durchschnitt 10 m) mächtige Lagerstätte bilden.

○ Schichtige Schwerspatrhythmite (DCR-Typus: Diagenetische Kristallisations-Rhythmite) in Verbindung mit tuffitischen Sedimenten als Karsthohlraumfüllungen. Der Schwerspat zeigt syndiagenetische Kristallisations-Generationen und tritt zusammen mit Dolomit und Calcit (Frischwassercalcit) auf.

Weiters gibt es schichtige Eisen- und Manganoxide in Dolinen.

Die miozänen Mineralisationen werden als Bildungen diagenetischer Prozesse im Karst-Milieu gedeutet. Die Abscheidung von sulfidischen bzw. oxidischen Erzmineralen wird in Abhängigkeit von den physiko-chemischen Bedingungen in den Karsthöhlräumen gesehen.

Ob die an der heutigen Rotmeerküste Ägyptens gelegenen miozänen Mineralvorkommen mit dem seit dem Alttertiär aktiven Riftsystem in Zusammenhang zu bringen sind, ist ungeklärt. Der Zusammenhang fällt trotz unterschiedlicher Paragenesen (Cu-Armut im fossilen Bereich und Cu-Reichtum im rezenten Bereich) ins Auge. Kann man diese tertiären bis rezenten, mit genannten Unsicherheiten belasteten, Lagerstättenbildungen des roten Meeres auf den alpinen Bereich – insbesondere auf die Pb-Zn-Vererzungen entlang des Periadriatischen Lineaments (als mögliches Riftsystem) – genetisch übertragen?

4.3. Das Periadriatische Lineament als möglicher Erzspender

Die mesozoischen, schichtgebundenen Pb-Zn-Vorkommen der Alpen sind nach KLAU & MOSTLER (1983) eng verknüpft mit der sich herausbildenden Tethys mit instabilen Schelfbedingungen (passive Plattenränder). Durch zwei Rifting-Phasen im Oberperm und in der

Mitteltrias bedingt, wurde ein Becken herausgebildet. Die Füllung des Beckens erfolgte mit Kontinental-schutt, über welchem sich Karbonatplattformen mit Evaporiten herausbildeten.

Die Ausfällung von oxidischem Eisen und von Silikaten erfolgt hauptsächlich ringförmig um eine Zone mit vorwiegend Schwermetallen. Mangan wird dagegen fast gänzlich in Randbereiche abgedrängt oder verlässt das System ganz. Auf diese Weise bildet sich um Sulfidlagerstätten ein bis zu 20 km breiter Manganhof, der als gutes Explorationsmittel genutzt werden kann. Diese Manganhofbildung wurden bei einer Reihe von fossilen Lagerstätten nachgewiesen (z. B. Meggen, Typhagn, Grazer Paläozoikum). Selbst in der karbonatgebundenen Lagerstätte Bleiberg-Kreuth treten um stockförmige aber auch schichtförmige Vererzungen ausgeprägte Mn-Hofbildung auf.

Untersuchungen von EL AREF & AMSTUTZ (1983), EL AREF et al. (1984, 1986) zeigen, daß bereits miozäne Karbonatgesteine an der Westküste des Roten Meeres Mineralisationen aufweisen.

Die Mineralisationen sind an Evaporithorizonte (Anhydrit, Baryt) gebunden. An Sulfidmineralen treten Pyrit/Markasit und Bleiglanz auf. Zinkblende fehlt. Eine starke Kieselsäureführung ist für die Vererzungen typisch. EL AREF (1984) deutet die Mineralisationen als syndiagenetische Bildungen in einem extrem flachmarien Ablagerungsraum. In einem kleinräumigen Relief, das als geochemische Falle wirkte, kam es zur diagenetischen Abscheidung von Erzrhythmiten.

Die miozänen Karbonatgesteine weisen ferner charakteristische Karstphänomene auf, die regional mit chemischen und biogenen Sedimenten einerseits, Oxiden und Sulfiden von Eisen, Blei, Zink, und Schwerspat andererseits gefüllt sind.

Es können drei Typen von Karstmineralisationen unterschieden werden.

○ Schichtige Pb-Zn- und Eisenoxide mit punktförmigen Bleiglanz- und Schwerspatkörnern in Karsthöhlen. Die Erzminerale bilden krustenförmige Texturen um verkarstete Gesteinsbrocken.

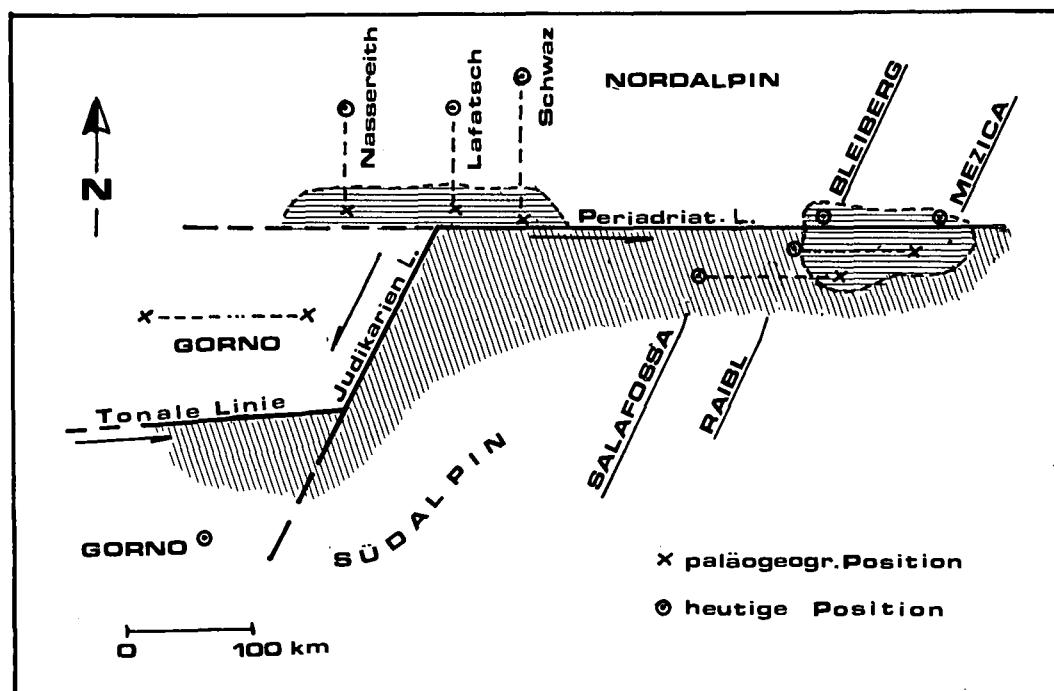


Abb. 26.
Paläogeographische und heutige Position der triadi-
schen karbonatgebun-
denen Pb-Zn-Lagerstätten in
Bezug zum Periadriati-
schen Lineament.
Nach KLAU & MOSTLER
(1983).

- Schichtige Pb-Zn- und Eisenoxide und Sulfide in Verbindung mit Kollaps-Breccien (Hohlräumfüllungen mit Kokadenerzen), wirtschaftlich genutzt im Bergbau Gebel El Rusas.

Während der subsequenten Evolution dieser taphrogeosynkinalen Phase zerbrachen die Karbonatplattformen. Es kam zu Heraushebungen und nachfolgend zu Verkarstungen. Die Karsthohlräume wurden mineralisiert. KLAU & MOSTLER (1983) machen die Karsthohlräume für die Platznahme der Vererzungen verantwortlich.

Die bergwirtschaftlich interessanten Pb-Zn-Lagerstätten der Alpen liegen beiderseits der Periadriatischen Naht. Mezića, Bleiberg-Kreuth und Lafatsch liegen nördlich der Naht, Raibl, Salafossa und Gorno südlich der Naht.

Abb. 26 zeigt eine mögliche Rekonstruktion der Lage der genannten Lagerstätten.

Im Eozän wurde der Block südlich der Periadriatischen Naht ca. 100 km gegen Westen verschoben. Diese Annahme beruht jedoch nur auf lagerstättenkundlichen Überlegungen. Durch diese vermutete Verschiebung würde Salafossa südlich von Bleiberg, Raibl südlich von Mezića und Gorno südlich von Lafatsch zu liegen kommen.

Im Fall der postulierten Bewegungen an der alpin-dinarischen Naht würden die bleibetonten Gangvererzungen von Mezića mit den zinkbetonten strukturgebundenen Erzen von Raibl zu korrelieren sein. Die Struktur und Ausbildung der mannigfältigen Erze von Bleiberg müßten mit den stockförmigen Vererzungen von Salafossa übereinstimmen und die streng schichtgebundenen Erze von Lafatsch müßten mit den struktur- und schichtgebundenen Erzen von Gorno korrelieren.

Nach Untersuchungen von F. BAUER (1984) ergeben sich aus der Orientierung des Riffwachstumes von Wettersteinkalk bzw. Schlerndolomit zu den Beckensedimenten paläogeographische Vorstellungen eines Beckens zwischen den Nord- und Südkarawanken. Die Anlage von Becken erfolgt durch Zerbrechen von Plattformen und es entstehen mobile Zonen, die vielfach durch auftretenden Vulkanismus charakterisiert sind. Dies bedeutet für die Draukalpen, daß das Periadriatische Lineament mit einer mitteltriadischen Riftzone zusammenfällt, die wahrscheinlich bereits einer variszisch angelegten Schwächezone folgte (BECHSTÄDT, 1976, 1978; BRANDNER, 1984).

Nach den plattentektonischen Modellvorstellungen von FRISCH (1977) begann in der mittleren Kreide die Subduktion des südpenninischen Ozeans unter die Adriatische Platte, zu der Nördliche Kalkalpen, Drauzug und Südalpen gehören. Demnach kann das Periadriatische Lineament keine Plattengrenze darstellen, sondern tritt erst später beim Zerfall der Platte in Erscheinung.

Bei der Diskussion um die Bedeutung des Periadriatischen Lineaments bestehen heute noch die unterschiedlichsten Auffassungen. Blattverschiebungen, die durch Rotationsbewegungen ausgelöst worden seien, wurden durch paläomagnetische Messungen (SOFFEL, 1972, in BAUER & SCHERMANN, 1985) behauptet. Im Zeitraum Obereozän – Oligozän soll sich nach LAUBSCHER (1971) die Südscholle relativ zur Nordscholle bis zu 300 km nach Westen verschoben haben. Die langjährigen tektonischen Aufnahmen von BAUER (1984) zeigen hingegen, daß lediglich Horizontalverschiebungen geringen Ausmaßes stattgefunden haben können.

Aufgrund dieser Erkenntnisse würde dies für die Pb-Zn-Lagerstätten bedeuten, daß sie in ihrer heutigen Position gebildet wurden.

Obwohl die geotektonische Bedeutung des Periadriatischen Lineaments hinsichtlich seiner Funktion als „Metallspender“ unklar ist, ist nicht von der Hand zu weisen, daß eine Reihe von Pb-Zn-Metallkonzentrationen beiderseits dieses tektonischen Lineaments auftreten. Diese Metallkonzentrationen sind auf einen stratigraphisch definierbaren Komplex der Karnischen Stufe, innerhalb einer rd. 3 km mächtigen Karbonatabfolge, beschränkt. Den stratigraphisch exakt zuordenbaren Zeitraum erhöhten Metallangebote in der Mitteltrias mit dem heutigen Wissen über das plattentektonische Geschehen in dieser Zeit zu verbinden, muß als hypothetisch bezeichnet werden.

Die Praxis hat uns gelehrt, daß die Vererzungsbildungen von der Fazies und Paläogeographie kontrolliert werden. Die Herausbildung entsprechender Faziesräume wird jedoch zweifellos von großtektonischen Ereignissen gesteuert.

Wenn wir auch heute nach wie vor über die Bedeutung des Periadriatischen Lineaments als „Erzspender“ im Unklaren sind, geben uns Untersuchungen der Blei-isotopen wertvolle Hinweise über das Bildungsgeschehen.

5. Mesozoische Pb-Zn-Vorkommen in den Ostalpen

5.1. Verteilung der Pb-Zn-Vorkommen

In den Draukalpen und Nördlichen Kalkalpen, die mehr als ein Viertel des österreichischen Staatsgebiets bedecken, sind mehr als 200 Vorkommen von Blei- und Zinkerzen bekannt, die von Industriemineralen wie Flußpat, seltener Schwerspat, begleitet werden.

Lagerstättenbildend treten Pb-Zn-Vererzungen auf

- in den Draukalpen (Karawanken Nordstamm und Gailtaler Alpen),
- in den Nordtiroler Kalkalpen (zwischen Kufstein und dem Arlberg),

- in den östlichen Ausläufern der Nördlichen Kalkalpen (Niederösterreich).

Die Konzentration der mesozoischen, karbonatgebundenen Pb-Zn-Lagerstätten findet sich nördlich und südlich der alpin-dinarischen Naht. Statistisch gesehen treten diese Metallkonzentrationen in Abständen von 40 bis 60 km lagerstättentypisch auf. Die Bergbaue Bleiberg-Kreuth und Mezića, sowie der Bergbau Raibl gelten heute noch als wesentliche Produzenten von Pb-Zn-Erzen im mitteleuropäischen Raum. Im Bereich der Nördlichen Kalkalpen sind die Anteile östlich von Kufstein bis in den Raum von Wien arm an Pb-Zn-Mineralisationen. Westlich von Kufstein bis in das Gebiet

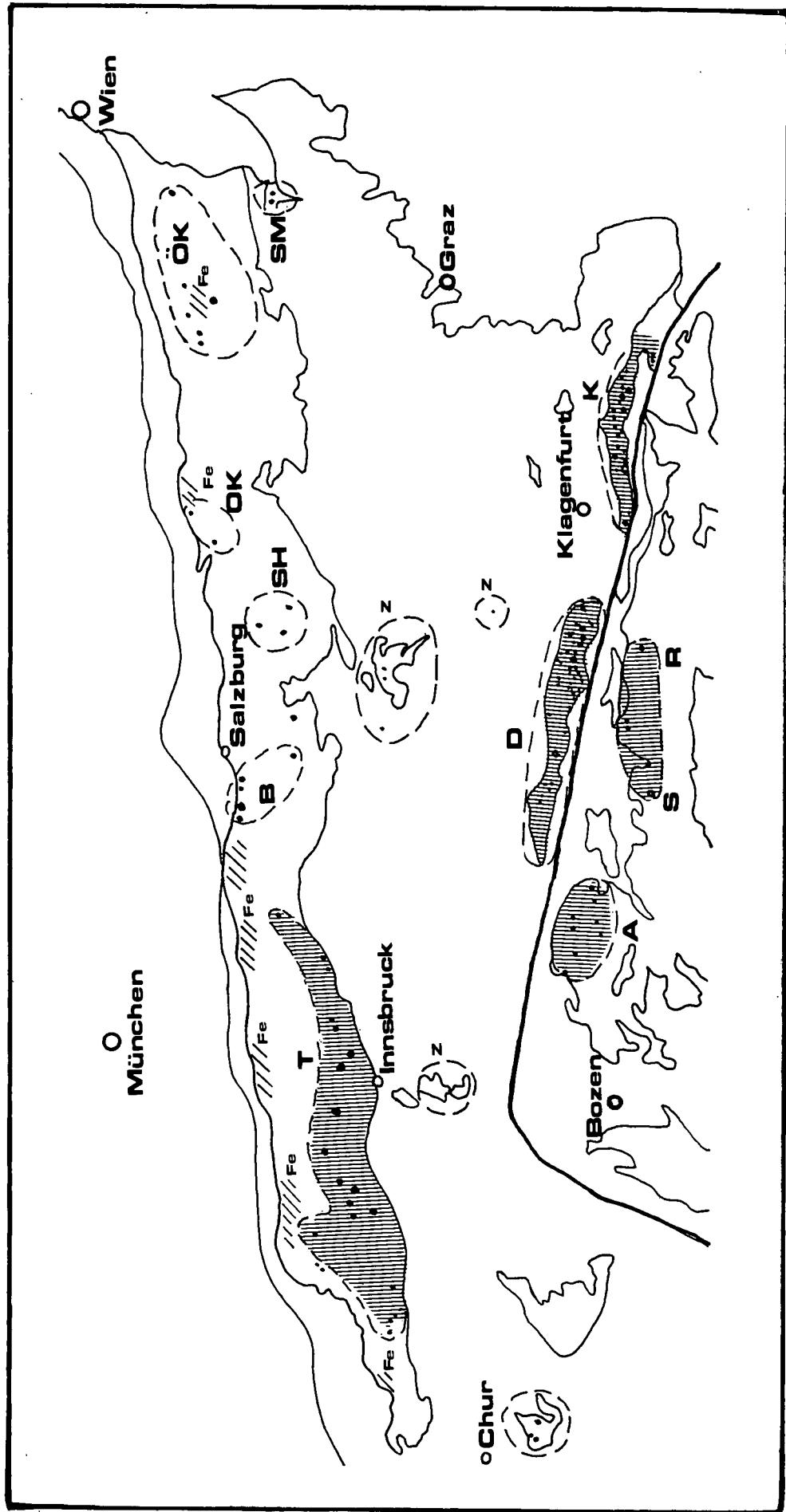


Abb. 27.
Verteilung der triadischen Pb-Zn-Vorkommen in den Ost-(und Süd-)Alpen.
Nach SCHROLL, 1983).

S = Salafossa; R = Raibl; A = Auronzo; D = Drauzug; K = Karawanken; Z = Zentralalpen; G = Graubünden; SH = Bayern; OK = Salzkammergut; SM = Semmeringtäls; Fe = Eisenmineralisationen in der Trias.

des Arlberges sind eine Vielzahl von Mineralisationen bekannt, wobei die Lagerstätte Lafatsch im Karwendel und die Bergreviere um Nassereith und Imst bemerkenswerte Metallkonzentrationen aufweisen.

Über Pb-Zn-Vorkommen im zentralalpinen Mesozökum gibt es keine zusammenfassende Darstellung. BECKSTÄDT (1978) geht detailliert auf die fazielle und tektonische Situation der mittel- und oberostalpinen Abfolgen des Permomesozoikums ein (z. B. Brenner, Engadin und Ortler, Stangalm, Krappfeld).

In den z. T. metamorphen karbonatischen Abfolgen sind nach bergwirtschaftlichen Gesichtspunkten keine interessanten Pb-Zn-Vererzungen bekannt.

Im Bereich des Brenner Mesozoikums sind Pb-Zn-Vererzungen mit Fahlerz vorhanden. Nach SCHROLL (mündl. Mitt.) sind die Erzführungen metamorph (ca. 400°C), wobei Bleiglanze radiogenes Blei beinhalten. Die Erzführungen lassen sich mit den Vorkommen im Binnatal, Schweiz, vergleichen. SCHROLL (1954) sieht die Erzführung bei Obernberg am Brenner als heißthermale Bildungen. Zinkblenden sind reich an Quecksilber (ca. 0,1 % Hg), Bleiglanze extrem reich an Silber (bis 0,3 % Ag).

Im Bereich der Schladminger Tauern sind nach SCHROLL (mündl. Mitt.) Flußspatmineralisationen (mit ZnS und PbS) bekannt, die nach ihrer Textur auf eine sedimentäre Anlage schließen lassen. Im Stangalm-Mesozoikum (Turrach) sind Kiesvererzungen mit Spuren von Pb, Zn, Cu an dunkle Dolomite der anisischen Stufe gebunden. Über das Pb-Zn-Vorkommen Rudnik (Faakersee, Kärnten) wird gesondert eingegangen (Kap.: Alpiner Muschelkalk als Erzträger).

Die regionale Verteilung der Pb-Zn-Vorkommen in den Ost-(und Süd-)Alpen geht aus Abb. 27 hervor. Die Verhältnisse in den Draukalkalpen zeigt Abb. 32.

Nach heutigem Kenntnisstand sind in den vorgenannten karbonatischen Anteilen der Kalkalpen drei stratigraphische Einheiten prädestiniert für das Auftreten von Pb-Zn-Mineralisationen:

- Der Alpine Muschelkalk (anisische Stufe).
- Die lithostratigraphische Einheit des „Wettersteinkalkes“ mit seinen faziellen Eigenheiten, die dazu führten, mineralisierte Abschnitte als „Sonderfazies“ innerhalb des Wettersteinkalks zu bezeichnen (HOLLER, 1936).
- Die lithostratigraphische Einheit der Raibler Schichten, wobei nur im Großraum Bleiberg und einigen verstreuten Fundstellen Erze in den Raibler Schichten bekannt sind.

Betrachtet man generell die Pb-Zn-Mineralisationen der Ostalpen in ihrer zeitlichen Abfolge, so erkennt man drei Zyklen, die sich im wesentlichen an drei Erdgeschichtliche Epochen halten.

- Altpaläozoikum (Ordovizium) mit polysulfidischen Erzanreicherungen (z. B. Gurktaler Alpen, Kreuzeckgruppe, kristalline Einheiten südlich des Inn, Schladminger Tauern und Karawanken, etc.).
- Paläozoikum (Silur/Devon) mit Pb-Zn-Vormacht, unter Zurücktreten polysulfidischer Komponenten (Cu, Sb); Typus Grazer Paläozoikum, Grauwackenzone.
- Mitteltrias (anisische und karnische Stufe) mit zunehmendem Reinheitsgrad der Pb-Zn-Erze (z. B. Fehlen von Cu, Sb; Zurücktreten von Fe) jedoch fallweise Zunahme an Germanium in Zinkblenden.

In den Südalpen gesellen sich zu dieser Dreigliederung noch Pb-Zn- (Ag-, Cu-) Vererzungen in den permi-

schen, lakustrin-marinen Bellerophonschichten (KLAU & MOSTLER, 1983), deren Metallbezug vom Bozner Quarzporphyr abzuleiten ist.

Der Silberreichtum paläoziischer Erze, im speziellen des Bleiglanzes, steht im krassen Gegensatz zur Silberarmut in karbonatgebundenen Lagerstätten der Mitteltrias.

Interessant ist die Tatsache, daß in der Zeit ab der Mitteltrias bis in das Tertiär keine Pb-Zn-Lagerstätten, nicht einmal Vorkommen in den geologischen Einheiten der Ostalpen auftreten bzw. bekannt geworden sind.

Nach heutigem Kenntnisstand liegen die geschätzten Metallinhalte in mitteltriadischen karbonatgebundenen Pb-Zn-Lagerstätten der Ostalpen bei 7 Millionen Tonnen Pb + Zn. Dies dürfte bei weitem den Metallinhalt paläoziischer Lagerstätten der Ostalpen überschreiten. Davon sind rd. 3,5 Millionen Tonnen Metall allein an die Lagerstätte Bleiberg-Kreuth gebunden.

5.2. Genetische Vorstellungen

Die genetischen Vorstellungen über die Lagerstättbildung von Pb- und Zn-Erzen in den Draukalkalpen bzw. Nordtiroler Kalkalpen beschäftigt seit Generationen die Erdwissenschaftler. Ein Schwerpunkt für diesbezügliche Arbeiten ist zweifellos die Lagerstätte Bleiberg-Kreuth.

Die mannigfältigen Vererzungsbilder gaben Anlaß, die Genese der Erze auf unterschiedlichste Weise zu erklären.

Im Folgenden wird versucht, die umfangreiche Literatur kurz zusammenzufassen (KOSTELKA, CERNY, SCHROLL, 1986).

Die Lehre von der Entstehung der Erzlagerstätten ging bis in unser Jahrhundert in erster Linie von der Betrachtung der Erzgänge aus, die in vielen Fällen an magmatische Gesteine, Granite oder Vulkanite gebunden sind. Die Entwicklung neuer wissenschaftlicher Arbeitsrichtungen und Methoden brachten neue Erkenntnisse und damit neue genetische Vorstellungen.

Bemerkenswerterweise kamen die ersten genetischen Vorstellungen von SCHMIDT (1846), HUPFFELD (1897) und BRUNNLECHNER (1899) dem derzeitigen gesicherten Erkenntnisstand schon relativ nahe. Sie nahmen an, daß Bleiberg-Kreuth eine „syngenetisch-sedimentäre“ Lagerstätte sei, die aus ursprünglich im Sediment feinstverteilten Erzen später konzentriert worden ist, wobei die Raibler Schichten gegen aufsteigende Thermen nach oben abgedichtet haben. SCHMIDT schrieb 1846:

„Die Gestaltung des erzführenden Kalkes ist nicht als das Produkt einer gewöhnlichen Schichtenbildung, sondern als das Produkt eines Krystallisations-Prozesses zu betrachten. Alles, was man auf den Bleiberger Erzlagerstätten sieht, trägt das Gepräge der gleichzeitigen Bildung.“

Die Beschreibung der Mineralsukzession in Erzen des „Bleiberger Erzkalkes“ durch BRUNNLECHNER (1899) ist auch heute noch gültig. Die von POSEPNY (1873) entwickelte Idee der metasomatischen Verdrängungsvererzung erwies sich für mehr als zwei Generationen richtungsweisend. Da nach der geltenden Lagerstättenlehre Bleiberg genetisch als apomagmatisch (telemagmatisch) und „rein hydrothermal“ (sensu SCHNEIDER-HÖHN, 1955) eingestuft worden war, war es naheliegend, daß fast alle alpidischen magmatischen Ereignis-

se der Ostalpen für die Bildung der Lagerstätte verantwortlich gemacht worden sind, wie pliozäne Basalte (TORNQUIST, 1927), andesitische Magmen (W. PETRASCHECK, 1945), ein granitischer Zentralpluton (SCHNEIDERHÖHN, 1941) oder oligozäne bis miozäne periadriatische Intrusionen (COLBERTALDO, 1948).

Neue Erkenntnisse ergaben sich durch die Anwendung von Quarzspektrographen bei der geochemischen Untersuchung von Erzmineralen (HEGEMANN, 1949; SCHROLL, 1953) und auf Grund der Ergebnisse massenspektrographischer Untersuchungen des Bleiberger Bleis.

Die spektrochemischen Untersuchungen lieferten die erste geochemische Charakteristik, die die ladinisch-karnischen Vererzungen, vor allem Bleiberg, Mezića und Raibl, von den anisischen und anderen Erzmineralisationen der ostalpinen Trias unterscheidet und auch Unterschiede zu den Pb-Zn-Erzen des Paläozoikums und Tauernkristallins erkennen lassen. Daneben wurde auf Nutzbarkeit von Spurenmetallen, vor allem auf Germanium (SCHROLL, 1953, 1954) aufmerksam gemacht. Das von NIER (cit. in SCHROLL, 1953) errechnete Modellalter zeigt eine höheres Alter als das geologische Alter der vererzten Triassedimente.

Als erster äußerte SCHWINNER (1946) Bedenken gegen die unitaristische Hypothese der ostalpinen Metallogene, die Bleiberg mit einschloß. SCHNEIDERHÖHN (1958) verwies auf seine neue Hypothese der Umlagerung aus dem Lagerstätteninhalt des Altkristallins durch sekundär-hydrothermale Prozesse.

SCHROLL (1953) erwog eine Umlagerung anisischer Blei-Zink-Vererzungen und in den Nordtiroler Kalkalpen den Einfluß der Cu- und Ag-reichen Vererzungen der Grauwackenzone. Bemerkenswert ist auch die Theorie von SEIDEL (1957), die die Auswirkung von Lösungen aus dem Salinar in Erwägung gezogen hat. HEGEMANN (1949) entwickelte die Hypothese der Stoffherkunft aus submarinen Thermen, die syngenetisch mit dem Vulkanismus der Trias auftreten sollten; die Beweisführung mit Hilfe spektrochemischer Spurenanalysen war damals allerdings nicht möglich.

Als Ergebnis der Anwendung gefügekundlicher Untersuchungsmethoden an Erzen und Sedimenten kamen SCHNEIDER & TAUPITZ (1953) zum Schluß, daß der Stoffbestand der Pb-Zn-Lagerstätten der Nördlichen Kalkalpen sedimentären Anreicherungsprozessen entstammt und der heute vorherrschende Lagerungsverband und Mineralinhalt der Erzkörper im Gefolge der alpinen Gebirgsbildung sekundär umlagert und konzentriert worden wäre. Diese Behauptung, der zunächst widersprochen wurde (CLAR, 1956; PETRASCHECK, 1957; FRIEDRICH, 1962), führte zu einer mehr als zehn Jahre währenden Diskussion mit dem Erfolg, daß durch weitere Untersuchungen, vor allem von SCHNEIDER (1964), MAUCHER (1954, 1957), SCHULZ (1955, 1960, 1966, 1968), der synsedimentäre Absatz der Pb-Zn-Erze überzeugend nachgewiesen werden konnte. Durch isotopengeochemische Untersuchungen (SCHROLL & WEDOHL, 1972), insbesondere durch Untersuchung der Schwefelisotope, konnte der synsedimentäre Absatz der Erze bestärkt werden. Trotzdem ist dieses Modell allerdings ohne intensivere Studien noch einmal in Frage gestellt worden (DZULYNSKI & SASS-GUSKIEWICZ, 1980).

Abgesehen von den ebengenannten geochemischen Bildungsbedingungen solcher Metallanreicherungen, die durch entsprechende Untersuchungen einzugren-

zen bzw. zu ermitteln sind, ist der genetische Zusammenhang mit dem Vulkanismus zur Zeit der Trias nur eine Hypothese, die noch nicht bewiesen ist. Bisher sind keine unter die jeweiligen erzführenden Sedimenteinheiten in die Tiefe gehenden Vererzungen bekannt. Dies gilt auch für tektonische Störungen aller Art, die als Zuführkanäle bezeichnet worden sind.

In der Folge wurde mit der geochemischen Untersuchung der Gangarten der Vererzung und des Nebengesteins in Bleiberg begonnen. Die systematische geochemische Analyse von Gesteinsprofilen gehört heute bereits zur Praxis des Bergbaus.

Die Einführung moderner stratigraphischer Methoden und die Anwendung karbonatsedimentologischer Arbeitsweisen sowie neuere Vorstellungen der lokalen geologischen Verhältnisse haben die Grundlagen für neue Modelle der Lagerstättengenese erheblich erweitert.

Aufgrund der nachweisbaren Existenz von Erzsedimenten ist an einem auf die Zeit der triassischen Sedimentation zurückgehenden Metallisationsprozeß nicht mehr zu zweifeln. Klarheit herrscht auch darüber, daß nach dem Einsetzen einer Karbonatfazies diskrete, etwa seit dem mittleren Anis sich lokal mehrfach wiederholende, „Ereignisse“ zu einer stofflichen Zufuhr und zur Bildung von Erzsedimenten geführt haben.

Diese Vorgänge erscheinen gebunden an:

- Eine stratigraphische Abfolge mit grob- bis feinklastischem kontinentalem Schuttmaterial, das auf einer voralpidischen Landoberfläche aufgelagert ist.
- Das Auftreten von Evaporiten sowie eine karbonatische Flachwasserfazies mit Riffen und Lagunen, mit Einlagerungen von terrigenem klastischem und auch tuffogenem Material.
- Eine Epirogenese, verbunden mit Bodenunruhe und eine früh einsetzende Tektonik. Im Bereich von Bleiberg besitzt die Sedimentfolge eine Gesamtmächtigkeit von etwa 3000 m, die in einem Zeitraum von etwa 20 Mio. Jahren abgelagert worden ist. 350 m davon entfallen in eine Zeit tektonischer Unruhe. Diese Abfolge ist erzführend. Mit Einsetzen der Sedimentfolge des überlagernden Hauptdolomites (1000 m – 1500 m mächtig), die gleichfalls noch im Flachseebereich, aber in einer tektonisch ruhigeren Periode erfolgt ist, hören auch die Pb-Zn-Vererzungen auf.

Für die Genese der Pb-Zn-Mineralisationen sind verschiedene Möglichkeiten zu diskutieren:

- ① Die **vulkanogen-hydrothermale-sedimentäre Hypothese**
Vulkanogen gebildete hydrothermale Lösungen sollen die Metalle und Fluor marin über Zuführkanäle in und/oder außerhalb des Lagerstättenbereichs ausgeschieden haben.
- ② Die **sedimentäre Hypothese**
Die Stoffe sind über den Verwitterungskreislauf vom Kristallin des Festlandes oder aus Sedimentkomplexen mit oder ohne Mitwirkung präexistenter Metallkonzentrationen in der Flachsee angereichert worden.
- ③ Die **sedimentär-hydrothermale Hypothese**
Connatewässer aus einem möglichen Paläoaquifer der klastischen Sedimentfolge des Permokarbons, Perms und Skyths hätten die Metalle gelöst und gefördert. Inwieweit tektonisch zerklüftetes Altkristal-

lin in den hydrologischen Prozeß einzugliedern ist, bleibt dzt. noch unbeantwortet.

Nach heutigem Wissensstand sprechen viele Indizien für die sedimentär-hydrothermale Hypothese. An Indizien sind hervorzuheben:

- Homogenität der Pb-Isotope.
- Die benötigten Wassermengen für Lösung und Transport der Metalle waren gegeben (vgl. Beobachtungen über Paläoaquifere am Beispiel der Lagerstätten des „irish type“).

5.2.1. Mesozoische, karbonatgebundene Pb-Zn-Lagerstätten und ihre mögliche Beziehung zu Rifting und Plattentektonik

SAWKINS (1984) beschreibt in seinem Lehrbuch „Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics“ das genannte Kapitel wie folgt:

„Eine Reihe von Pb-Zn-Lagerstätten, die an mitteltriadische Karbonateinheiten der Ostalpen gebunden sind (MAUCHER & SCHNEIDER, 1967), sind als alpinotype Lagerstätten bekannt geworden. Die Lagerstätten zeigen eine Angleichung an den Mississippi Valley Type. Ihre tektonische Stellung jedoch kann mit weitgespannten Rifting-Ereignissen in Zusammenhang gebracht werden. Von der Untertrias bis in die Unterkreide war der mediterrane Raum durch eine Reihe von Rifting-Ereignissen geprägt, denen ozeanische Rifting-Ereignisse folgten (D'ARGENIO & ALVAREZ, 1980 in SAWKINS, 1984). Die Mineralisationen im mediterranen Raum treten in Riffen oder „back-reef“ Faziesbereichen auf. Diese Karbonateinheiten, die sich auf hochstehenden Krustenblöcken gebildet haben, stehen Bekkenfazies mit Schiefern gegenüber. Es erscheint möglich, daß Lösungen vom Becken gegen die benachbarten Karbonatplattformen aufgestiegen sind und so die Lagerstätten gebildet haben. Obwohl noch viel über diese Lagerstätten unbekannt ist, scheinen sie ein gutes Beispiel zu sein, da sie an einen Bildungsbereich gebunden sind, der auf Riftsysteme zurückzuführen ist.“

Den Gedanken, Rift-Systeme für die Bildung der karbonatgebundenen Pb-Zn-Lagerstätten entlang des Periadriatischen Lineaments verantwortlich zu machen, griff PETRASCHECK (1974) auf. Er sieht in den ca. 80 Pb-Zn-Vorkommen, die auf eine Erstreckung von 150 km entlang dieses Lineaments aufgereiht sind, eine Gemeinsamkeit zu den Mineralisationen entlang des „38th Lineament“ in den USA. Dieses 38th Lineament erstreckt sich in EW-Richtung über den nordamerikanischen Kontinent und birgt eine große Zahl von Lagerstätten (Mississippi Valley type). Für die Bildung der kalkalpinen, mitteltriadischen Lagerstätten entlang des Periadriatischen Lineaments macht PETRASCHECK (1974) thermale Wässer verantwortlich, die aus einem Riftsystem stammen, wo möglicherweise Metalle im Untergrund gelöst wurden und somit die z. T. reichen Pb-Zn-Lagerstätten bildeten. Er vergleicht diese Hypothese mit SCHNEIDERHÖHNS pseudohydrothermaler Erzgenese.

Er verwirft hiermit die uniforme tertiäre Metallogenese in den Alpen, die Jahrzehntelang Geltung hatte, und akzeptiert die Ergebnisse einer Forschergruppe (MAUCHER, SCHNEIDER, TAUPITZ, SCHULZ, KOSTELKA u. a.), nach welchen die Pb-Zn-Vererzungen in den Kalkalpen synchron mit den triadischen Sedimenten gebildet wurden.

Nach heutigem Kenntnisstand (LEIN, 1985 cum lit.) wird das Sedimentationsgeschehen des kalkalpinen Mesozoikums vielfach bis in den Oberjura hinein von plattentektonischen Vorgängen geprägt, welche u. a. in

der Krustenausdünnung des Sockels zum Ausdruck kommen, wodurch maßgeblich das Subsidenzgeschehen bestimmt wird.

Der kalkalpine Sedimentationsablauf stellt einen gerichteten Prozeß dar, der dieselbe Abfolge irreversibler Entwicklungsschritte aufweist, welche sonst für Sedimentabfolgen passiver Kontinentalränder charakteristisch ist. Die zwischen Oberperm und Oberjura abgelagerte Sedimentsequenz der kalkalpinen Schichtfolge entspricht einem Wilson-Zyklus.

Der durch Krustenausdünnung bedingte Eintiefungsprozeß des Ablagerungsraumes wirkte sich auf die Art der stofflichen Zusammensetzung der an den kalkalpinen Sedimentstapel gebundenen Mineralisationen aus und bestimmte auch deren zeitliche Verbreitung. In diesem Sinne kann die Anlage der kalkalpinen Metallkonzentration als ein von plattentektonischen Faktoren gesteuerter Vorgang angesehen werden, wenn auch das „Rifting-Geschehen“ selbst als direkte Quelle von Erzlösungen unwahrscheinlich ist (LEIN, 1985).

Die kalkalpine Sedimententwicklung läßt sich in drei Hauptstadien gliedern. Jedes der drei Hauptstadien der kalkalpinen Sedimententwicklung ist mit bestimmten Metallkonzentrationen verknüpft (FINLOW-BATES & TISCHLER, 1983).

Im Stadium der terrestrischen, permischen Rotsedimente wurden vor allem die Elemente U, Cu, Pb, Zn angereichert.

An das Stadium der Flachwasserkarbonate sind im Ostalpenraum – wie auch sonst im Bereich passiver Kontinentalränder weltweit (SAWKINS, 1984) – Pb/Zn-Konzentrationen gebunden.

Nur im Stadium der Tiefwasserkarbonate („Hallstätter Fazies“ und Jura) scheint die Metallanreicherung (Manganschiefer) teilweise in Verbindung mit submariner vulkanogen-hydrothermaler Tätigkeit gestanden zu haben.

5.2.2. Isotopenuntersuchungen als Hilfsmittel für genetische Interpretationen

5.2.2.1. Bleiisotope

Die ersten Untersuchungen der Bleiisotopenzusammensetzung ostalpiner Bleierze des Mesozoikums gehen auf HOUTERMANNS (1946) cit. in SCHROLL (1979) zurück. Die Analyse des Bleiglanzes von Bleiberg ließ eine Bleiisotopenzusammensetzung erkennen, die nach den damals gültigen Modellvorstellungen im Vergleich mit dem Alter der erzführenden triassischen Sedimentgesteine zu alt erschien. Das Blei von Bleiberg wurde aufgrund dieser Anormität als Typ B (Bleiberg) benannt. Die Bestätigung des B-Typs erbrachten KÖPPEL & KOSTELKA (1976) anhand von 22 Bleiglanzproben aus der Lagerstätte Bleiberg-Kreuth. Es wurden 14 Erze aus schichtigen, 6 Erze aus diskordanten Gefügen und unterschiedlich stratigraphischer Stellung analysiert. Alle Proben zeigten innerhalb geringer Fehlergrenzen, daß die Isotopenzusammensetzung des Bleis als konstant aufzufassen ist. Das $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Modellalter beträgt 300 Mio. Jahre, ist somit rd. 70 Mio. Jahre „älter“ als das stratigraphische Alter der umgebenden Gesteine der schichtigen Erzkörper der Lagerstätte.

Von KÖPPEL & SCHROLL (1979) wurden mit weiteren 45 Proben aus 28 Pb-Zn-Vorkommen und Lagerstätten

der Ostalpen und angrenzenden Gebieten die Verteilung der Bleiisotopen eingehend untersucht. Die Bleiisotopenverhältnisse aller untersuchten Vorkommen ordnen sich in einem relativ kleinen Streufeld ein, wobei Vorkommen verschiedenen stratigraphischen Alters gleiche Zusammensetzungen aufweisen können. Die Lagerstätten großen Metallinhalts, Bleiberg-Kreuth, Mesića und Raibl fallen in ein enges Feld; andere produktive Vorkommen, wie Salafossa oder Val Vedra sind mit vorgenannten eng verwandt. Sie entsprechen dem Typ Bleiberg mit anomal hohen Modellaltern von rd. 300 Mio. Jahren. Eine zweite Gruppe, bestehend aus den Vorkommen Kaltau, Kohlstattleiten und Schwarzenberg in den Nordalpen sowie Rudnik und Scheinitzen (im Anis der Draukalkalpen) nähern sich aufgrund der Modellalter der geologisch-stratigraphischen Realität (Anisische Stufe).

Die artverwandten karbonatgebundenen Erze Oberschlesiens (Typ Olkuz) hingegen gehören dem „schwachen J(Joplin)-Typ“ an, d. h. die Bleiglanze weisen einen erhöhten Gehalt an radiogenem Blei auf und sind im Vergleich zum stratigraphischen Alter zu jung. Auch die sog. Bleiglanzbank in der Trias Südwestdeutschlands ist vorgenanntem Typ zuzuordnen.

Nach KÖPPEL & SCHROLL (1979, 1988) kann eine Stoffherkunft aus dem oberen Mantel und somit eine magmatogen-hydrothermale Entstehung durch alkali-basaltische Magmen für die Bildung von Pb-Zn-Lagerstätten des ostalpinen Mesozoikums und der angrenzenden Plattformen (geosynklinale und epikontinentale Fazies) ausgeschlossen werden.

Die alpinotypen, karbonatgebundenen Vererzungen sind durch zeitlich und räumlich abhängige Homogenitäten in der Bleiisotopenzusammensetzung geprägt.

Alter und Herkunft der mineralisierenden Erzlösungen

Nach gegenwärtigem Stand der Untersuchungen kann nach KÖPPEL & SCHROLL (1985) das „Bleiberger Erzblei“ von altpaläozoischen Metasedimenten abgeleitet werden. Die Anwesenheit einer untergeordneten permischen Komponente (Bozener Quarzporphyr) kann nicht ausgeschlossen werden; ebenso ist ein Anteil von remobilisiertem, paläozoischem Erzblei nicht auszuschließen.

Die bergwirtschaftlich wichtigen Pb-Zn-Lagerstätten beiderseits der Alpindinarischen Naht sind durch einen Bleityp gekennzeichnet, der eine extrem homogene Isotopenzusammensetzung besitzt. In den Nördlichen Kalkalpen ist dieser Bleityp nur noch aus der Graubündner Trias und der Berchtesgadener Trias nachgewiesen.

KÖPPEL (1983) stuft diesen Bleityp als Unterkrustenblei ein. Ob das Blei aus Gesteinen der Granulitfazies oder Sedimenten abzuleiten ist, ist ungewiß. Wesentlich für dieses Blei ist seine Bildung während einer letzten Entwicklungsstufe in einem geochemischen Milieu, in dem Uran in Relation zum Thorium verloren gegangen sein muß.

Um einen derartigen Bleityp in die triadischen Lagerstätten vom Typ Bleiberg zu transportieren, stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Ein enger Zusammenhang mit Magmatismus, der entweder Spender oder nur Bringer gewesen ist, oder,

- zur Zeit der Mitteltrias waren im Hinterland, oder in relativ geringer Tiefe, entsprechende Gesteine Bleilaugungsprozessen ausgesetzt.

Schichtgebundene komplexe Sulfidvererzungen des Altpaläozoikums in der Grauwackenzone und auch im höhermetamorphen Altkristallin führen nach KÖPPEL & SCHROLL (1985) ein Erzblei, das dem Erzblei der Lagerstätten vom Typus Bleiberg vergleichbar ist. Hingegen entsprechen die Werte vom Erzblei des Penninikums und der epikontinentalen Plattformentwicklung „germanischer Trias“ eher durchschnittlichen Krustenwerten.

Die Erzbleie der Trias zeigen in den Nördlichen Kalkalpen eine stärkere Streuung als in kalkalpinen Bereichen südlich des Alpenhauptkamms.

Für die mögliche Herkunft des Bleies der karbonatgebundenen, mitteltriadischen Erzkonzentrationen wurden in den letzten 10 Jahren von KÖPPEL & SCHROLL folgende Gesteine und Erzvorkommen als mögliche Lieferanten eingehend untersucht:

- Triassisches Vulkanite.
- Permische Magmatite.
- Grödener Sandstein.
- Werfener Schichten.
- Hochwipfelflysch (Karbon).
- Postmetamorphe, gangförmige Erzvorkommen der Südalpen.
- Erzblei der Grödener Sandsteine, der Tregiovo Schichten und des Bellerophonkalkes.
- Spurenblei des karbonatischen Nebengesteins von Bleiberg.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß keines der untersuchten Gesteine die Bedingungen voll erfüllt, Lagerstätten vom Typus Bleiberg zu bilden.

Von besonderem Augenmerk ist die isotopengeochemische Aussage, daß die Metalle der triassischen Lagerstätte nicht aus dem Nebengestein selbst stammen können. BECHSTÄDT (1979) äußerte die Ansicht, daß bei Lösungsprozessen in Karbonaten die Erdalkalien abgeführt werden und Blei/Zink unter geeigneten Bedingungen als Karbonatkomplexe zurückbleiben. In reduzierendem Milieu würden dann Metallsulfide ausfallen.

Neueste Untersuchungen zeigen, daß die Quelle des Bleies und wahrscheinlich des Zinks der triadischen Lagerstätten in Metasedimenten zu suchen ist. Diese Hypothese würde erfordern, daß während mitteltriadischer Zeit Auslaugungsprozesse in Metasedimenten stattgefunden haben. Ca. 300 Kubikkilometer granitischen Gesteins reichen dazu aus.

Die Auslagungsprozesse müssen mit tektonischen Ereignissen – mit wahrscheinlichen Riftingprozessen – in Zusammenhang gebracht werden, wobei die „Periadriatische Naht“ als tektonisches Lineament eine Rolle gespielt haben könnte. Tektonische Aktivitäten sind Voraussetzung für eine erhöhte Websamkeit chloridreicher Lösungen, die über den Sedimentsockel in den kristallinen Untergrund gelangen können.

Der mit Rifting gekoppelte erhöhte Wärmefluß begünstigte die Bildung eines geothermischen Systems. Der Wiederaufstieg von metallisch angereicherten chloridreichen Lösungen führte zur Ausfällung im Sediment, wobei die Sulfidbildung frühdiagenetisch durch Schwefelwasserstoff erfolgte, der durch biogene Reduktion aus Meerwassersulfat gebildet worden ist.

Ähnliche Vorstellungen beschreibt PELISSONIER (1983) für die karbonatgebundenen Lagerstätten des Mississippi-Valley-Typs in Amerika, allerdings in Hinblick auf

den ausgeprägten „J“-Typ des Erzbleies. Seiner Ansicht nach sollen meteorische Wässer an der Auslauung des Untergrundes maßgeblich beteiligt gewesen sein.

Für die montangeologische Beurteilung von Pb-Zn-Vorkommen im alpinen Raum können isotopengeochemische Daten ein wesentliches Hilfsmittel sein. Es konnte in den letzten Jahren gezeigt werden (CERNY et al., 1982; SCHROLL, 1983), daß z. B. viele kleinere Pb-Zn-Vererzungen in den Karawanken und der Nördlichen Kalkalpen abweichende Erzbleie gegenüber dem „Bleiberg-Typus“ aufweisen. Diese Erzvorkommen (z. B. Windisch-Bleiberg, Remschenig, Petzen, in den Karawanken gelegen), haben durchwegs wirtschaftlich uninteressante Metallinhalte (siehe Kap. Strategie der Aufsuchung von Pb-Zn-Erzen im alpinen Raum).

5.2.2.2. Schwefelisotope

Die Heranziehung der $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ -Isotopenverhältnisse zur Aussage der Schwefelherkunft für die alpinen Pb-Zn-Lagerstätten und Vorkommen geht auf die 60iger-Jahre zurück. Aufgrund der Arbeiten von FRUTH & MAUCHER (1966), SCHROLL & WEDEPOHL (1972), SCHROLL & PAK (1980), SCHROLL, SCHULZ & PAK (1983), SCHROLL (1985) können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

- Die Isotopenwerte von Sulfatmineralien (insbesondere Baryt) lassen die S-Isotopenzusammensetzung zur Triaszeit erkennen.
- Die Herkunft des Sulfidschwefels aus dem Meerwassersulfat gilt als erhärtet. Die biogene Reduktion des Sulfidschwefels aus dem Meerwassersulfat ist durch die lithofazielle Abhängigkeit der Schwefelisotopenverteilung in den syndiagenetischen Sulfiden bestätigt. Im euxinischen Milieu beträgt die Differenz der $\delta^{34}\text{S}$ -Werte zwischen Meerwassersulfat und Sulfid etwa 40–50 ‰, in küstennahen Flachwassersedimenten etwa 10–25 ‰.
- Sulfide aus diskordanten Mineralisationen, die durch Umlagerungsprozesse entstanden sind, zeichnen sich durch S-Werte zwischen –10 bis –20 ‰ aus. Umlagerungen können, vermutlich bakteriogen, im offenen System vor sich gehen.

SCHROLL (1985) gibt eine graphische Zusammen schau von Schwefelisotopendaten von ausgewählten Pb-Zn-Lagerstätten der Welt, aus der erkennbar ist, daß schichtgebundene Vererzungen in Sedimenten generell negative $\delta^{34}\text{S}$ -Werte aufweisen. Lagerstätten mit hydrothermaler Zufuhr bzw. vulkanogene sedimentäre Lagerstätten (inkl. rezente Beispiele aus dem Ost pazif-Rift) zeigen eindeutig positive $\delta^{34}\text{S}$ -Werte. Schwefelisotopen sind aufgrund aufgezeigter Tatsachen generell ein Hilfsmittel für die genetische Zuordnung von Pb-Zn-Lagerstättenbildungen. SCHROLL (1985) weist jedoch auf die Interpretationsschwierigkeiten hin, die insbesondere in chemischen und bakteriologischen Prozessen liegen.

5.2.2.3. Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope

Die Isotopenanalyse der Karbonatminerale ermöglicht nach SCHROLL (1985) Aussagen über Herkunft und Mischungsvorgänge des wässrigen Mediums. Die Untersuchungsergebnisse geben Informationen über die Herkunft und Temperatur des Wassers der mineralbildenden Lösungen. Am Beispiel der Lagerstätten in den

Draukalkalpen kann aufgrund der C- und O-Isotopenzusammensetzung der die Erze begleitenden Karbonatminerale gezeigt werden, daß als Lösungsmedium nur Meerwasser in Frage kommen kann.

Wie von KAPPEL & SCHROLL (1982) gezeigt werden konnte, entwickeln sich Veränderungen der Isotopenzusammensetzung vom Nebengestein zu den einzelnen Generationen von Erzcalciten in der Richtung ablaufender diagenetischer Prozesse.

Zusätzlich zu diesen C- und O-Isotopenbestimmungen können Bestimmungen von Flüssigkeitseinschlüssen in Kalkspat, Dolomit und Flußpat wertvolle Informationen liefern. Durch Kenntnis der C- und O-Isotopenzusammensetzung der fluid-inclusions kann die Zusammensetzung des Sauerstoffs des Wassers der mineralisierenden Lösungen berechnet werden.

Als weiterer Weg bietet sich die Messung der Isotopenzusammensetzung des Wassers von Lösungseinschlüssen (fluid inclusions) an, wobei zusätzlich die Isotopenzusammensetzung des Wasserstoffs ermittelt werden kann. Auf diese Weise ist es möglich, eine präzise Aussage über die Herkunft mineralisierender Lösungen zu treffen. CHAREF & SHEPPARD (1988) geben erste Ergebnisse dieser neuen Untersuchungsmethodik aus Lagerstätten der Cevennen (S-Rand des französischen Zentralmassivs) bekannt. Für alpine Pb-Zn-Lagerstätten sind solche speziellen Untersuchungsmethoden in Vorbereitung (mündl. Mitt. Prof. SCHROLL).

5.2.2.4. Strontium-Isotope

Untersuchungen über Sr-Isotopenverteilung wurden kürzlich in der Lagerstätte Bleiberg-Kreuth in Angriff genommen. Erste Ergebnisse (mündl. Mitt. Prof. KÖPPEL, Prof. SCHROLL) zeigen, daß die Herkunft des Sr aus dem Meerwasser bestätigt werden konnte. Es deuten sich jedoch auch diagenetische Prozesse an, die eine Veränderung der Sr-Isotopenzusammensetzung durch Zufuhr von radiogenem Sr erkennen lassen.

5.2.3. Geochemische Untersuchungen als Hilfsmittel für genetische Interpretationen

5.2.3.1. Geochemie der Erzminerale

Die chemische Zusammensetzung der Erzminerale Bleiglanz und Zinkblende in den karbonatgebundenen Lagerstätten der Trias ist weitgehend uniform. Zwischen den Metallen Blei und Zink ist jedoch keinerlei Korrelation vorhanden. Die Verhältnisse Pb/Zn haben eine extreme Variation von 2 : 1 bis 1 : 20. Anhand der Lagerstätte Bleiberg kann gezeigt werden, daß in Summe (= 3,5 Mio. t Pb- und Zn-Metall) das Pb/Zn-Verhältnis bei 1 : 1,5 liegen dürfte, daß jedoch in einzelnen Erzkörpern die oben genannten Variationen z. T. extrem auftreten (siehe Kap. 6.).

Die Spurenelementverteilung in Bleiglanzen und Zinkblenden in Lagerstätten der Draukalkalpen ist nahezu ident; in den Nordtiroler Kalkalpen sowie in den Südalpen treten stärkere Variationen auf.

Nach SCHROLL (1983) können in der Typlagerstätte Bleiberg-Kreuth aufgrund einer Faktorenanalyse (50 Bleiglanz- und 100 Zinkblendedproben) folgende Spurenelementassoziationen festgestellt werden:

Tabelle 6.
Spurenelementgehalte von Zinkblenden aus ausgewählten Lagerstätten des Mesozoikums.
Angaben in ppm.

	Mn	Fe	Ag	Ge	Cd	Ga	Tl	As	Sb	Begleitende Paragenesen der Pb-Zn-Erze
Carditadolomit III										
Mitterberg	180	3.600	2	140	3.000	—	5	100	—	Baryt (Fluorit)
Rubland	200	10.000	4	500	1.000	—		100	—	Baryt (Fluorit)
Pirkach	20	20.000	1	550	5.500	200	17	600	—	Fluorit, Pyrit
Windisches Alpl	30	6.000	3	270	1.800	8	30	900	—	Baryt (Spuren)
Carditadolomit I										
Bleiberg-Kreuth (Carditascholle)	34	9.500	24	430	1.700	25	52	650	—	Flußspat, Pyrit
Wettersteinkalk										
Jauken	100	4.000	2	1.700	1.700	36	24	400	—	Flußspat (Spuren)
Radnig	50	2.000	7	400	2.000	35	11	360	—	Flußspat
Bleiberg-Kreuth*)	30	5.000	10	400**) 2.100	2.100	25	41	540	—	Flußspat, Baryt
Hochobir (Fladung)	20	2.600	6	1.000	4.000	66	47	360	—	—
Lafatsch	7	670	148	70	2.800	15	77	1.100	2	Flußspat (Spuren)
Nassereith (Feigenstein)	8	4.600	90	60	3.100	4	11	700	0,6	Flußspat
Alpiner Muschelkalk										
St. Veith	25	4.000	25	170	3.500	60	<10	700	1	Flußspat
Topla	—	1.000	3	—	1.000	—	—	—	—	—
Kolm-Dellach	45	3.600	0,5	40	1.000	4	<10	280	1	Flußspat, Baryt (Spuren)

*) Bleiberg-Kreuth: Mittelwert aus 60 ZnS-Analysen.

**) Derzeitiger Gehalt in ZnS-Konzentraten: 180–210 ppm.

Tabelle 7.
Spurenelementgehalte von Bleiglanzen aus ausgewählten Lagerstätten des Mesozoikums.
Angaben in ppm.

	Ag	As	Sb	Bi	Tl	Sn	Begleitende Paragenesen der Pb-Zn-Erze
Carditadolomit III							
Mitterberg	—	—	30	—	—	5	Baryt (Flurit) Pyrit
Rubland	—	300	50	—	3	—	Baryt (Fluorit) Pyrit
Pirkach	5	—	50	3	—	10	Fluorit, Pyrit
Carditadolomit I							
Bleiberg-Kreuth (Carditascholle)	—	0–3.000	50	5	—	±1	Flußspat, Pyrit, Schwerspat Pyrit, Markasit
Wettersteinkalk							
Jauken	—	—	50–100	3	—	10	Flußspat (Spuren)
Radnig	—	—	30	—	3	—	Flußspat, (Pyrit)
Bleiberg-Kreuth	<1	100–3.000	50	3–5	3–5	±1	Flußspat, Schwerspat, Pyrit Markasit
Hochobir	0,1–31	240	10–840	0,2	0,3–5	—	—
Windisch-Bleiberg	1	340	10–180	0,2	0,3–30	—	—
Lafatsch	30–300	—	50–500	3	3	—	Flußspat (Spuren)
Alpiner Muschelkalk							
St. Veith	190	—	300	5	—	—	Flußspat
Kolm-Dellach	30	1.000	10	5	30	10	Flußspat Schwerspat (Spuren)
Bleiwände	100	—	50	3	—	—	—
Bleiriese	300	3.000	30	3	50	—	Pyrit
Arikogel	50	100	10	10	—	10	—

Bleiglanz

Ag-V-In (Silberfaktor)
Ti-As-Cu-Sb (Arsenfaktor)
Ag-Sb-In-Mn (Antimonfaktor)

Zinkblende

As-Tl-Sb-Fe-Pb-Cu-Ge (Schalenblendefaktor)
V-Mo-In (Bitumenfaktor)
Cd-Hg-Ga-Sb und Cu-Ga-Co-V (Hydrothermalfaktor)

Im Kontrast zu schichtgebundenen, polymetallischen Lagerstätten fehlen in Lagerstätten des Typs Bleiberg: die Eisengruppe, Silber, Kupfer, Quecksilber, Indium, Zinn, Antimon und Wismut. Die Elemente Cadmium, Arsen, Germanium und Thallium hingegen zeigen örtlich eine bemerkenswerte Anreicherung.

Die Zinkblenden der karbonatgebundenen Lagerstätten und Vorkommen lassen sich nach SCHROLL (1983) aufgrund der Spurenelementverteilung in 5 Typen untergliedern:

- ZnS-Typ 1: arm an Spurenelementen, jedoch reich an Cd.
- ZnS-Typ 2: reich an Ge und Fe, abgereichert an As, Tl, Cd.
- ZnS-Typ 3: reich an Ge-As-Tl.
- ZnS-Typ 4: reich an Cu, arm an Ga.
- ZnS-Typ 5: reich an Cu und Ga mit erhöhten Gehalten an Cd und Hg.

Die Geochemie der schichtgebundenen Vererzungen, insbesondere der Draukalkalpen ist abhängig von der stratigraphischen Position und von der räumlichen Lage. CERNY & KOSTELKA (1987) beziehen auch die paläogeographische bzw. faziale Position in diese Überlegungen ein.

Erze der anisischen Stufe zeigen eine Verarmung an As, Ge, Tl; Spuren von Ag und Cu (z. T. an Fahlerze gebunden) sind oftmals vorhanden.

Erze der karnischen Stufe („Erzkalk“ und Raibler Schichten) sind durch das Fehlen von Ag, Cu, Hg gekennzeichnet; Tl und As zeigen eine Zunahme in den westlichen Gailtaler Alpen. Für Ge ist regional kein Trend abzulesen. Bei umfangreichen analytischen Arbeiten (BBU-interne Berichte) konnte festgestellt werden, daß Ge in schichtigen ZnS-Vererzungen bis zu Gehalten von 0,2 % angereichert ist. Stock- und gangförmige ZnS-Vererzungen sind generell an Ge (<10–70 ppm) verarmt.

Im Hinblick auf die industrielle Verwertung von Ge in Zinkblenden wurden in den letzten Jahren umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt. Mit modernsten Methoden (SIMS-Ionensonde, Mikrosonde etc.) konnte bestätigt werden, daß kolloforme Zinkblenden an Spurenelementen angereichert, mobilisierte Zinkblenden an Spurenelementen abgereichert sind (PIMMINGER et al., 1985). Die Spurenelementgehalte von ZnS und PbS von mesozoischen Lagerstätten der Ostalpen sind in Tab. 6 und 7 dargestellt (Datenmaterial: SCHROLL, 1954; PIMMINGER et al., 1985; BBU-interne Berichte).

5.2.3.2. Geochemie der Gangarten

Die kalkalpinen Pb-Zn-Lagerstätten zeigen erhebliche Anreicherungen von Flußspat und Schwerspat. Zur Verdeutlichung wird festgehalten, daß im jährlich geförderten Roherz des Bergbaues Bleiberg-Kreuth, ca. 10.000 t in früheren Jahren bis zu 20.000 t Flußspat enthalten ist bzw. war. Umfangreiche Versuche lassen es jedoch unmöglich erscheinen, diesen Flußspat, auf-

grund seines Verwachsungsgrades mit den Erz- und Karbonatmineralen wirtschaftlich aufzubereiten.

5.2.3.2.1. Flußspat

Grundlegende Arbeiten über Flußspat stammen von HEIN (1985, 1986), SCHNEIDER (1954). Flußspat gilt in der Bergbaupraxis als „proximity indicator“, zumal fast alle Zn-Pb-Vererzungen Flußspat als Gangart aufweisen und dieser makroskopisch, mikroskopisch bzw. geochemisch fernab (bis zu 100 oder mehr Meter) vom Erzkörper noch erkennbar ist.

Flußspat ist in den kalkalpinen Pb-Zn-Lagerstätten weit verbreitet, jedoch nicht gleichmäßig verteilt. Ein Maximum an F-Anreicherungen tritt in der Lagerstätte Bleiberg-Kreuth, in den Revieren um Nassereith, Tirol und in Gorno, Südalpen, auf.

Ein überregionaler Vergleich mit außeralpinen Pb-Zn-Lagerstätten zeigt, daß Pb-Zn-Vererzungen keinesfalls zwingend mit Flußspat vergesellschaftet sein müssen. Mit Ausnahme der Erzlagerstätten, gebunden an die Sonderfazies und Pb-Zn-Lagerstätten der betischen Kordillere (Spanien) sind die Pb-Zn-Lagerstätten des Mesozoikums in Europa und in N-Afrika „frei“ von Flußspat. Postvariszische Flußspat-Ganglagerstätten sind jedoch im europäischen Raum häufig anzutreffen. Diese stehen im Zusammenhang mit spätvariszischen sauren Magmatiten. Fluorite des Zechsteinsalinars sind von Lösungen tiefliegender Formationswässer aus sedimentären Becken abzuleiten (basinal brines nach BEHR & HORN, 1984).

Im Mesozoikum der Alpen treten Flußspatmineralisationen sowohl im alpinen Muschelkalk als auch in ladinisch-karnischen Abfolgen auf. Die Form der F-Anreicherungen ist vorwiegend schichtgebunden, querschlägige Mobilisationen im 10er-Meter-Bereich sind anzutreffen.

Zur genetischen Einstufung von Flußspatmineralisationen werden Elementkonzentrationen von Selenen-Erden-Elementen (Tb, La) herangezogen (HEIN, cum lit., 1986). Die Darstellung der SEE-Gehalte erfolgt für Fluorit in einem Tb/Ca-Tb/La-Variationsdiagramm, in dem sich Fluorite pegmatitischer, hydrothermalen und sedimentär-diagenetischer Bildungsweise klar abgrenzen lassen. Nach HEIN (1986) sind alle Fluoritmineralisationen, die mit mesozoischen Pb-Zn-Lagerstätten in Verbindung stehen, als sedimentär-diagenetisch zu bezeichnen.

Über die Herkunft von Fluor im Zusammenhang mit Zn-Pb-(Ba) diskutiert HEIN (1986) folgende Bildungsweise:

Das Zusammenwirken von bruchtektonischer Aktivität, Wärmezufuhr und Lösungsmigration führt zu mehrfachem, kurzperiodischem Aufsteigen von F- (Zn-, Pb-, Ba-) hältigen Lösungen vom Untergrund in Karbonatplattformen. Durch Mischung von oberflächennahen Lösungssystemen bzw. Meerwasser erfolgt Fällung von Wertelementen in Lagunen der Karbonatplattformen (geochemische Fallen, Faziesgrenzen, Milieuwechsel). Mit nachlassender bruchtektonischer und thermischer Aktivität setzt die Lösungszufuhr aus der Tiefe an der Wende zur Obertrias aus.

PARK & AMSTUTZ (1968) beschreiben Fluorit-gefüllte Schlauchformen aus dem Illinois-Kentucky fluorite district (Mississippian), die subaquatisch mit F (Zn) geopetal gefüllt wurden. Die Lösungszufuhr erfolgte über

Stylolithen während der Kompaktion des Sedimentes aus dem Sediment selbst.

5.2.3.2.2. Schwerspat

Gegenüber Flußspat tritt Schwerspat in kalkalpinen Pb-Zn-Lagerstätten eher selten erzbildend auf, ist jedoch geochemisch weit verbreitet. Die Affinität zu Bleiglanz ist erwiesen. Grundlegende Arbeiten über Ba in mesozoischen Pb-Zn-Lagerstätten gehen auf SCHULZ (1966), SCHROLL (1971), SIEGEL (1975) zurück. Schwerspat tritt nie massiv auf, sondern ist meist in mikroskopisch feinen Nadeln und Kristallaggregaten im Zusammenhang mit bleibetonten Erzen vorhanden.

Am Beispiel von Bleiberg treten Schwerspatführungen im Erzkalk der Grube Rudolf und östlich davon auf. Signifikant erscheint die Schwerspatführung in Erzen der Raibler Schichten über dem 3. Schiefer (Rubland, Mitterberg). SCHULZ (1966) sieht als Stofflieferant sub-marin-hydrothermale Lösungen, die synsedimentär gefällt wurden.

Füllungsbedingungen, wie sie aufgrund der Paläomorphologie z. B. im Grazer Paläozoikum beschrieben wurden (WEBER, 1987), können in den Lagerstättenbereichen der mesozoischen Ablagerungen nicht abgelesen werden. Aufgrund der S-Isotopenverteilung in

Baryten ist jedoch ein syngenetischer Absatz in der Trias erwiesen (SCHROLL, 1985).

Dieser Befund wird durch die niederen Sr-Gehalte der Baryte (Mittel: 0,17 % Ba) nach CARDICH-LOARTE & SCHROLL (1972) erhärtet.

5.2.3.3. Geochemie der Karbonatgesteine

Die chemische Zusammensetzung der Karbonatgesteine im Bereich von Pb-Zn-Lagerstätten ist Grundlage für moderne Prospektionsarbeiten. Abweichungen im Spurenelementspektrum (Positive oder negative Anomalien) können Hinweise auf Erzhöflichkeit geben. Neben Pb-Zn-Gehalten in Karbonatgesteinen sind Fe, Mn und Sr als Faziesindikatoren (Diageneseindikatoren) anzusehen.

5.2.3.3.1. Mangan und Eisen

Nach den Erfahrungen von CARDICH-LOARTE & SCHROLL (1973), KRANZ (1974), GROTJOHANN (1978), HEIN (1986) sind Eisen und Magnan als Spurenlemente in triadischen Karbonatgesteinen an den Tonmineralanteil des säureunlöslichen Rückstandes (\pm sulfidische Bestandteile) gebunden.

In Profilen der „Sonderfazies“ ist Fe und Mn vorwiegend an intra- und supratidale Sedimenttypen geknüpft

Tabelle 8.
Geochemische Charakterisierung triadischer Gesteine – kalkige Fazies.

Stratigraphie	Lithologische Einheit	Datenzahl N	Pb	Zn	Cu	Fe	Sr	Mn
Norische St.								
H a u p t d o l o m i t*								
C a r d i t a - A b f o l g e III								
	Förrolach	4	<50	<10	<10	8325 (8722)	212 (67)	75 (84)
	Graslitzten	4	<50	45 (13)	<10	637 (320)	450 (180)	62 (32)
	Rubland 3	55	<50	53 (68)	<10	2695 (3300)	1446 (2200)	69 (55)
	Rubland 1	35	<50**)	32 (24)	11 (3)	1731 (1900)	469 (364)	33 (31)
C a r d i t a - A b f o l g e II								
Karnische Stufe	Förrolach	6	45 (40)	110 (86)	<10	4838 (6260)	160 (38)	100 (56)
	Graslitzten	6	<50	35 (14)	<10	470 (230)	250 (54)	16 (12)
	Rubland 1	14	<50	25 (11)	<10	1100 (1000)	336 (210)	39 (32)
	Rubland 3	10	<50**)	36 (27)	<10	1626 (1150)	1218 (1040)	89 (77)
	Rubland 4	8	<50	37 (14)	<10	2730 (1340)	826 (1120)	108 (65)
	Kernbohrung K17	13	<50	78 (62)	n.a.	2632 (1430)	320 (104)	72 (50)
C a r d i t a - A b f o l g e I								
	Graslitzten	14	<50	56 (47)	<10	4380 (3640)	197 (82)	290 (267)
W e t t e r s t e i n k a l k								
Ladinische Stufe	Kernbohrung K16	44	<50	51 (46)	<10**)	477 (340)	86 (29)	133 (92)
	Kernbohrung K17	4	<50	30 (14)	<10	561 (560)	85 (13)	125 (52)
M a x e r B ä n k e								
	Rubland	145	72 (130)	98 (97)	<10	4130 (7530)	104 (50)	42 (27)
A l p i n e r M u s c h e l k a l k								
Anisische Stufe	Aichach Liegend	21	84 (36)	49 (15)	<10	5400 (1800)	276 (243)	376 (234)
	Schloßberg-Flaserkalk	17	<50	67 (47)	<10	6194 (3960)	278 (285)	147 (97)
	Kreuzenbach	51	<50	34 (20)	<10	4980 (4200)	724 (808)	116 (81)

*) Keine kalkige Fazies bekannt.

**) Erhöhte Einzelwerte.

n.a. nicht analysiert.

() Standardabweichung.

Tabelle 9.
Geochemische Charakterisierung triadischer Gesteine – dolomitische Fazies.

Stratigraphie	Lithologische Einheit	Datenzahl	Pb	Zn	Cu	Fe	Sr	Mn
H a u p t d o l o m i t								
Norische Stufe	Maurergraben (hell)	52	<50	23 (12)	<10	104 (57)	55 (14)	15 (9)
	Schneidergraben (hell)	37	<50	39 (42)	<10	166 (117)	70 (6)	12 (7)
	Schneidergraben (bituminös)	66	<50	(447)	<10	528 (912)	69 (12)	24 (17)
	Windisches Alpl (bituminös)	47	<10	53 (125)	<10	408 (230)	<10	40 (17)
C a r d i t a - A b f o l g e III								
Karnische Stufe	Windisches Alpl	67	<10	2277 (4568)	15 (2)	2246 (1420)	<10	627 (450)
	Rubland	38	133 (214)	524 (706)	<10	4680 (5580)	119 (85)	107 (88)
	C a r d i t a - A b f o l g e II							
	Rubland 1	22	<50**)	29 (25)	<10	768 (920)	47 (17)	39 (36)
	Rubland 2	41	<50**)	55 (80)	<10	2233 (4751)	70 (16)	63 (92)
	Rubland 3	24	<50**)	62 (40)	<10	880 (824)	84 (40)	79 (40)
	Rubland 4	12	<50	63 (50)	<10	1665 (900)	66 (22)	75 (22)
	C a r d i t a - A b f o l g e I							
Ladinische Stufe	Rubland 1	12	<50	30 (15)	<10	1322 (1200)	54 (14)	117 (128)
	Rubland 2	29	<50	54 (24)	<10**)	3535 (6788)	78 (62)	66 (67)
	Rubland 3	23	<50**)	47 (40)	<10	783 (876)	81 (39)	73 (48)
	Rubland 4	26	65 (45)	235 (211)	<10	2324 (1990)	91 (82)	134 (53)
	Kernbohrung K17	47	<50**)	56 (37)	n.a.	1360 (790)	60 (26)	69 (18)
	Förolach	39	<10	63 (45)	n.a.	2000 (2260)	115 (67)	94 (81)
W e t t e r s t e i n k a l k								
M a x e r B ä n k e								
Anisische Stufe	Lichtmeß	54	96 (171)	438 (570)	<10	1060 (570)	78 (45)	265 (260)
	A l p i n e r M u s c h e l k a l k							
	Schloßberg	23	<50	48 (28)	<10	1275 (1027)	34 (21)	64 (40)
	Rupa	58	<50	63 (110)	<10	1482 (1860)	45 (18)	68 (419)

*) Keine kalkige Fazies bekannt.

**) Erhöhte Einzelwerte.

n.a. nicht analysiert.

() Standardabweichung.

(schwarze Breccien, grüne Mergel). Über den Einbau von Mn und Fe im Calcit und Dolomit für Lagerstättenkundliche Fragestellungen sind Untersuchungen im Gang (Kap. Diagenese der „Sonderfazies“). Die mittleren Mn- und Fe-Gehalte in mitteltriadischen Karbonaten und Klasten sind in Tab. 8, 9 und 10 angeführt.

Aufgrund von geochemischen Arbeiten an schichtgebundenen Lagerstätten, Typus Meggen (GWOSDZ & KREBS, 1977), in denen ausgeprägte Hofbildung von Mn um Pb-Zn-Erzkörper festgestellt wurden, wurde von der BBU Mangan in die Analytik für Explorationszwecke aufgenommen. An erzführenden Profilen wurde rasch festgestellt, daß hangend und liegend oder nur liegend von schichtigen Pb-Zn-Vererzung, Mangan in Karbonaten angereichert ist. Erze selbst sind arm an Mangan.

Die Analytik von Mn in großräumigen Vererzungsbereichen (S-Rand von Bleiberg) hat in den letzten Jahren gezeigt, daß um ZnS-betonte Erzkörper ein Mn-Hof besteht. Die Hofbildung, die sich mehrere 10er-Meter um die Erzkörper erstrecken, zeigen Mn-Anomalien mit Werten von mehreren hundert ppm, gegenüber 30–40 ppm in nicht mineralisierten Dolomiten. Die geo-

chemischen Grundlagen sind in Arbeit. Mit Kathodenlumineszenz untersuchte Dolomite zeigen, daß die späteste Dolomitisationsphase (epigenetische Dolomite) Manganträger ist (ZEEH, unveröff. Bericht, Universität Freiburg).

Mangan-Analytik wird heute bei der Exploration routinemäßig eingesetzt und gilt vielerorts als „proximity-indicator“ für Zn- (Pb-) Erzkörper.

5.2.3.3.2. Strontium

Sr kann in Karbonatgesteinen fixiert sein durch

- diadoche Substitution von Calcium im Gitter von Calcit und
- adsorptive Bindung an den Tonmineralanteil

bzw. kann eigenständige Sr-Minerale wie Cölestin und Strontianit bilden. Evaporite wie Gips und Anhydrit beinhalten durchwegs deutlich erhöhte Sr-Gehalte.

Im Bereich der Pb-Zn-erzhöflichen Serie von Bleiberg (Wettersteinkalk und Raibler Schichten) kann Strontium als Fazies- und Diageneseindikator angesehen werden (KRANZ, 1976). Sr ist in Bereichen erhöhter Salinität an-

Tabelle 10.
Geochemische Charakterisierung triadischer Gesteine – Schiefer, Sandsteine, kristalliner Untergrund.

Lithologische Einheit	N	Ca	Mg	Pb	Zn	Cu	Fe	Sr	Mn
Raibler Schiefer III									
Rubland 3	20	17,2 (9,9)	3,0 (2,9)	<50*)	187 (418)	16 (8)	19000 (1200)	225 (162)	787 (1713)
Raibler Schiefer II									
Kernbohrung K17	21	9,15 (4,8)	1,04 (0,3)	<50*)	63 (20)	n.a.	19500 (5600)	175 (78)	650 (209)
Förolach	10	11,7 (5,4)	1,07 (0,3)	<10	41 (32)	n.a.	19480 (7800)	49 (27)	430 (175)
Rubland 1	6	11,1 (1,1)	0,68 (0,4)	<50	43 (34)	23 (10)	15800 (5600)	77 (80)	453 (219)
Rubland 3	6	13,6 (5,3)	1,48 (0,6)	<50	37 (5)	17 (5)	23000 (3000)	283 (92)	655 (213)
Raibler Schiefer I									
Rudolf Sonnseite	10	1,75 (1,3)	1,3 (0,3)	<50	100 (30)	51 (10)	33900 (5700)	69 (11)	552 (173)
Werfener Schichten									
Schloßberg	38	4,3 (0,2)	1,02 (0,51)	<50	60 (30)	<10*)	14000 (6400)	<10	265 (250)
Aichach	8	4,9 (3,6)	0,97 (0,74)	108 (39)	67 (23)	<10	13500 (4700)	148 (100)	335 (194)
Grödener Sandstein									
Schloßberg	6	3,9 (0,26)	0,48 (0,1)	70 (42)	110 (53)	<10	26350 (9400)	<10	350 (106)
Gailtal-Kristallin									
Schloßberg	9	4,8 (0,9)	1,16 (0,65)	38 (21)	73 (24)	<10	15500 (3700)	<10	448 (302)

n.a. nicht analysiert.

*) Erhöhte Einzelwerte.

() Standardabweichung.

gereichert; diagenetische Umkristallisation und Dolomitisierung verursachen eine Sr-Verarmung. KRANZ (1976) sieht die Sr-Verarmung durch Frischwassereinflüsse in verschiedenen Diagenesestadien im Wettersteinkalk. In den Raibler Schichten treten hingegen Horizonte mit extremen Sr-Gehalten (1000–7000 ppm) auf. Fallweise sind Strontianit-führende Horizonte vorhanden (NIEDERMAYER et al., 1975), die jedoch an tiefflagonare Fazies gebunden sind.

Durch die Exploration im Bergbau Bleiberg und Randgebieten stehen an die 15.000 Sr-Daten zur Verfügung. Wie aus Tab. 8 und 9 hervorgeht, liegen die Sr-Gehalte in Dolomiten bei ca. 20–50 ppm, in Kalken um rd. eine 10er-Potenz höher. Die Explorationsstrategie, die sich seit einigen Jahren auf dolomitisierte Areale konzentriert, zeigte, daß in erzführenden und erzhöflichen Faziesbereichen (Gorßraumvererzungen am S-Rand der Lagerstätte) die Sr-Gehalte bis auf 10–30 ppm absinken. Die negativen Sr-Anomalien können großräumig im Zusammenhang mit positiven Anomalien (z. B. Mangan) als Prospektionsparameter verwendet werden. Bei schichtigen Erzen ist Sr nur dann ein Prospektionsmittel, wenn die Proben aus karbonatischen Gangarten der Erzführung oder deren unmittelbaren Umgebung stammen (Sr-hältige Minerale).

Die Sr-Verarmung der Karbonatgesteine im Lagerstättengrenzbereich (Mittelwert von ca. 80–100 ppm) ist offensichtlich. Die Randbereiche der Lagerstätte zeigen einen wesentlich erhöhten Sr-Gehalt (Mittelwert: 300–400 ppm). Diese Bereiche zeigen nach mikrofaziellen Befunden weit weniger diagenetische Veränderungen der Karbonatgesteine.

Die Calcium- und Barium-haltigen Gangartminerale der Pb-Zn-Vererzungen (Calcite, Anhydrite, Gipse und Baryte) sind nach CARDICH-LOARTE & SCHROLL (1972) Wirtminerale für Strontium. Flußspat nimmt Sr nur in geringen Mengen in sein Gitter auf.

Der Sr-Gehalt der Erzcalcite (50–80 ppm) entspricht weitgehend dem des Nebengesteins. Die mineralogene-

tisch älteren skalenoedrischen Calcite lagen im Durchschnitt höhere Sr-Gehalte (120 ppm) als jüngere Kanonspate (100 ppm).

Die Sr-Gehalte der Baryte sind im Vergleich zu anderen Lagerstätten sedimentärer Entstehung (Meggen, Rammelsberg, Grazer Paläozoikum) sehr niedrig. Die Sr-Gehalte der Baryte im Raum Bleiberg-Kreuth betragen zwischen 0,1 und 0,5 % (Mittel 0,17 %), im Vergleich dazu nennt WEBER (1987 cum lit.) 0,4 % Sr in Baryten des Grazer Paläozoikums, 0,6 % Sr in Karst-Baryten des Kitzbühler Horns.

5.2.3.4. Geochemie der Klastika

Die innerhalb der mitteltriadischen Karbonatablagerungen eingeschalteten Klastika: grüne Mergel der Maxerbänke – grüne Mergel der Bleiberger Sonderfazies – Raibler Schiefertone – und petrographisch gesicherte mitteltriadische Tuffite wurden von PHOLIADIS (1984, 1985) eingehend geochemisch bearbeitet. 172 Proben wurden mittels Multielementanalytik auf 35 Elemente analysiert. Die statistische Auswertung (Diskriminanzanalyse) zeigt einen deutlichen Unterschied der vier untersuchten Gesteinsgruppen. PHOLIADIS (1984, 1985) sieht in den grünen Mergeln der Bleiberger Fazies und der Maxerbänke aufgrund von erhöhten Ni- und Cr-Gehalten, Anzeichen von Tuffiten, die einem sauren Vulkanismus entsprechen könnten. Die Tonfraktionen der Raibler Schiefer entsprechen geochemisch einem granodioritischen Ausgangsmaterial, das nach KRAUS (1969) aus einem N bis NW gelegenen Abtragungsgebiet stammt.

Bereits KOSTELKA & SIEGEL (1966) beschrieben Mineralbestandteile (Perowskit) aus grünen Mergeln, die eine vulkanische Herkunft möglich erscheinen lassen. Nach Ansicht des Verfassers sind „eindeutige Tuffite“ in den hangenden Schichtgliedern des Alpinen Muschelkalkes (PILGER & SCHÖNENBERG, 1958) und in den

liegenden Schichtgliedern der Maxerbänke (HAGEN-GUTH, 1983) vorhanden. Die grünen Mergel der Bleiberger Fazies können selbst durch integrierte geochemische Arbeitsweise (PHOLIADIS, 1984, 1985) nicht eindeutig einem vulkanischen Ereignis zugeordnet werden. Der Nachweis eines vulkanischen Ereignisses würde die in diesen Schichtgliedern auftretenden Pb-

Zn-Vererzungen in genetischer Hinsicht sehr viel einfacher erklären lassen.

5.2.3.5. Gesteinsgeochemie der Triasabfolge im Raum Bleiberg-Kreuth

Von ca. 15.000 Gesteinsproben (Forschungsanalytik der Bleiberger Bergwerks Union) wurden 1302 Ge-

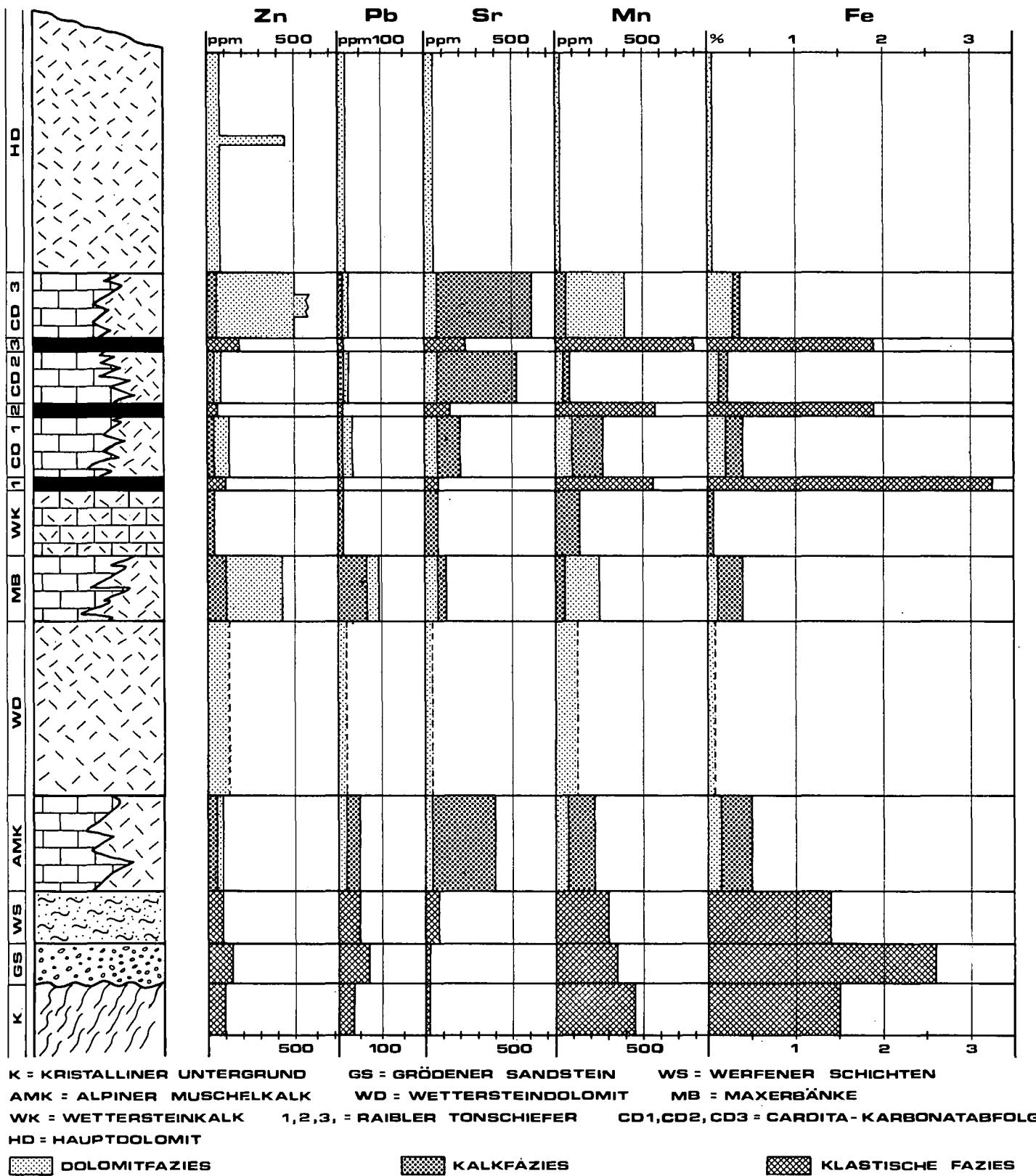


Abb. 28.

Geochemische Typisierung der triadischen Gesteinsabfolge (incl. Permoskyth und metamorphe Basis im Raum Bleiberg-Kreuth).

steinsproben aus definierbaren lithologisch-lithostratigraphischen Einheiten ausgewählt, um die triadischen Gesteine in den östlichen Gailtaler Alpen geochemisch zu typisieren.

Eine Unterteilung in Faziesgruppen – dolomitische, kalkige, klastische Fazies – innerhalb der lithostratigraphischen Einheiten erschien sinnvoll. In den Tabellen 8, 9 und 10 und in der Abb. 28 wurde der Versuch unternommen, mit Hilfe der Elemente Pb, Zn, Sr, Mn, Fe, Cu eine Typisierung der lithostratigraphischen Einheiten, getrennt nach faziellen Gesichtspunkten, durchzuführen. Für diesen Versuch standen 717 Proben der dolomitischen Fazies, 415 Proben der kalkigen Fazies und 134 Klastika (Schieferförmige, Sandsteine, metamorphe Schiefer) zur Verfügung.

Es wird festgehalten, daß die geochemische Analytik von Haupt- und Spurenelementen, insbesondere von Karbonatgesteinen ein Abbild der faziellen und diagenetischen Bedingungen im Albagerungsraum darstellt. Gesteine der anisischen Stufe können sich geochemisch völlig gleich verhalten, wie z. B. Gesteine der norischen Stufe, wenn sie unter denselben Bedingungen abgelagert wurden.

5.2.4. Dolomitisierung und Zn-Pb-Mineralisation

In der erzführenden und erzhöflichen Abfolge der mittleren Trias der Ostalpen sind Dolomite als wesentlicher Bestandteil bis zu 70 % beteiligt. Darüberhinaus zeigen im mediterranen Raum karbonatgebundene Zn-Pb-Lagerstätten des Mesozoikums vielfach eine strenge Bindung an Dolomitgesteine. Als Beispiele werden die Lagerstätten in der krakau-silesischen Zone, im NW-Balkan, in der betischen Kordillere und im Atlas-Orogen angeführt.

Bereits SEIDL (1957) weist darauf hin, daß die Dolomitisierung in einem kausalen Zusammenhang mit sulfidischen Erzausfällungen zu bringen ist. Mit Zunahme sedimentpetrographischer Arbeitsweise in den letzten 10–15 Jahren konnten wesentliche Parameter erarbeitet werden, die den Zusammenhang Zinkblende (Bleiglanz) – Mineralisation – Dolomitisierung zu erklären versuchten (CERNY, 1983 cum lit.).

Nach dem Zeitpunkt der Entstehung lassen sich (FÜCHTBAUER & MÜLLER, 1970) frühdiagenetische, spät-diagenetische bis epigenetische Dolomitbildungen unterscheiden. Von besonderem Interesse für den Zusammenhang Erz – Muttergestein sind Dolomite, die sich im Stadium der Früh- bis Spät-diagenese gebildet haben (CERNY, 1983).

Frühdiagenetische Dolomite bilden sich im marinen Bereich in noch unverfestigten Sedimenten des Gezeitengeländes (Intertidal bis Supratidal). Als Beispiel für frühdiagenetische Dolomitbildungen nennt BECHSTÄDT (1978) die „milchigen Flächen“ innerhalb der Bleiberger Sonderfazies.

Die Forschungstätigkeit der letzten Jahre ergab, daß frühdiagenetische Dolomite wesentliche Bestandteile in der Abfolge der Bleiberger Sonderfazies bis in die hängendsten Raibler Schichten sind. Dolomite dieses Typs sind vielfach Träger sulfidischer Zn-Pb-Mineralisationen mit syndiagenetischen Erztexturen.

Als Begleitminerale treten Evaporite (Gips, Anhydrit, Baryt, Fluorit, Cölestine etc.) meist als submikroskopische Bestandteile auf. Vorwiegend sind es Füllungen

von laminaren Fenstergefügen (LF-Gefüge, bird eyes etc.).

Der Hauptanteil der dolomitisierten Gesteine ist in den Zeitraum zwischen Früh- und Spät-diagenese zu stellen. BECHSTÄDT (1975) stellte fest, daß die Dolomitisierung der sog. Westschachtscholle (im Westen der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth gelegen) in den Zeitraum der Spät-diagenese zu stellen ist. CERNY & KOSTELKA (1987) bestätigen diesen Befund für alle am Südrand der Lagerstätte auftretenden „Schollenvererzungen“, die einer Schwellenfazies zuzuordnen sind.

Die spät-diagenetischen Dolomite äußern sich mikrofaziell durch Kornvergrößerung, durch Kornrelikte des Ausgangssedimentes sowie durch Zonarbau von Dolomitrhomboedern (syntaxiale Anwachsstreifen). Beobachtungen an der Matrix von Zn-S-PbS-Vererzungen und deren unmittelbar liegenden Abfolge lassen erkennen, daß Dolomite mit zonarem Aufbau ein diagnostisches Kennzeichen für Vererzungen sein können. Sulfidische Paragenesen finden sich als Intergranularfüllungen zwischen Dolomitrhomboedern.

Epigenetisch geprägte bzw. überprägte Dolomite sind in den Draukalkalpen weitverbreitet. Weite Areale von Wettersteindolomit bzw. Hauptdolomit waren von der epigenetischen Dolomitisierung betroffen. Geochemisch sind solche Dolomite durch ihren Reinheitsgrad (Verarmung von Spurenelementen wie Sr, Mn, Fe, Pb, Zn etc.) gekennzeichnet und kommen in den Draukalkalpen kaum als Trägergesteine von Buntmetallvererzungen in Betracht.

Vor rund 30 Jahren erkannte SEIDL (1957), daß die Dolomitisierung in einem kausalen Zusammenhang mit sulfidischen Erzausfällungen zu bringen ist. Er nimmt für oberschlesische Triaskalke einen feinverteilten syngenetischen Metallgehalt in Form von Metallkarbonaten an. Reaktionen, die unter normalen Druck- und Temperaturbedingungen unter Beteiligung von Bitumina ablaufen (SEIDL, 1957) sind wesentlich für syngenetische Metallausfällungen.

RENTZSCH (1963) erkannte in triadischen Pb-Zn-Cu-Lagerstätten des NW-Balkans (Lagerstätte Sedmochisilenitis), daß eine enge Beziehung zwischen reinen Dolomiten und syngenetischen Buntmetallmineralisationen besteht.

MARTIN et al. (1984) macht frühdiagenetische Dolomitierungsprozesse für die Konzentration schichtiger Pb-Zn-F-Erze in der Betischen Kordillere Südspaniens verantwortlich.

Die Vorstellungen, wie es im marinen Sedimentationsraum im allgemeinen zu Dolomitbildungen kommt, wurde von DEFFEYES et al. (1965) durch den „Seepage-reflux“-Mechanismus bzw. den reversen Vorgang des „evaporative pumping“ (HSÜ & SIEGENTHALER, 1969) in jungen Sedimenten der Bahama Bank erklärt.

Am Beispiel der 1. Cardita Karbonatabfolge in der Lagerstätte Bleiberg-Kreuth wurde von CERNY (1983) der Versuch unternommen, den „Seepage-reflux“-Mechanismus für die Erklärung metallführender Karbonate anzuwenden. Vom Autor wurde diese Modellvorstellung in den Folgejahren als Grundlage der Explorationsstrategie in Bleiberg angewandt (CERNY & KOSTELKA, 1987). Nach DEFFEYES et al. (1965) kommt es in rezenten und subrezenten karbonatischen Sedimentationsräumen zur Verdunstung des Porenwassers infolge hoher Temperatur an der Verlandungsoberfläche (Sabkha). Die Wasserzufluss erfolgt durch den „Seepage-effekt“. Der Grundwasserspiegel liegt ca. 1 m unter der Oberfläche.

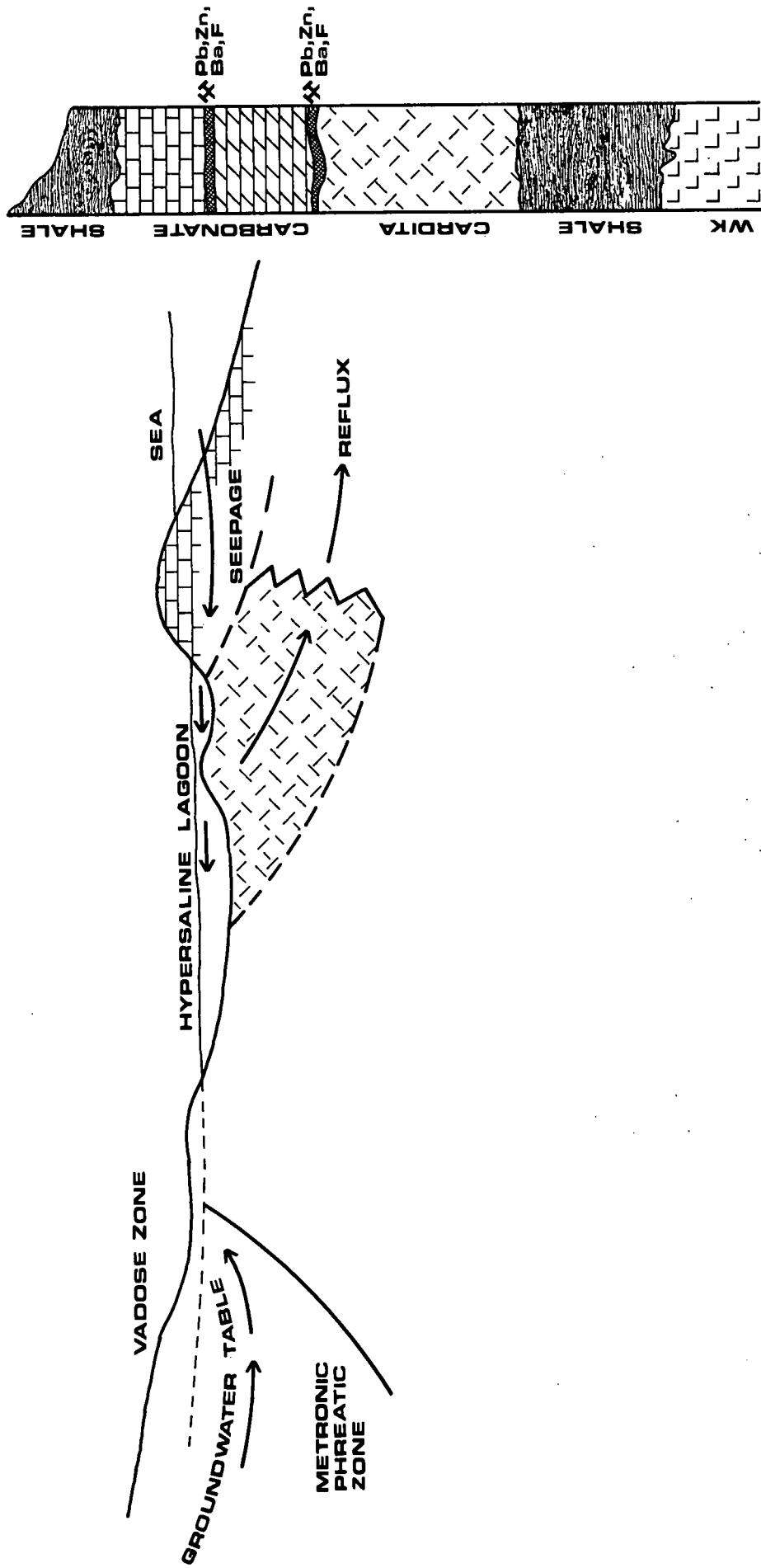


Abb. 29.
Schema der Dolomitisierung („Seepage-reflux“-Mechanismus nach DEFFEYES et al., 1965) im 1. Raibler Karbonathorizont, Bergbau Bleiberg-Kreuth, Kärnten.
Nach CERNY (1963).

Das Wasser erreicht hier Temperaturen von 35–40°C. Das Porenwasser wird zur Salzlauge. Diagenetischer Aragonit und Gips fallen aus (in der triadischen Abfolge zusätzlich Flußspat, Schwerspat, Coelestin etc.). Dieser Vorgang führt zur Erhöhung des Mg : Ca-Verhältnisses auf das 3–5-fache von normalem Meerwasser. Die Magnesium-reiche Lösung, spezifisch schwerer als das unterlagernde Grundwasser, führt zur Dolomitbildung im Sediment (Abb. 29).

Die Dolomitisierung erfolgt im Mikromilieu des Porrenraumes.

Vorausgesetzt, das Meerwasser beinhaltet Zink- und Bleionen in überdurchschnittlichem Maße, ergeben sich nach Ansicht des Verfassers nach sedimentologischen Gesichtspunkten drei Phasen der Mineralisation:

- Zink- und Bleionen gelangen durch den „Seepage-effect“ in den hypersalinaren Sedimentationsraum. Die Metalle werden in chloridischer und/oder sulfatischer Form ausgeschieden.
- Vorliegende Mineralisation, gebunden an die hypersaline Fazies, wird durch den „reflux-Mechanismus“ mobilisiert. Die Erzfällung erfolgt zeitgleich mit der Dolomitisierung.

- Die Transformation der Metallverbindungen in die sulfidische Phase wird durch sulfatreduzierende Bakterien bewirkt.

Diese Transformation ist vom sedimentären Milieu abhängig. Beispiele in Raibler Dolomiten zeigen (östlich vom Rudolf Schacht), daß ein hangender sulfidisch ausgebildeter Pb-Zn-Erzhorizont über einem vorwiegend oxidisch ausgebildeten Erzhorizont lagert. Der letztgenannte ist durch schichtgebundene Schwerspatführung, wenige cm mächtig, begleitet von Eisenhydroxidkrusten, gekennzeichnet. Sedimentologische Befunde in diesem Bereich weisen auf Emersionshorizonte hin. FERGUSON et al. (1975) wiesen aufgrund von Experimenten auf die Möglichkeit hin, daß sich Pb- und Zn-Anreicherungen in Sedimenten auf schwefelarmen Lösungen in aerobem Milieu bilden können.

Der Vorgang des „reflux-Mechanismus“ hat zur Folge, daß Blei-Zinkerze zusammen mit Dolomitisierungserscheinungen in verschiedenen Texturen vorliegen können. Fortschreitende Mobilisierung (= Dolomitisierung) bewirkt unter Umständen eine Konzentration von Erzen.

A Recharge

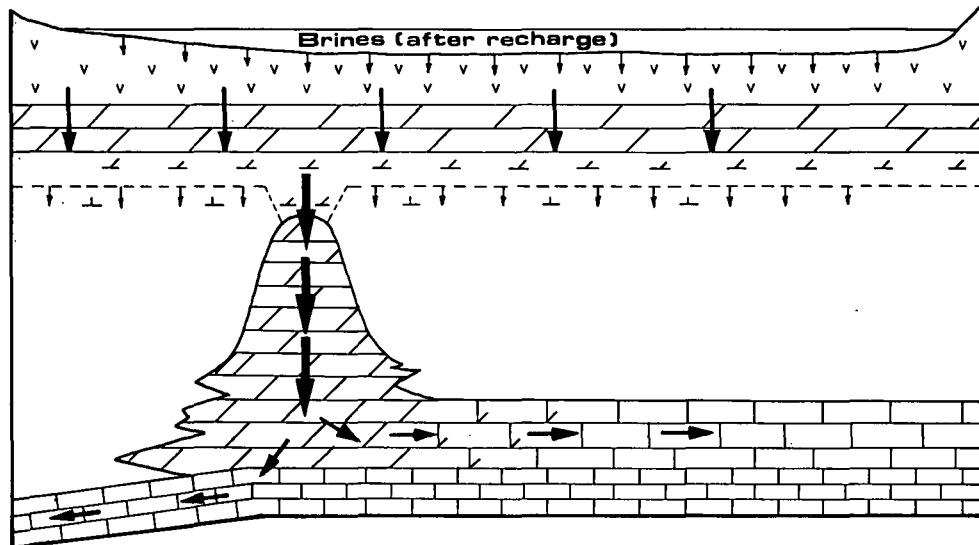
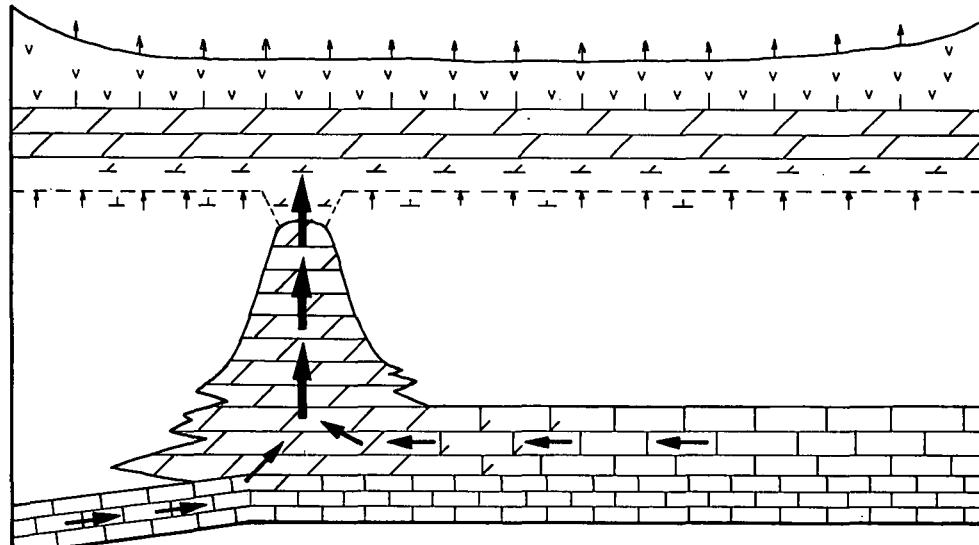


Abb. 30.

Evaporative Pumping-Modell nach HSÜ (1984).

- A) Aufgefüllte, saline Lagune; vertikale Abwärtsbewegung, verursacht durch einen angehobenen Grundwasserspiegel.
- B) Evaporative Pumping; vertikale Aufwärtsbewegung, verursacht durch evaporative pumping, bewirkt spät-diagenetische Dolomitierung und sulfidische Mineralisation.

B Evaporative pumping



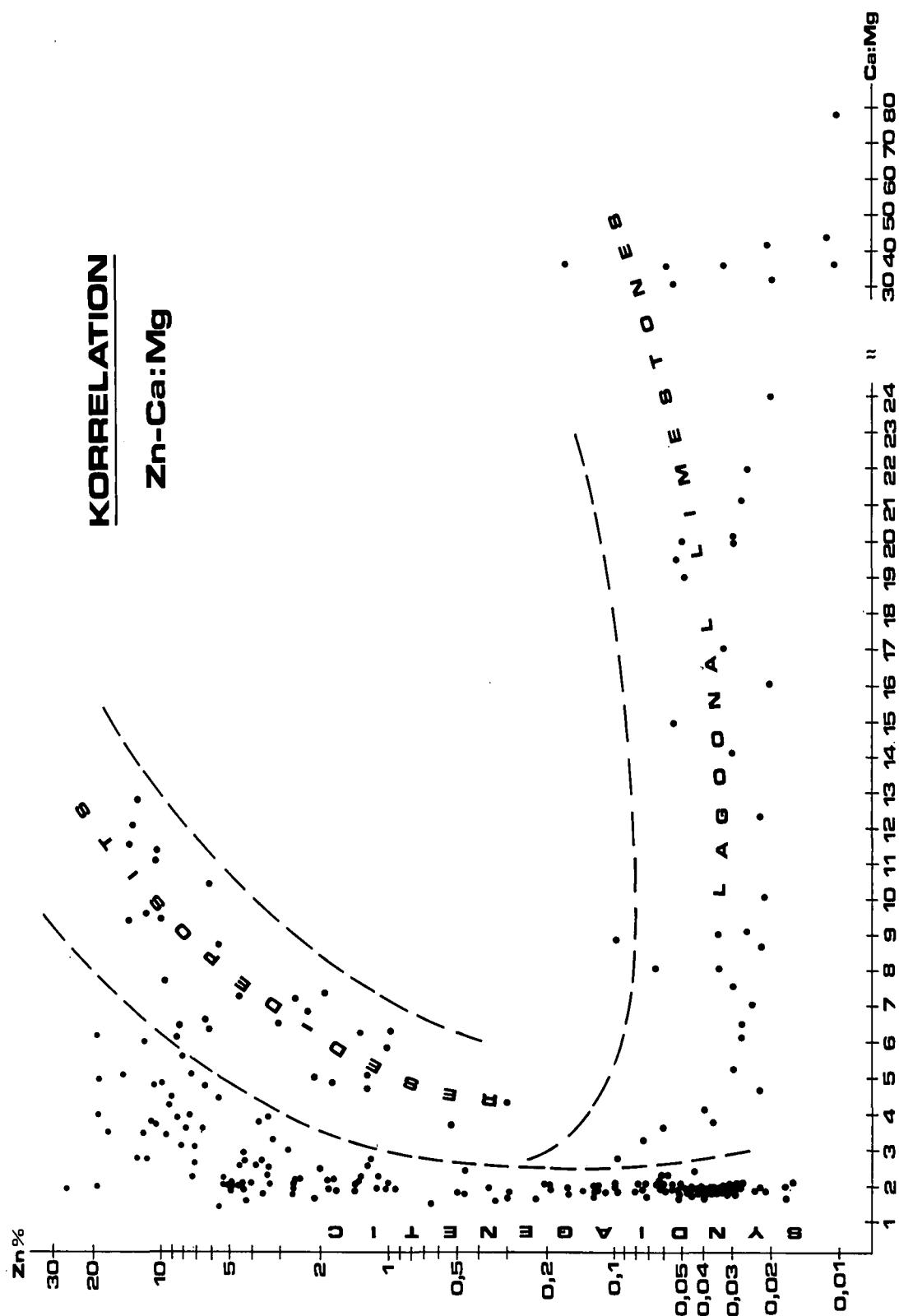


Abb. 31.
Streudiagramm Zink – Ca : Mg aus Proben des 1. Raibler Karbonatherizonts, Bergbau Bleiberg-Kreuth.
Nach CERNY (1983).

Folgende Beispiele wurden beobachtet:

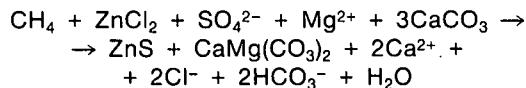
- Diffuse Verteilung von Zinkblenden in Intergranularen dolomitischer Matrix.
- Fortschreitende Sammelkristallisation, Aggregatbildung um bestehende Zinkblenden bzw. Zinkblendsäume. Untergeordnet tritt Bleiglanz auf.
- Massierung von Zinkblenden und Bleiglanz an und im Bereich von Faziesgrenzen zu Kalken.

Die Massierung von Erzen an Faziesgrenzen kann nach CERNY (1983) durch das z. T. zwangswise Enden einer Dolomitisierungsfront (= diagenetische Fallen, z. B. Schiefer, inkompetente Schichtverbände, Mergel-lagen etc.) bewirkt werden.

Das Enden einer Dolomitisierungsfront äußert sich im Diagenesestadium, durch das Auftreten von zonaren Dolomitrhomboedern. Geochemisch sind die Dolomitisierungsfronten durch eine Zunahme der Elemente Eisen, Mangan, Zink und häufig SiO₂ (Hofbildung) gekennzeichnet.

HsÜ (1984) sieht Dolomitbildung und Pb-Zn-Mineralisation im Zusammenhang mit seiner Modellvorstellung des evaporative pumping (Abb. 30).

Aufsteigende Lösungen aus einem Salinar können Metallionen transportieren; evaporative pumping (aufsteigende Lösungen) bewirkt spätdiagenetische Dolomitierung und sulfidische Mineralisation nach der chemischen Reaktion:



HsÜ führt als Rechenbeispiel die mittlere Zusammensetzung von Brines des Roten Meeres an (ca. 0,5 ppm Pb, 0,5 ppm Zn). Bei Überflutung von Salzseen alle 5 Jahre reicht der oben genannte Pb-Zn-Gehalt aus, um im Zeitraum von 1 Mio. Jahren durch evaporative pumping einen 2 m mächtigen Reicherzkörper mit 10 % Pb und 10 % Zn zu bilden.

Petrographische Studien von OSMAN & PIESTRZYNSKI (1989) an Dolomiten und Zinkblenden der krakau-silesischen Lagerstätte Pomorzany, Polen, zeigen Dolomiteinschlüsse in Zinkblenden, andererseits zonare Verdrängungen von Dolomitrhomboedern. Im ersten Fall erfolgt die Verdrängung von Dolomit von außen, im zweiten Fall erfolgt die Verdrängung von innen. Die Verdrängung wird von der Mikroporosität und von der chemischen Zusammensetzung der Dolomite kontrolliert. Dolomitrhomboeder (host dolomite) werden von drei Zonen aufgebaut. Die äußere Rinde ist eisenreich mit auffallenden Zn-Gehalten; die innere Zone ist porös, Zn-reich (ca. 2000 ppm) aber Fe-arm; der Dolomitkern ist Fe-frei mit unterschiedlichen Zn-Gehalten. Bei der Metasomatose werden Zn-reiche Zonen eines Dolomitrhomboeders aber auch Zonen hoher Porosität von Zinkblende ersetzt. Je höher der primäre Zn-Gehalt im Dolomitrhomboeder ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß er von Zinkblende ersetzt wird (replacement). Das freigesetzte Eisen aus der eisenreichen Zone (Rinde) wird als kristalliner Pyrit abgesetzt. Die bei der Dolomitierung eintretende Volumsreduktion erleichtert die Lösungszirkulation. Je nach metallführender Lösungsmenge entstehen Sprenkelerze bis derbe Zinkblendemassen.

Geochemische Beziehung Zn-Ca : Mg

Am Beispiel des 1. Raibler Karbonathorizontes wurden von CERNY (1983) Ergebnisse aufgezeigt, wonach

der Gehalt an Magnesium für das Auftreten von Zinkmineralisationen bestimmt ist. Rd. 500 sedimentologisch typisierte Proben wurden auf die Elemente Pb, Zn, Ca, Mg analysiert.

Abb. 31 zeigt die strenge Bindung von Zink an die dolomitische Fazies, wobei bei einem Ca : Mg-Verhältnis von 1 : 2 (stöchiometrischer Dolomit 1 : 1,648) eine sehr homogene Verteilung von Zink gegeben ist. Die bei hohen Metallgehalten eintretende Streuung ist durch die Anwesenheit von Evaporitmineralen (Calciumüberschluß) analytisch bedingt.

Das Feld der resedimentierten Erze ist durch das Überwiegen calcitischer Matrix (phreatisches Milieu) gekennzeichnet. Die im lagunaren Bereich abgelagerten Kalke dieser Carditaabfolge zeigen einen hohen geochemischen Zn-Background, der jedoch in keinem Fall zu einer Zinkblendemineralisation führt. Die Korrelation Pb-Ca : Mg verhält sich ähnlich wie die Korrelation Zn-Ca : Mg.

5.2.5. Genetische Modellvorstellung

Die genetischen Modellvorstellungen aufgrund isotopischer und geochemischer Untersuchungen können nach heutigem Kenntnisstand (KÖPPEL & SCHROLL, 1988) folgend zusammengefaßt werden:

- Blei und wahrscheinlich Zink und die Elemente Ba, Ti, As, Ge, F sind vom kristallinen Untergrund aber auch von permischen und triadischen Klastika abzuleiten. Die „basement“-Gesteine sind in einer Tiefe von ca. 2 km unter dem erzführenden „Oberen Wettersteinkalk“ und der Raibler Schichten anzutreffen.
- Leaching-Prozesse der Elemente gingen unter tiefen Temperaturen vor sich. Das Ga/Ge-Verhältnis in Zinkblenden indiziert ein Gleichgewicht der Lösungen von Silikaten bei >180°C (MÖLLER, 1985). Tiefere Temperaturen können nicht ausgeschlossen werden. Es wird angeführt, daß charakteristische Elemente für mesothermale Lösungen (300°C), wie Cu, Ag, Hg, Sb, Se in den Erzmineralen fehlen bzw. nur in sehr niederen Gehalten vorhanden sind.
- Der Transport der Metalle erfolgte durch chloridreiche Lösungen und die Abscheidung erfolgte in marinem subsalinarem Environment (SCHNEIDER, 1969; WOLTER, 1985).
- Die durchschnittlichen Zn-Pb-Verhältnisse der Erze entsprechen den Durchschnittsgehalten pelitischer Sedimente (SCHROLL, 1983).
- Aufgrund von sedimentologischen Kriterien und isotopischen Daten (KAPPEL & SCHROLL, 1982) haben die Temperaturen der Erzablagerungen und die der diagenetischen Prozesse 100°C nicht wesentlich überschritten.
- Der Schwefel wurde von biogener, tief temperierter Reduktion von Meerwasser-Sulfaten bezogen (SCHROLL et al., 1983).
- Der Zufluß von Erzlösungen fand während verschiedenen kurzen Perioden statt. In der Bleiberger Sonderfazies sind eine Reihe von zyklischen Ereignissen festzustellen; jedes derselben ist durch Vererzungen gekennzeichnet (BECHSTÄDT, 1978; SCHROLL, 1984; SCHULZ, 1985).

5.3. Stratigraphie und Fazies der Pb-Zn-Vorkommen in den Ostalpen

5.3.1. Der Alpine Muschelkalk als Pb-Zn-Erzträger

Die Pb-Zn-Lagerstätten der anisischen Stufe gehören zu den größten im europäischen Raum. Die reichen Erzvorkommen sind vor allem an die kraukau-silesische Zone (Südpolen) gebunden. Im Vergleich zu den süd-polnischen Lagerstätten treten in den Ostalpen in zeit-äquivalenten Schichtfolgen „Erzlagerstätten“ auf, die als Mineralisationen zu bezeichnen sind. Einem Metallinhalt von rd. 50 Mio. t Pb + Zn stehen Metallinhalte von wenigen tausend Tonnen in den Ostalpen gegenüber.

Die Forschungs- und Explorationstätigkeit konzentrierte sich in den letzten Jahrzehnten auf die karnische Stufe, in der sich die produzierenden Lagerstätten Bleiberg, Raibl, und Mezića befinden und weniger auf das Anis der Ostalpen, da hier durch die z. T. exponierte Lage und die zu erwartenden Tonnagen und Metallgehalte von vornherein keine Großlagerstätte zu erwarten war. Durch gezielte Explorationstätigkeit war es jedoch möglich, einen Kleinbergbau in den Anisschichten von Topla in Jugoslawien mit ca. 30.000 t Jahresproduktion einzurichten und ihn bis heute zu betreiben.

5.3.1.1. Lithostratigraphie der anisischen Stufen

Über postvariszischen Transgressionsserien (Klastika, Rotsedimente) setzen europaweit flachmarine Karbonatsedimente ein. Bedingt durch die großtektonische Stellung erfolgt eine generelle Gliederung dieser basalen, karbonatischen Sedimententwicklung in:

- Epikontinentale Plattformsedimente.
- Sedimente einer beginnenden geosynkinalen Entwicklung.

Die Erzführung in den epikontinentalen Plattformsedimenten (kraukau-silesische Zone, Balkan, germanische Trias Süddeutschlands) wurden bereits eingehend beschrieben. Beide Fazies, insbesondere die epikontinentale Plattformentwicklung sind Träger bedeutender Pb-Zn-Lagerstätten.

Die Abfolge des epikontinentalen, anisischen Sedimentationsraumes, am Beispiel der kraukau-silesischen Zone weist eine Mächtigkeit von 100 m auf. Über permischen Konglomeraten folgen Dolomite des Röt. Die Basisschichten des Muschelkalkes sind kalkig ausgebildet. Die überlagernden Dolomite sind Träger von Pb-Zn-Erzen. Tonig-mergelige Schichten des Keuper überdecken die erzführenden Dolomite.

Die Abfolgen des Alpinen Muschelkalkes erreicht Mächtigkeiten von rd. 400 m. Die basalnen marinen Sedimente über der postvariszischen Transgressionsserie (Grödener Sandstein, Werfener Schichten) lassen vielerorts eine Dreigliederung erkennen.

Die beginnende marine Sequenz wird von klastisch beeinflußten Kalken eines flachen Schelfbereiches (bioturbate Flaserkalke, „Wurstelkalke“) aufgebaut. Die Überlagerung bilden Dolomite, die von VAN BEMMELEN (1957) als anisische Zwischendolomit bezeichnet wurden. Die hangenden Schichtglieder des Alpinen Muschelkalkes sind sehr mannigfaltig, durch fazielle Differenzierung ausgebildet (siehe Kap. Entwicklung der alpin-mediterranen Triasfazies). Auf engem Raum treten Flachwassersedimente und Sedimente des pelagischen Raumes auf. Tuffe und Tuffite in dieser hangendsten Abfolge ermöglichen die stratigraphische Korrelation.

Grundlegende Erkenntnisse über Fazies und Stratigraphie des Alpinen Muschelkalkes wurden von BECHSTÄDT (1978 cum lit.), BAUER (1970), CERNY (1977) erarbeitet. Lagerstättenkundliche Bearbeitungen der im Alpinen Muschelkalk auftretenden Pb-Zn-Vererzungen gehen auf WIEBOLS (1943), SUSSMANN (1901), SORDIAN (1961), CERNY (1977, 1978), GÖTZINGER (1985) zurück. Eine vereinfachte Darstellung der lithostratigraphischen Stellung der Pb-Zn-Vererzungen siehe Tab. 11.

5.3.1.2. Fazielle und stratigraphische Stellung der Vererzungen im Anis der Ostalpen

Die im Alpinen Muschelkalk auftretenden Buntmetallmineralisationen können in zwei Gruppen untergliedert werden:

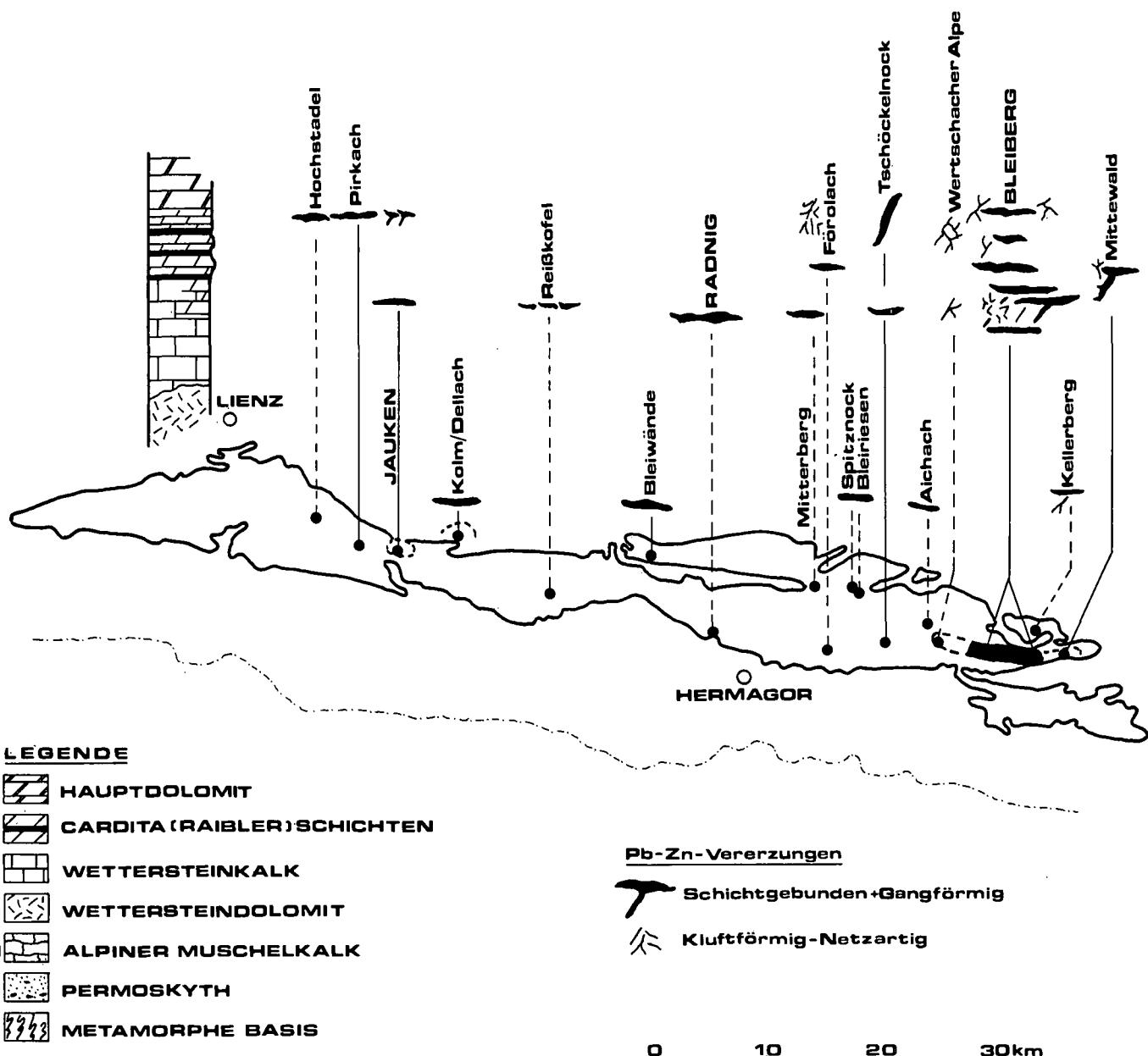
- Polymetallische Vererzungen (Pb, Zn, Cu, As, Ag), die in stratigraphisch tiefen Stockwerken des Alpinen Muschelkalkes auftreten.
Die polymetallischen Vererzungen treten nahe der Grenze zu permoskytischen Klastika in Kalken, Dolomiten und Rauhwacken auf. Die fast immer kluftförmigen Erzführungen haben mit wenigen Ausnahmen (z. B. Annaberg, Niederösterreich) keinerlei bergwirtschaftliche Bedeutung. Die Erze werden als Mobilisationen unter Mitwirkung von salinaren Lösungen aus tieferen (permoskytischen) Schichtgliedern angesehen. Als Zeitraum für die Bildung der Kluftmineralisationen sieht GÖTZINGER (1985) die alpidische Metamorphose.
Beispiele: Annaberg (niederösterreichische Kalkalpen), Arikogel (Hallstättersee), Pöllan (bei Paternion im Drautal).
- Pb-(Zn-)Vererzungen im „anisischen Zwischendolomit“ der Draukalkalpen und in den Nordtiroler Kalk-

Tabelle 11.
Lithostratigraphische Position der „Anisvererzungen“ in den Ostalpen.

	Karawanken	Gailtaler Alpen	Nördliche Kalkalpen	Nordtiroler Kalkalpen
Obere Schichtgruppe „Knollenkalke“				
Mittlere Schichtgruppe „Zwischendolomit“	Topla (Zn, Pb) Rudnik (Pb, Zn)	Kellerberg (Pb) Aichach (Pb) Bleiriesen-Spitznock (Pb) Bleiwände-Steinfeld (Pb, Zn) Kolm-Dellach (Pb, Zn)	Pb, Ag, Zn, Cu (F) in Annaberg Schwarzenberg Arzriedl-Trübenbach (z.T. bis in den Wettersteinkalk reichend)	Heiterwand St. Veith (Zn, Pb, Cu) Thaur bei Innsbruck
Untere Schichtgruppe „Flaser-Wurstelkalke“		Gratschenitzen (Pb, Fahlerz)	Arikogel (Zn, Cu, Pb, Fe)	Trias südlich des Inns (Pb, Ag, Cu, Zn)
Werfener Schichten				

BLEI-ZINK-VERERZUNGEN IN DEN DRAUKALKALPEN

REGIONALE VERTEILUNG UND STRATIGRAPHISCHE POSITION



alpen. Die Erzführungen sind schichtgebunden und treten vorwiegend in Dolomiten auf.

Beispiele: Bergbau Topla (bei Mezića in Jugoslawien), als produzierende Lagerstätte, Kellerberg (bei Villach), Bleiwände (Steinfeld im Drautal), Kolm/Dellach (im Drautal), Bergbau St. Veith (im Teigestal, Nassereith, Tirol).

Über die Erzführungen im Alpinen Muschelkalk besteht keine zusammenfassende Arbeit. STRUCL (1974), CERNY (1977, 1978), versuchten in Einzeldarstellungen einen Einblick in die Lagerstättenverhältnisse in den Draukalkalpen zu geben. Die Erzführungen in den Nordtiroler Kalkalpen wurden im Rahmen eines Rohstoff-Forschungsprojektes (CERNY, 1982) zusammengefaßt. Einzeldarstellungen von Lagerstätten stammen von WETZENSTEIN (1966), den Bergbau St. Veith im Teigestal bei Nassereith betreffend, GSTREIN (1983) bear-

beitete die Grauwackenzone um Schwaz und nahm Bezug auf die Fahlerz-Blei-Zink-Vererzungen, die bis in die überlagernde Trias reicht. Geochemische Grundlagen mit Schwerpunkt Nordtiroler Kalkalpen wurden von GROTJOHANN (1978) erarbeitet. GOTZINGER (1985) und HAGENGUTH et al. (1982) faßten die Mineralisationen der anisischen Gutensteiner Schichten im niederösterreichisch bis salzburgischen Anteil der Kalkalpen zusammen. STRUCL (1974), CERNY (1977, 1978), BECHSTÄDT (1978) stellten fest, daß im Drauzug (Karawanken und Gailtaler Alpen) Pb-Zn-Vererzungen mit einer Ausnahme (Pöllau bei Paternion) an den „anischen Zwischendolomit“ gebunden sind. Die Mineralisationen treten horizontgebunden, 150–170 m über den Werfern Schichten auf. Sie sind an den Hangendanteil des bis zu 100 m mächtigen „Zwischendolomits“ gebunden. Die Form der Vererzungen ist streng schichtge-

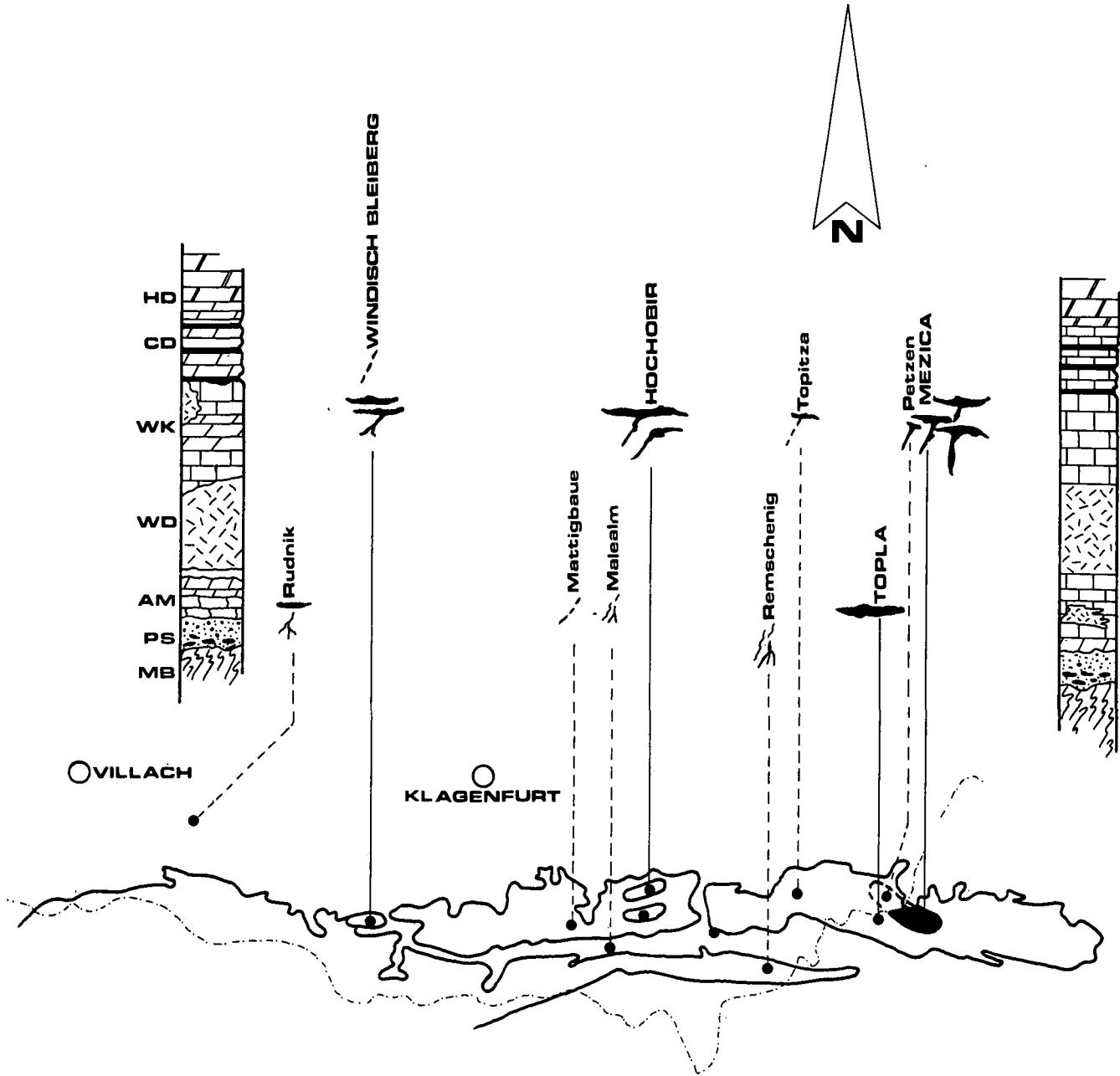


Abb. 32.
Regionale Verteilung und stratigraphische Position der Blei-Zink-Vererzungen in den Draukalkalpen.

bunden. Die streichende Erstreckung der Erzführungen beträgt 100–350 m, die Mächtigkeit schwankt zwischen wenigen cm und mehreren Metern. Die Erze sind disseminiert, selten treten Erzrhythmite (z. B. Topla) auf, derbe ZnS-Vererzungsbilder sind nur in der Lagerstätte St. Veith, Tirol, bekannt. Im Bereich der vererzten Dolomite tritt eine merklich klastische Beeinflussung der Dolomite auf. Dieser klastische Einfluß erscheint für die Pb-(Zn)-Mineralisationen als kontrollierender Faktor. Die sehr reine Dolomitentwicklung des „Zwischendolomites“ wird vor Einsetzen des Hangenden Schichtkomplexes (Knollenkalke etc.) durch geringfügige detritäre (terrige) Einschüttungen von einem nördlich gelegenen Festland (BECHSTÄDT, 1978) unterbrochen. Die Mächtigkeit der detritär beeinflußten Dolomite beträgt ca. 20 m. Die von BECHSTÄDT (1978) in den südlichen Gailtaler Alpen beschriebenen Sand-

steinbänke des Anis sind stratigraphisch wesentlich tiefer und liegen dem sog. „Wurstelkalkkomplex“ auf.

Umfangreiche geochemisch-sedimentologische Untersuchungen (CERNY, unpubl. BBU-Berichte) zeigen, daß geochemische Anomalien von Pb-(Zn)- und Pb-Zn-Mineralisationen ausschließlich an diese Fazies gebunden sind.

Der klastische Inhalt (ca. 10–15 Vol. %) bestehend aus detritären Quarzen und Glimmern tritt in dieser Form ausschließlich in Profilen am Nordrand der Gailtaler Alpen auf.

5.3.1.3. Metallverteilung

Wie aus einleitender Gliederung hervorgeht, zeigen die basalen Schichten des Alpinen Muschelkalkes polymetallische Vererzungen. Hervorzuheben ist der Kup-

ferreichum des Vorkommens Arikogel am Hallstättersee und der Silberreichum im Bereich der alten Bergbaue Annaberg und Schwarzenberg. Der primäre Silberträger ist dort ungewiß. Bleiglanze weisen Ag-Gehalte von 110 ppm auf. GÖTZINGER (1985) sieht die Silberminerale (z. T. gediegen Silber) als Bildungen der Zementationszone (Mineraliste siehe Kap. 5.3.1.6.1. Annaberg und Schwarzenberg).

Die schichtgebundenen Vererzungen des „anisischen Zwischendolomits“ in den Draukalkalpen sind geochemisch als „reine“ Erze zu bezeichnen. Die regionale Metallverteilung zeigt, daß am Ost- wie auch Westende der Draukalkalpen zinkbetonte Vererzungen vorherrschen (Topla und Kolm/Dellach), in den westlichen Karawanken (Bergbau Rudnik), besonders jedoch am Nordrand der Gailtaler Alpen (z. B. Kellerberg, Aichach, Bleiwände) Bleiglanz alleine als erzbildendes Mineral auftritt. Zinkblende tritt lediglich in Spuren auf. Der Bergbau St. Veith in den Nordtiroler Kalkalpen gelegen, hat nach alten Bergbaudaten zinkbetonte Erze gefördert ($Pb : Zn = 1 : 20$).

Die Bleiglanze der schichtgebundenen Erzführungen haben geringe Silbergehalte (5–100 ppm). Der Silbergehalt gilt als wesentliches geochemisches Kennzeichen gegenüber den Bleiglanzen in der karnischen Stufe (Wettersteinkalk und Raibler Schichten), in welcher die Bleiglanze silberfrei sind (<1 ppm Ag). Die Arsengehalte schwanken nach SCHROLL (1954) zwischen 100 ppm und 1 %, die Sb-Gehalte können 100 ppm erreichen. Bi schwankt zwischen 3 und 5 ppm, Ti zwischen 3 und 50 ppm. Die Zinkblenden sind nach SCHROLL (1954) arm an Cd (500–3000 ppm), Ge (3–30 ppm), Ti (3–30 ppm), Ga und Ag ist in geringsten Spuren nachweisbar, Hg und In ist immer abwesend.

Die Ursache der so unterschiedlichen Metallverteilung in den einzelnen Lagerstättengrenzen ist weitgehend unbekannt. CERNY (1978) konnte anhand von rd. 1000 geochemischen, sedimentologisch zuordnbaren Proben aus dem Anis der Nordkarawanken zeigen, daß Flachwassersedimente (Dolomite) generell Zn-betont, tiefere marine Sedimente (Beckensedimente) Pb-betont sind. Eine ähnlich aufwendige Untersuchung wurde bisher in den Gailtaler Alpen nicht gemacht. Oben genannter geochemischer Trend trifft jedoch auch in den Gailtaler Alpen in ausgewählten Profilen zu.

5.3.1.4. Genetische Aspekte

Hinsichtlich der Metallherkunft sind nach Ansicht des Verfassers die Anisvererzungen von folgenden Parametern abhängig:

- Die liegenden Vererzungen, meist kluftförmig ausgebildet, wurden von Lösungen unter Beisein von Evaporiten aus permoskytischen, klastischen Sedimenten bewirkt. Diese Prozesse führten zu Mineralisationen polymetallischer Zusammensetzung (Pb , Zn , Cu , As , Ag) direkt aus den permoskytischen klastischen Sedimenten.
- Die Erzführungen des „Zwischendolomits“ gelten als Erosionsprodukt älterer paläozoischer Gesteinseinheiten, wobei die Metalle Pb und Zn über den Lösungsweg in den anisischen Sedimentationsraum gelangten.

Struktur- bzw. störungsbedingte Lösungszufuhr kann in allen bekannten Lagerstättengrenzen ausgeschlossen werden (mögliche Ausnahme St. Veith, Tirol). Die Erzführung wird von der Fazies in Zusammenhang mit

einem klastischen Einfluß aus nördlich gelegenen Kri-
stallingebieten kontrolliert. Das Pb - Zn -Verhältnis wird entweder vom Spendergestein direkt oder von physiko-
chemischen Bedingungen im anisischen Ablagerungs-
raum bestimmt (Zn vorwiegend in Flachwasserfazies,
 Pb in tiefer marinen Ablagerungsräumen).

Die isotopischen Daten des Bleiglances der anisi-
schen Vererzungen betragen am Beispiel von Topla rd.
500 Mio. Jahre, gegenüber Bleivererzungen der karni-
schen Stufe, die ein Bleialter von rd. 300 Mio. Jahren
(KÖPPEL & SCHROLL, 1988) aufweisen. Auf dem Lö-
sungswege im marinen Milieu gingen Spurenelemente
wie Ag , Ge , Tl weitgehend verloren. Die anisischen Pb -
 Zn -Erze sind an Spurenelementen abgereichert. Das
Spendergestein für diese Vererzungen ist unterschied-
lich im Vergleich zu Vererzungen in der karnischen Stu-
fe. Die erzführenden Gesteine sind frei bzw. abgereichert
an Fluor und Barium.

KLAU & MOSTLER (1983) beschreiben aus den permi-
schen Schichten von Tregiovo (Provinz Bozen) ähnlich
schichtgebundene Vererzungen. Die Tregiovo Schich-
ten als lakustrine Sedimente überlagern direkt den Bo-
zener Quarzporphyhr. Resedimentierte Quarzporphyre
gelten als Spendergestein oben genannter Vererzun-
gen. Durch Migration von metallhaltigem Porenwasser
kam es diagenetisch zur Anlage von schichtigen (Zn -
 Pb -F) Vererzungen. Weitere Beispiel aus der Trias der
Dolomiten (ASSERETO et al., 1977) siehe Kap. Pb - Zn -
Vererzungen in den Dolomiten.

Die Bildungsweise anisischer schichtgebundener
Vererzungen der Draukalkalpen lassen sich mit den
Metallanreicherungen in der germanischen Trias ver-
gleichen. Hier werden die Metalle (WALTHER cum lit.,
1982) in einem Flachmeerbereich fluviatil von der Vin-
delizischen Schwelle zugeführt und sedimentär abge-
setzt („Bleiglanzbank“). Die Platznahme der Metalle war
abhängig von der Paläogeographie des Sedimentations-
raumes.

Gegenüber der „Bleiglanzbank“ dürften in den Drau-
kalkalpen diagenetische bzw. epigenetische Lösungs-
umsätze dort und da Metallanreicherungen bewirkt ha-
ben. Diese kleinräumigen Metallanreicherungen geben
Anlaß, in früheren Zeiten beschürt zu werden.

5.3.1.5. Die Pb - Zn -Vererzungen der anisischen Stufe in den Draukalkalpen

5.3.1.5.1. Vererzungen in den Karawanken

Ausgehend von der Problemstellung, daß die auf ju-
goslawischem Gebiet befindliche Anis-Lagerstätte To-
pla (STRUCL, 1974) sich unmittelbar auf österreichi-
schem Gebiet fortsetzen könnte, hatte der Verfasser
die Möglichkeit (CERNY, 1977, 1978), umfangreiche se-
dimentologische und geochemische Studien im Anis
der Karawanken und in den Gailtaler Alpen durchzufüh-
ren.

Die unmittelbare Problemstellung, Erze im Bereich
der Petzen (Luscha Alm) aufzuspüren, gelang nicht;
dennoch sind es markante geochemische Anomalien,
die einer explorativen Aufklärung mit Bohrungen noch
bedürfen, um diese Fragestellung endgültig abzuklären.
Die geochemischen Anomalien treten in klastisch be-
einflußten Dolomiten und Rauhwacken, in zeitäquiva-
lenten Schichten des erzführenden „Zwischendolomits“
von Topla, Jugoslawien, auf.

Im Nordstamm der Karawanken treten nach eingehenden Untersuchungen keine makroskopisch sichtbaren Pb-Zn-(F-, Ba-)Mineralisationen auf. Die von Dr. J. DERNEC (BBU-interner Bericht, 1965) angeführten Bleiglanzfunde in dunklen Dolomiten des Wabutschnigggrabens nördlich des Waidischtals sind stratigraphisch nicht gesichert (? Mattigbaue).

Am Ortsausgang des Waidischtals (unweit Ferlach) wurde von CERNY (1977) eine an eisenschüssige Anis-dolomite gebundene geochemische Zinkanomalie (0,7 % Zn) aufgefunden. Die Anomalie ist störungsgebunden, lässt sich jedoch lateral nicht weiter verfolgen.

Im südalpinen Anis der Karawanken sind im Schurfergabau Malealm bei Zell im Winkel, unweit der Paläozoikum-Trias-Grenze, in hellen Dolomiten Bleiglanz und violetter Flußspat auf kümmerlichem Haldenmaterial festzustellen. Die Mineralführung ist kluftgebunden.

Der geochemische Pb-Zn-Haushalt anisischer Sedimente im N- und S-Stamm der Karawanken (Raum Eisenkappel – Mittagskogel) wurden von CERNY (1977) erarbeitet.

Aufgrund von 970 auf Pb und Zn analysierten Proben (Analytik BBU) lassen sich folgende Schlussfolgerungen für die anischen Schichtglieder im Nord- und Süd-stamm ziehen:

Konzentrationsschwankungen von Zink und Blei sind nicht horizontgebunden, sondern faziesgebunden. Vorwiegend treten in frühdiagenetischen Dolomiten und Dolomitbreccien einerseits, in vulkanogen beeinflussten Sedimenten andererseits bemerkenswerte Konzentrationsschwankungen auf.

Generell lässt sich eine „zinkreiche“ Flachwasserfazies und eine „bleireiche“ Beckenfazies im Nordstamm der Karawanken ableiten.

Anische Kalke und Dolomite des Südastes der Karawanken lassen eine signifikante Verarmung an Pb und Zn erkennen.

Tab. 12 zeigt eine Gegenüberstellung der Pb/Zn-Gehalte anischer Sedimentgesteine.

Tabelle 12.
Gegenüberstellung von Pb- und Zn-Mittelwerten (\bar{x}) anischer Sedimentgesteine (Angaben in ppm, N = Datenzahl).

	N	\bar{x} Zn	\bar{x} Pb
N o r d s t a m m			
Dolomite i.A. (früh- bis spät-diagenetisch)	254	227	25
„Epigenetische“ Dolomite	166	119	16
Dolomitbreccien	66	261	—
Pelagische Kalke	89	85	201
Flachwasserkalke	157	108	20
S ü d s t a m m			
Dolomite i.A.	87	56	9
Kalke i.A.	41	74	—

In den westlichen Ausläufern der Karawanken-Nordkette tritt nördlich des Faakersees, im Bereich von Rudnik, eine Pb-Zn-Vererzung auf. Die geologischen Grundlagen dieses, der zentralalpinen Trias zurechenbaren Vorkommens wurden von SORDIAN (1961) erarbeitet. Die BBU hat um 1965 umfangreiche Kartierungs- und Prospektionsarbeiten (Bodenproben) durchgeführt. Eine Exploration dieses Vorkommens wurde jedoch nie durchgeführt.

Bergbau Rudnik

In den westlichen Ausläufern der Karawanken Nordkette tritt nördlich des Faaker Sees, im Bereich von Rudnik, eine Pb-(Zn-)Vererzung auf. Die geologische

Grundlage für die Umrahmung des Bergbaues Rudnik, zwischen dem Ort Bleiberg und dem Berg Rudnik liegend, rd. 2 km östlich des Faakersees, Südkärntn., wurde von SORDIAN (1961) erarbeitet. Er weist in seiner regional-geologischen Kartierungsarbeit auf die Sonderstellung im Klagenfurter Becken im allgemeinen und im Bereich östlich des Faakersees im speziellen hin. Fragliches Obersilur und Devon wird aus Dolomit- und Kalkmarmorserien aufgebaut. Die überlagernde permotriadische Abfolge beginnt mit metamorphem „Alpinen Verrucano“ (Konglomerate, Breccien mit Zunahme von Quarzschiefern und Serizitquarziten ins Hangende). Konglomerate (Quarze, Lydite, Tuffite, Quarzporphyre, Tonschiefer und Sandsteine) sind wohl Aufbereitungprodukte des geologischen Untergrundes.

Über skytischen Semmeringquarziten und Rauhwacken des tiefsten Anis folgen anische Dolomitbreccien sowie Bänderkalke und gebänderte Kalkmergel.

Die überlagernden Muschelkalk-Dolomite (Anis, fragliches Ladin) sind durch Diploporen altersmäßig als mitteltriadisch einstufbar.

Die dunklen, grobkörnig späten, bituminösen, oft gebänderten bis geäderten Karbonate sind Trägerstein von Pb-Zn-Mineralisationen (z. T. Erze laut Haldenbefund).

Trochitendolomite des oberen Anis leiten über zu hellen, wenige 10er-Meter mächtigen „mitteltriadischen“ Dolomiten als stratigraphisch höchstes Schichtglied.

Über die Mineralisationen (PbS-Vormacht nach eigenen Beobachtungen) ist sehr wenig bekannt. Eine sedimentologisch-lagerstättenkundliche Arbeit ist ausständig.

Die von SCHROLL (1954) erarbeiteten Geochemiedaten seien nachstehend angeführt:

Zinkblende:	Ge: 1–50 ppm, Sn: 10–30 ppm, Ni: bis 100 ppm, Ag: 0–10 ppm, Mn: 10–500 ppm, Fe: 100–3000 ppm, As: 0–300 ppm, Sb: 0–300 ppm, Cd: 1000–3000 ppm.
Bleiglanz:	Ag: 1–5 ppm, As: bis 100 ppm, Sb: 30–50 ppm, Bi: 5 ppm, Tl: 3–50 ppm.

5.3.1.5.2. Vererzungen in den Gailtaler Alpen

Im Vergleich zu den Karawanken ist die Gesteinsabfolge der anischen Stufe in den Gailtaler Alpen vielerorts erzführend. Es dominiert Bleiglanz. Zinkblende ist nur in den westlichsten Vorkommen bekannt. Flußspat und Schwerspat gilt als mineralogische Seltenheit.

Folgende Vererzungen (Schurfergabäue, von Ost nach West gereiht) sind bekannt: Kellerberg, Aichach, Bleiriesen, Spitznock, Gratschenitzen, Bleiwände bei Steinfeld, Kolm bei Dellach im Drautal (Scheinitzen). Über genannte Vorkommen gibt es keine zusammenfassende Darstellung. Es wird nachstehend versucht, aus vorwiegend BBU-internen Berichten (HOLLER, KOSTELKA, HINTEREGGER, CERNY) sowie SUSSMANN (1901), GÖTZINGER (1985) einen Überblick zu geben. Neben den vorgenannten Arbeiten konnten im Rahmen des Roh-

stoffprojektes „Anis–Cordevol“ (CERNY, 1982), teilfinanziert von der Bund-Bundesländer-Kooperation, wesentliche Erkenntnisse gewonnen werden, die nachstehend zusammengefaßt sind:

- Die anischen Erzvorkommen sind ausschließlich an den Nordrand der Gailtaler Alpen (Drautal) geknüpft. Der Südrand muß nach dzt. geochemischen Prospektionsergebnissen als erzleer bezeichnet werden; es sind außerdem keine Bergbauspuren bekannt.
- Die Vererzungen treten stratiform im Hangend-An teil des „anischen“ Zwischendolomits auf.
- Der Hangendanteil des anischen Zwischendolomits weist einen klastischen Einfluß auf, der von der Lagerstätte Topla, über dem Karawanken-Nordstamm, in verstärktem Maße in den Gailtaler Alpen auftritt.
- Die auftretenden Vererzungen weichen geochemisch von den ladinisch-karnischen Vererzungen signifikant ab. Z. T. silberführender Bleiglanz tritt nahezu monomineralisch auf, Kupfer ist geochemisch vertreten, Flußspat und Schwerspat tritt vereinzelt als mineralogische Besonderheit (Kellerberg, Kolm bei Dellach) auf.

Mit Hilfe von Bleiisotopendaten von Topla und vereinzelt Vergleichswerten aus den Gailtaler Alpen ist ein Erzbleialter von rd. 500 Mio. Jahren anzunehmen. Gegenüber den ladinisch-karnischen Erzbleialtern von rd. 300 Mio. Jahren, ist ein gravierender Altersunterschied festzustellen.

Aufgrund der Pb-Isotopendaten, unterstützt durch sedimentologische Kriterien (klastischer Einfluß), wird vermutet, daß die anischen Erzvorkommen des Drauzuges, incl. Topla, ihren Stoffbestand aus altpaläozois chen Gesteinen bezogen haben, somit Produkte eines Resedimentationsvorganges sind.

5.3.1.5.2.1. Kellerberg

Im Zuge des Draukraftwerkbaues „Kellerberg“, (ca. 8 km nordwestlich von Villach) wurden bei geologischen Vorerkundungen (UCIK, interner Bericht der ÖDK) Bleiglanzvererzungen erbohrt bzw. auf einer Baustraße erschlossen. Die an der Drau-Möll-Linie steil stehenden Schichten beinhalten, gebunden an dunkle Dolomite des anischen Zwischendolomits stratiforme Bleiglanzvererzungen. Nord-Süd gerichtete Klüfte, die mit Bleiglanz mineralisiert sind, zeigen Schurfspuren (Schurfstollen unbekannten Alters). Diese Kluftmineralisationen mit geringer Bleiglanz- und Flußspatführung veranlaßten GOTZINGER (1985), die Erzführungen als typisch kluftgebunden zu bezeichnen. Ein im Jahre 1984 von der BBU durchgeföhrtes Bohrprogramm ergab den Nachweis einer streng schichtgebundenen Bleiglanzvererzung, die mit einer Mächtigkeit von max. 4 m auf rd. 300 m anhielt.

Rd. 3000 t Vorräte mit einem mittleren Pb-Gehalt von 3 % wurden bis auf Drauniveau erkundet (CERNY, unpubl. BBU-Bericht).

Den Hauptanteil der Erzführung bilden netzartig mineralisierte, grobbankige dunkle Dolomite, die im Liegenden und Hangenden von bankigen bis plattigen Dolomiten begrenzt werden. Die grobkristallinen Bleiglazze sind vorwiegend mit spätigem weißem Dolomit verwachsen. Es finden sich jedoch auch gelegentlich feinkörnige Bleiglanz-Dolomit-Rhythmite, die auf wenige dm im Streichen anhalten.

Geochemische Untersuchungen ergaben, daß Bleiglanz praktisch monomineralisch vorliegt. Lediglich eine Bohrprobe ergab 0,36 % Zn. Die Analytik einer repräsentativen Erzproben (BBU-Analytik) ergab Pb: 2,4 %, Zn: 0,046 %, Ca: 20,8 %, Mg: 10,7 %, Fe: 1,49 %, Mn: 3800 ppm, Sr: 20 ppm, Cu: <10 ppm.

5.3.1.5.2.2. Aichach bei Stockenboi

Im Zuge systematischer Profilaufnahmen wurden von HINTEREGGER (cit. in CERNY, 1979) umfangreiche sedimentologische – geochemische Untersuchungen an anischen Schichtgliedern im Bereich Stockenboi – Kreuzen durchgeführt. Hierbei gelang es, einen in der Literatur unbekannten Schurfbergbau (Stollen und Gesenke) 3,2 km westlich der Ortschaft Pöllan aufzufinden. In dem 220 m mächtigen, gut aufgeschlossenen Profil, welches von den Werfener Schichten im Liegenden, bis zu Plattenkalke (Fellbacher Kalke) im Hangenden reicht, konnte eine 0,5 m mächtige, schichtig angelegte, überwiegend Bleiglanz-führende Vererzung lithostratigraphisch sehr genau eingestuft werden.

Die klastischen Werfener Schichten, vorwiegend aus rötlichen, feinkörnigen Sandsteinen, wechselseitig mit grünen Mergelhorizonten, leiten über in sandige, glimmerführende Bankdolomite (dolomitisierte Kalke mit z. T. bioturbaten Flasergefügen, gefolgt von grobbankigen Dolomiten und dolomitischen Kalken, die 150 m über dem Werfener Horizont die genannte schichtige Pb-[Zn]-Vererzung beinhalten). Den Abschluß des Profiles bilden gut gebankte Plattendolomite, die in die Fazies der „Fellbacher Plattenkalke“ (strat. Äquivalent des Wettersteinkalkes nach BECHSTÄDT, 1978) überleiten.

Die Vererzung ist an klastisch beeinflußte Dolomite (dunkle Dolosparite mit ca. 20 % Glimmer und detritärem Quarz) gebunden. Die Bleiglanzführung ist butzenförmig mit z. T. idiomorphen Kristallen, Zinkblende tritt mobilisiert in jungen Dolomitädörchen auf. Der Metallgehalt im Lager (0,5 m mächtig) schwankt zwischen 2 % und 4 % Pb und max. 0,8 % Zn.

Erzmikroskopische Präparate zeigen vorwiegend eingeregelte, idiomorphe PbS-Schnürlagen, häufig sammelkristallisiert in später Dolomitmatrix mit schichtig angereicherten klastischen Komponenten. Eisensulfide fehlen.

Die anischen Schichtglieder im Profil Aichach lassen sich gegliedert nach lithologischen Gesichtspunkten (erzführende und erzhölige Plattendolomite – unter- und überlagernde Dolomitabfolgen) folgend charakterisieren (35 Proben).

Die Ca- und Mg-Verteilung zeigt, daß im Liegenden unterschiedliche dolomitisierte Kalke vorliegen, die erzführende Serie rein dolomitisch ausgebildet ist.

Eisen ist im Bereich der Vererzung stark erhöht (rd. 2 % Fe, Gesamtgestein), sinkt liegend/hangend der Vererzung auf 500 ppm ab.

Mangan zeigt um die Vererzung einen ausgeprägten Hof (1000 ppm – 1600 ppm) gegenüber dem mittleren Gehalt von 80 ppm bis 500 ppm des Profiles. Die Mn-Erhöhung kann jedoch auch mit dem klastischen Inhalt (Tonminerale etc.) in Zusammenhang stehen.

Strontium zeigt keine signifikante Abhängigkeit zum Vererzungsbereich (637 ppm). Die liegenden Dolomite weisen im Mittel 380 ppm Sr auf. Bemerkenswert ist jedoch, daß ca. 20 m über der Vererzung, in Annäherung zu den Fellbacher Kalken, Sr-Gehalte von 0,29 % auftreten.

Im Bereich der Vererzung sind Kupfergehalte von 10 ppm bis 20 ppm vertreten.

Die gesamte erzhöfliche Abfolge ist durch eine Bleivormacht (224 ppm) bei relativem Zurücktreten der Zinkgehalte (144 ppm) gekennzeichnet. Die unter- und überlagernden Gesteine weisen Pb/Zn-Gehalt um 80 ppm und Zn-Gehalte um 50 ppm auf.

10 Proben der Werfener Schichten ergaben zum Vergleich folgende Elementkonzentrationen: Ca: 4,9 %, Pb: 108 ppm, Fe: 1,35 %, Mn: 335 ppm, Mg: 0,97 %, Zn: 67 ppm, Cu: <10 ppm, Sr: 148 ppm.

5.3.1.5.2.3. Bergbau Bleiriese und Spitznöckl (Golsernock, SW Zlan)

WARCH (1979), GÖTZINGER (1985) bezeichnen die urkundlich schon im ausgehenden 15. Jhd. erwähnte Bleiriese als die weitaus bedeutendste Vererzung des Anis in den Gailtaler Alpen. Drei ineinander verlaufende Halden mit einer Erstreckung von 120 m zeugen von einer umfangreichen Bergbautätigkeit. In steil stehenden dunklen Kalken und braun anwitternden Dolomiten finden sich Bleiglanzvererzungen. GÖTZINGER (1985) bezeichnet die Erzführungen als kluftgebunden, wobei PbS auch feinkörnig in Schnurform in Dolomiten auftritt. Auffallend ist der hohe Limonitgehalt. Ca. 0,5 km westlich, auf der gegenüberliegenden Grabenseite befindet sich der Bleibergbau Spitznöckl. Die bleibetonten Vererzungen treten in gebankten Dolomiten (anischer Zwischendolomit), ca. 170–180 m im Hangenden der Werfener Schichten auf. Die Erzführungen sind schichtig, zeigen jedoch innerhalb des Schichtverbands netzartige Texturen, die auf Mobilisation hinweisen. Zinkblende tritt vereinzelt in dichten feinkörnigen Aggregaten im braungrauen Dolomit auf. Die anstehenden Erze und die Lage der Einbaue lassen die Vermutung zu, daß der Bergbau Spitznöckel und der benachbarte Bergbau Bleiriese im gleichen lithostratigraphischen Niveau umgingen.

5.3.1.5.2.4. Pöllan/Gratschenitzen bei Paternion

Unter der Bezeichnung „Kupferbergbau Pöllan bei Paternion“ beschrieb NIEDERMAYR (1982) die wegen ihrer untypischen Paragenesen aus der Reihe fallende Anisvererzung. Als Erzminerale treten Fahlerz, Bleiglanz, Cuprit und eine Reihe von Kupfer-Oxidationsmineralen in dunklen Dolomiten auf. GÖTZINGER (1985) ist der Ansicht, daß der feinkörnige Bleiglanz nicht unbedingt kogenetisch mit dem putzenförmigen Fahlerz ist. Eine geologisch-lagerstättenkundliche Bearbeitung dieses Vorkommens, von dem nur mehr spärliche Haldenreste vorhanden sind, fehlt.

5.3.1.5.2.5. Bergbau Bleiwände-Steinfeld (Drautal)

Der bis in das „späte Mittelalter“ betriebene Bergbau liegt im Drautal, südlich der Ortschaft Steinfeld am Nordhang des Nockberges in 820 m–850 m Seehöhe.

Zwecks Untersuchung des Molybdän-Gehaltes dieser Gruben wurden von WIEBOLS (1943) umfassende Probenahmen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden der sog. Unter- und Oberbaustollen gewältigt, das Grubengebäude neu vermessen. HOLLER (1948) führte montangeologische Studien durch; lithostratigraphische Gliederungsversuche sowie mikrofazielle und geochemische Untersuchungen wurden von CERNY (1974, unpubl. BBU-Bericht) vorgenommen.

Nach WIEBOLS (1943) tritt die Lagerstätte im Muschelkalk auf. Das an den Mundlöchern anstehende Gestein ist dunkelgrauer bis schwarzer, dünngebankter und flach südlich einfallender Dolomit und weniger Kalk. Die Schichtflächen sind oft wulstig, das Gestein ist von weißen Calcitadern stark durchzogen. Im Bereich von zwei brandig anwitternden Dolomitbänken, welche wechseltlagern mit ca. 5 cm mächtigen Schieferhorizonten auftreten, ist der Unterbaustollen ange schlagen.

Das Gestein in der Grube ist von vielen Klüften durchsetzt, die nach zwei Hauptrichtungen streichen (N bei steil südlichem Einfallen und NE bei mittelsteilem Einfallen). Die Störungen durchziehen das Gestein als 1 cm–30 cm breite Klüfte, die mit gelbem, wasserführendem Lehm gefüllt sind.

Nach CERNY (1974) wird die Schichtfolge im Bereich des Bergbaues folgend aufgebaut.

Die Basis bilden steilstehende, kristalline Gesteine, vorwiegend Glimmerschiefer. Tektonisch gestört, wobei im Bereich der Lagerstätte Grödener Sandstein und Werfener Schichten zu fehlen scheinen, folgen braun anwitternde sandige Dolomite (15 m Mächtigkeit). Durch eine markante Störung (zerscherte Faltenstruktur) lagern über den braunen Dolomiten schwarze Plattendolomite mit Einschaltung von 7 Schieferlagen (Mächtigkeit im cm-Bereich). Die Mächtigkeit der Plattendolomite beträgt 14,5 m.

Die Überlagerung der Plattendolomite bildet eine Abfolge massiger bis dickbankiger Dolomite von ca. 50 m Mächtigkeit. Die bergbaulichen Einbauten liegen in den Plattendolomiten (Unterbau) bzw. in den dickbankigen Dolomiten (Oberbau), wo noch heute eine feine Pb-S-Naht an der Stollenfirste erkennbar ist.

Wie ein Schichtstapel, bis zu 70° S-fallend, überlagert heller Wettersteinkalk-Dolomit bis auf die Anhöhe des sog. Nockberges (SH. 1515) den rd. 300 m mächtigen Komplex des durchwegs dolomitisch ausgebildeten „Alpinen Muschelkalk“.

Die vorgenannte lithostratigraphische Dreigliederung läßt sich mikrofaziell bestätigen.

Die Abfolge der braunen Dolomite ist als schwach toniger, z. T. reichlich Glimmer- und detritären Quarzführender, mikritischer Dolomit ausgebildet. Der klastische Einfluß ist für den küstennahen anischen „Zwischendolomit“ typisch. Die basalen im gesamten Drauzug üblichen, klastisch beeinflußten Wurstel-Flaserkalke, sind im Bereich der Lagerstätte aus tektonischen Gründen nur als Relikt vorhanden.

Die Abfolge der dunklen Plattendolomite mit Schieferlagen ist im Schliff als zuckerkörniger Dolomit ausgebildet. Vereinzelt (ca. 10 %) treten Echinodermenreste, meist Crinoidenstielaufwänden als Komponenten in dolosparitischer Matrix auf. Schemenhaft sind Pellets und Ooide (Phantome) erhalten. Diese Relikte sedimentärer Strukturen sprechen ebenfalls für einen küstennahen Sedimentationsraum.

Die Plattendolomite sind nahezu frei an klastischen Bestandteilen. Die cm-mächtigen schwarzen Schieferlagen innerhalb der Plattendolomitabfolge sind karbonatfrei. Das extrem feinkörnige (lutitische) Sediment konnte vom Verfasser petrographisch nicht näher eingestuft werden. Eine tuffitische Natur wird in Erwägung gezogen, zumal im Pb-Zn-Bergbau Kolm/Dellach im Drautal diese 7 Schieferlagen ebenfalls horizontbeständig auftreten.

Der hangendste Dolomitkomplex, massiger bis dickbankiger Ausbildung, wird von sehr gleichmäßigen Dolospariten aufgebaut. Stylolithen durchziehen unregelmäßig das Gestein, sodaß gelegentlich ein knolliges Gefüge entsteht. Sehr gleichmäßig verteilt, nur selten angereichert, finden sich Echinodermenreste (Crinoiden). Der Fossilanteil im Sediment beträgt rd. 20 %. Ein lagunarer bzw. schelfähnlicher Ablagerungsraum ist für diesen Sedimenttypus anzunehmen. Die überlagern-de Abfolge wird von Wettersteinkalk aufgebaut.

Die Vererzung besteht nach WIEBOLS (1943) zum größten Teil aus Bleiglanz. Zinkblende ist mit freiem Auge nicht festzustellen. Der Bleiglanz tritt auf feinen Klüftchen und in Nestern im dunkelgrauen und schwarzen Dolomit auf. Das Erz ist lagerartig verbreitet. Die Mächtigkeit der vererzten Schichten ist meistens nicht mehr als 1 m; sehr oft wird eine vererzte Schicht im Hangenden durch einen Lettenbelag (wohl oxidierte schwarze Schiefer) in der Schichtfuge begrenzt; das Hangendgestein erweist sich dann als taub, etwas höher im Hangenden tritt dann aber oft wieder Erz auf. Es liegen also mehrere vererzte Horizonte übereinander.

Manchmal sind mehrere Horizonte in einem Abbauhaut worden, und es sind dann Abbauräume bis 3 m Höhe entstanden; oft aber ging der Abbau nur in einer Schicht um, und der Abbaauraum war dann entsprechend niedrig. Überall liegen die Abbaue zwischen den Schichtflächen.

Die Mächtigkeit des abgebauten vererzten Schichtpaketes beträgt mindestens 30 m, wahrscheinlich aber mehr, weil vom untersten Horizont noch Gesenke abgeteuft wurden, die jedoch ersäuft sind.

Die Probenahme von WIEBOLS ergab einen durchschnittlichen Erzgehalt (14 Proben) von 2,98 % Pb, 0,36 % Zn. Der Mo-Gehalt beträgt 0,035 %.

5.3.1.5.2.6. Bergbau Kolm bei Dellach/Drautal

An der Nordflanke des Drautales bei Dellach lagert eine Triasschuppe auf metamorphem Altpaläozoikum der Kreuzeckgruppe. Die Basis bilden Glimmerschiefer, tektonisch überlagert von Grödener Sandsteinen, Wefener Schichten, Alpinem Muschelkalk und fraglichem Wettersteinkalk.

Am Kolm, welcher weitgehend aus Gesteinen des Alpinen Muschelkalkes aufgebaut ist, wurde nach SUSSMANN (1901) schon „seit uralten Zeiten“ Bergbau betrieben. Er nimmt an, daß die Römer, welche auf der gegenüberliegenden Jauken bereits Bergbau getrieben haben, das verkehrstechnisch viel günstiger gelegene Pb-Zn-Vorkommen am Kolm bereits gekannt haben.

Die Erzgewinnung im 17. Jhd. beschränkte sich offensichtlich auf leicht verschmelzbare „Brauneisensteine“, die als Hütbildung heute noch gelegentlich zu beobachten sind. Ab 1760 werden, historisch gesichert, Bleierze abgebaut; 1842 wurde ein Zubau stollen, als Unterfahrungsstollen in Angriff genommen, 1870 die Vererzung auf diesem tiefsten Niveau angefahren. 1876 kam der Bergbau zum Erliegen, da der niedere Bleigehalt der Erze als nicht lukrativ erschien.

SUSSMANN (1901) beschreibt die anisische Gesteinsabfolge aufgrund der Grubenaufschlüsse:

- Gipsführende dichte Kalke als Liegendeinheit.
- Dünnpflattige, körnige und stark bituminöse Schichten.
- Erzführende Schichten (mit Crinoidenstielglieder), 40 m mächtig.

Den erzführenden Gesteinskomplex beschreibt SUSSMANN als schiefrige, ebenflächige, dolomitische, eisen-schüssige glimmerführende Mergelkalke, denen dünn-blättrige Schieferpartien eingelagert sind.

Die Erze treten in dieser Gesteinsabfolge lagerartig auf, wobei jedoch auch kluftförmig-gangartige Vererzungen zu beobachten sind. Es treten mehrere (bis zu 5) lagerartige Vererzungen auf, die eine unterschiedliche Erzzusammensetzung (Bleiglanz – Zinkblende – Galmei – Markasit – Spuren von Wulfenit) aufweisen. So beschreibt SUSSMANN z. B. eine 1,5 m mächtige Vererzung mit einem durchschnittlichen Zinkgehalt von 7 %, eine schichtige Galmeivererzung von 30–40 cm Mächtigkeit („weißer Gang“), ferner bleibetonte lagerartige Vererzungen. Die Erzführung tritt immer wieder im Gefolge mit den erwähnten dünnblättrigen Schieferpartien auf.

Nach den Einbauen zu schließen, kann eine Saigerhöhe der Erzführung von rd. 300 m angenommen werden. Über das Verflächen der Erze gibt es kaum Angaben.

Vom Verfasser wurden 1983 Dünn- und Anschliffuntersuchungen an Haldenproben durchgeführt. Die Paragenese Bleiglanz – Flußspat – Schwerspat – Zinkblende – detritärer Quarz in dolosparitischem Pflastergefüge wurde beobachtet. Detritärer undulös auslöschernder Quarz tritt in innigster Verwachsung mit Flußspat und Bleiglanz auf.

Im Zuge der Untersuchung anisischer Sedimentprofile im Drauzug wurde von CERNY (1974) die Gesteinsabfolge im Bereich des Bergbaues (Profil „Holztratten“) aufgenommen.

Die mikrofaziell-geochemische Bearbeitung verfolgte das Ziel, die Gesteinsabfolge der „Bleiwände“ bei Steinfeld mit der Gesteinsabfolge Kolm/Dellach zu vergleichen.

Die aufgenommene Dolomitabfolge des Alpinen Muschelkalkes streicht NE-SW und fällt mit 30° – 40° nach NW.

Die aufgeschlossene Mächtigkeit des Profiles, in welchem sich mehrere verbrochene Schurfstollen befinden, beträgt 135 m.

Folgende lithostratigraphische Gliederung (Hangend – Liegend) wurde getroffen:

37,0 m: gebankte bis plattige, graue, körnige Dolomite
51,0 m: massige, graubraune, dichte Dolomite.

1,7 m: Plattendolomit – Schiefer-Folge mit Schiefermächtigkeiten von 2 bis 5 cm.

6,5 m: gebankte, graubraune, laminierte Dolomite mit stromatolithischen Texturen.

15,0 m: massige, körnig dichte Dolomite.

23,0 m: plattige bis blättrig brechende graue Dolomite, die lateral oftmals in dickbankige Partien übergehen (Intraklastdolomite und Feinbreccien).

Die liegendsten Partien werden von mylonitischen Dolomiten in tektonischem Kontakt zum Kreuzeckkristallin aufgebaut.

Geochemie der Profile „Bleiwände“ und „Kolm“

74 Gesteinsproben aus beiden Profilen wurden geochemisch auf Pb, Zn analysiert, die erhaltenen Daten den lithologisch-mikrofaziellen Typen zugeordnet.

Von der Gesamtprobenzahl ausgehend sind innerhalb der Dolomittypen kaum geochemische Abweichungen festzustellen (\bar{x} Pb: 44 ppm; \bar{x} Zn: 139 ppm). Auffallend ist jedoch das Ansteigen der Pb-Werte in Schieferproben, die das Vierfache des Gesamtmittels

Tabelle 13.

Pb-Zn-Gehalte der untersuchten lithologischen Typen in den Profilen „Bleiwände“ Steinfeld und Kolm/Dellach (arithmetisches Mittel, r = Korrelationskoeffizient).

	Pb [ppm]	Zn [ppm]	r	Pb : Zn
Schieferlagen	174	182	+0,9	1 : 1,04
Braune Dolomite	45	105	+0,8	1 : 2,3
Plattige Dolomite	34	149	+0,2	1 : 4,3
Massige Dolomite	32	127	+0,5	1 : 3,9
Steinfeld (Summe)	42	142	+0,2	1 : 3,3
Kolm/Dellach (Summe)	45	135	+0,5	1 : 3,0
Gesamtdaten	44	139	+0,3	1 : 3,1

betrugen. Der Zusammenhang Pb/Zn in Schiefern äußert sich sowohl im Pb-Zn-Verhältnis (1 : 1) als auch in der hohen Korrelation Pb/Zn ($r = +0,9$)

Aufgrund der Beschreibungen von SUSSMANN (1901) und WIEBOLS (1943) treten die Vererzungen jeweils in gebankten Dolomiten mit feinblättrigen Schieferlagen auf. Die Schieferlagen, deren petrographische Zusammensetzung (? Tuffite, ? detritärer Einfluß) zwar ungeklärt ist, eignen sich als lithostratigraphischer Leithorizont. Die Bindung der Pb-Zn-Vererzungen an diese Horizonte lässt erkennen, daß eine zeitgleiche Pb-Zn-Mineralisation vorliegt, wobei jedoch in Steinfeld die Vererzung bleibetont, in Kolm/Dellach zinkbetont ist.

SCHROLL (1954) analysierte folgende Spurenelementgehalte aus den Bergbauen.

Die Bleiglanze von Dellach weisen Silbergehalte von 1–50 ppm, Arsengehalte von 500–1000 ppm, Sb-Gehalte bis 30 ppm, Thalliumgehalte von 30 ppm auf. Zum Vergleich weisen Bleiglanze von Steinfeld folgende Gehalte auf: 100 ppm Ag, 50 ppm Sb; Tl, As liegen unter der Nachweisgrenze.

Zinkblenden von Dellach (Steinfeld) sind geochemisch folgend charakterisiert: Mn 1000 ppm (300), Fe 500 ppm–1 % (50–3000), Cd 1000–3000 ppm (1000), Ge 50 ppm (10–50). Die Gehalte an As, Sb, Tl, In, Hg, Ni, Co liegen unter der Nachweisgrenze.

5.3.1.6. Beispiele von anisischen Pb-Zn-Vorkommen in den Nördlichen Kalkalpen

5.3.1.6.1. Annaberg und Schwarzenberg (NÖ)

Die Pb(Zn-Ag-Cu)-Vererzungen in den östlichen niederösterreichischen Kalkvoralpen werden nach HAGENGUTH et al. (1982) aufgrund der stratigraphischen Position in zwei Gruppen aufgeteilt. Das Vorkommen Hochegg und Galmeikogel bei Annaberg und die Vererzung Arzriegel bei Trübenbach/Ötscher liegen in anisischen Karbonatgesteinen. Das Vorkommen Schwarzenberg bei Türnitz, Brandmauer bei Puchenstuben (SCHULZ &

KOSTELKA, 1965) und Kohlanger bei Fein/Mürz betreffen ladinischen Wettersteinkalk bzw. Wettersteindolomit. Die tektonische Position der auftretenden Vererzungen ist von TOLLMANN (1976) in HAGENGUTH et al. (1982) beschrieben.

Die Vererzung Annaberg tritt in drei verschiedenen, räumlich benachbarten tektonischen Einheiten auf. Sie betrifft in der Sulzbachdecke den Annaberger Kalk, in der Unterbergdecke den Gutensteiner Kalk und untergeordnet Wettersteindolomit der Reisalpdecke. Die Erze treten, soweit sie aufgeschlossen sind, als Kluftvererzung auf. Da fast nur sekundäre Erzminerale vorliegen, der Bergbau also wahrscheinlich keine bedeutende Sulfidvererzung angetroffen hat, haben Aussagen über die Entstehung der Vererzung rein hypothetischen Charakter.

Die Pb-Zn-Vererzung Schwarzenberg befindet sich im stratigraphisch liegenden Anteil des Wettersteinkalkes. Sie ist dort an ein relativ junges, hauptsächlich Ost-West-gerichtetes Kluftsystem gebunden. Der Vererzungscharakter spricht für eine postsedimentäre Erzreicherung.

Haldenstücke mit schichtigen Erztexturen (HAGENGUTH et al., 1982), die den Reiflinger und/oder Gutensteiner Schichten zugerechnet werden können, lassen eine syngenetische – syndiagenetische Erzreicherung in anisischen Schichtgliedern vermuten. Diese Mineralisationen wurden vermutlich mobilisiert und im Kluftsystem des Wettersteinkalkes umgelagert.

Die von HAGENGUTH et al. (1982) gegebenen Zusammenstellung der Mineralparagenesen der Bergbaureviere Annaberg und Schwarzenberg läßt erkennen, daß die an anisische Gesteine gebundenen Erzparagenesen sehr viel reichhaltiger sind (Ag, Cu) als die an ladinische Gesteine gebundenen Paragenesen.

Fluorgehalte in Gesteinen und Erzen konnten analytisch (20 ppm bis max. 0,1 % F) nachgewiesen werden, Mineralbildungen fehlen. Wie aus nachstehender historischer Zusammenfassung der Bergbauaktivitäten (HAGENGUTH et al., 1982) der beiden Bergbaureviere Annaberg und Schwarzenberg hervorgeht, galt das Hauptinteresse der Bergbautreibenden dem Silber, untergeordnet dem Blei, Zink und Kupfer.

Analysen auf Silber von Einzelproben aus den Jahren 1807 bis 1954 zeigen streuende Werte, die von 4 ppm bis 2 % Silber reichen.

Die Vererzung von Annaberg wurde 1751 von einem Gastwirt entdeckt, dessen Proben von „k. k. Probiramt in Wien“ als reich an Silber befunden wurden. Bereits 1752 wurde mit den Aufschließungsarbeiten begonnen, und zwar durch Anschlagen des St. Theresien-Stollens im St. Anna-Grubenfeld am Südosthang des Hocheck. 1753 wurde am Ostabhang des Hocheck die St. Joachims-Grube durch Anschlagen des gleichnamigen Stollens angefahren. Bis zur ersten Prägung eines Ausbeutetalers (1758) wurden etwa 1600 kg Feinsilber gewonnen. Trotz einer anschließenden Abnahme der Silberausbeute – die Verschuldung stieg deshalb enorm an – wurde 1760 eine Schmelzhütte im Lasingbachtal errichtet. Bis dahin waren die Erze zur Verhüttung nach Zarnovice in Ungarn gebracht worden. Mit der Errichtung der „Annaberger Hütte“ kam es auch zur Verarbeitung von Erzen aus fremden Gruben. Neben Bleiglanz von Bleiberg/Kärnten und später auch vom Schwarzenberg, von der Frein und wahrscheinlich von der Brandmauer wurde z. B. auch Schladminger Berggold verhüttet. Ab 1762 kam es durch Produktionssteige-

Tabelle 14.

Erzparagenesen im Bergbau Annaberg (anisische Stufe) und Schwarzenberg (ladinische Stufe).

Annaberg	Schwarzenberg
Bleiglanz, Zinkblende	Bleiglanz
Gediegen Silber, Chlorargyrit	Zinkblende
Silberglanz, Pyrargyrit	Cerussit
Stephanit, Cerussit	Anglesit
Wulfenit, Mimetesit	Pyromorphit
Vanadinit, Desclozit	Mimetesit
Smithsonit, Hydrozinkit	Wulfenit
Hemimorphit, Zinkit	Smithsonit
Fahlerz, Malachit	Hydrozinkit
Azurit, Pyrit	Hemimorphit

rung wieder zu einer ergiebigen Silberausbeute, die 1765 zur Prägung eines zweiten Ausbeutetalers führte (Feinsilberproduktion in der Zeit von 1762 bis 1765 ca. 365 kg). Neben der Silbererzförderung wurden auch erhebliche Mengen Zinkerz ausgebracht, was 1765 zur Errichtung eines Messingwerkes in der Schmelz führte. Das benötigte Kupfer wurde aus Spitz an der Donau und aus Ungarn herangeführt. Ebenfalls 1765 wurde am Galmeikogel ein neues Bleiglanz- und Zinkvorkommen entdeckt (St. Joannis – Nepomuceni-Fundgrube), das vorerst die Rentabilität der Messingfabrik sicherte. 1767 kam es zur letzten Gewinnausschüttung des Bergbaues, der von da an passiv arbeitete. In den Jahren von 1768 bis 1783 wurden nur etwa 280 kg Feinsilber aus den Annaberger Erzen gewonnen. Auch die Zinkerzförderung verlor wieder an Bedeutung, sodaß 1780 die Messingfabrik in ein „Kupferauszainwerk“ umgewandelt wurde. 1805 oder 1814 wurde der Bergbau endgültig eingestellt, und 1821 kam es zur Versteigerung der Werkskomplexe und wahrscheinlich zur Schließung des bestandenen k. k. Hüttenamtes zu Annaberg.

Die erste urkundliche Erwähnung besagt, daß der Bergbau Schwarzenberg 1623 begonnen und in der Folge wieder aufgelassen wurde. Im Jahre 1662 verlangte Johann Baptist von Khunitz von Kaiser Leopold I. ein altes, verlegenes Bergwerk zu erheben. Er bekam Bescheid, daß das Aerarium gedenke, den Abbau selbst zu betreiben. 1687 kam es dann zur Wiederaufnahme der Arbeiten durch Graf Theodor von Sinsenburg, welcher 1000 „Centner“ (= 56.000 kg) Blei lieferte. 1705 ging der Bergbau in den Besitz des Fürsten Liechenstein über. Erst durch die zweite maria-thereianische Bergwerkserhebung, die allen hier behandelten Bergwerken wieder zu Bedeutung verhalf, wurde der Blei-Zink-Abbau 1774 erneut aufgenommen. Zwischen den Jahren 1776 und 1780 wurden ca. 460 Tonnen Reinblei erzeugt. Nach diversen Angaben enthielt das derbe Bleierz 60 bis 70 Pfund (= 33,6–39,2 kg = 60–70 %) Blei und ein Viertelloth (= 4,37 g = 78 ppm) Silber im Centner (= 56 kg). So wurden 1783 aus dem Schwarzenberger Revier ca. 22 kg Feinsilber bei der Annaberger Hütte eingelöst. Der Bergbau wurde bis 1813 betrieben; er war bis 1805 rentabel, von da an passiv.

Zum heutigen Zeitpunkt lassen die von HAGENGUTH et al. (1982) zusammengetragenen lagerstättenkundlichen Ergebnisse erkennen, daß in den niederösterreichischen Voralpen gelegenen Erzvorkommen kein wirtschaftliches Interesse erwecken.

Die angeführten Paragenesen und die Form der Erzkörper sprechen für eine Mobilisation von Pb(Zn-, Ag-, Cu-)Erzen aus tieferen geologischen Einheiten (Permoskyth), wobei salinare Einwirkungen aus dem Untergrund nicht auszuschließen sind (vgl. Pb-Zn-Vorkommen Arikogel, Hallstatt).

Untersuchungen von Schwefelisotopen an Zinkblenden und Bleiglanzen wurden von GÖTZINGER & PAK (1983) durchgeführt.

Kluftmineralisationen (Pb, Zn) und „sedimentäre“ anisische Bleiglanze von Schwarzenberg ergaben negative Schwefelisotopenwerte, Zinkblenden aus Annaberg positive Werte. Eine umfassende Interpretation ist noch ausständig.

Aussagekräftig sind die Schwefelisotopenuntersuchungen an Evaporiten der Trias, Anis (Coelestin und

Gips), die ausnahmslos permisches Alter aufwiesen (GÖTZINGER & WEINKE, 1984).

Aufgrund von umfangreichen Untersuchungen an Fluoritmineralisationen in Klüften der Gutensteiner Schichten der Nördlichen Kalkalpen (GÖTZINGER & WEINKE, 1984) sind tieftemperierte Lösungen salinaren Ursprungs (unterlagernde Evaporite) für Kluftmineralisationen verantwortlich zu machen.

Der primäre Stoffbestand stammt aus fluor(it)reichen bituminösen Partien der Gutensteiner Schichten. Für Bleiglanz und Zinkblende kann ein vergleichbarer Entstehungsgang angenommen werden, da bituminöse Gutensteiner Schichten erhöhte Blei- und Zinkgehalte aufweisen können.

5.3.1.6.2. Das Pb-Zn(Cu)-Vorkommen am Arikogel (Hallstättersee, Salzkammergut)

Der „Ari- oder Erzkogel“ liegt am Nordufer des Hallstätter Sees. Über das Vorkommen bzw. über den alttümlichen Pb-Zn-Cu-Bergbau liegt keine moderne lagerstättenkundliche Bearbeitung vor. KEFER et al. (1950) geben in einer Abschlußarbeit der Berg- und Hüttenschule Leoben einen Einblick in die historische Bergbausituation. HASLINGER (1962), GÖTZINGER (1985) geben einen mineralogischen Überblick.

An der Grenze Wurfener Schichten zu Gutensteiner Schichten sind Dolomite mit brauner Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit, Markasit vererzt. HASLINGER (1962) gibt weiters Fahlerz, Kupferkies, Bornit, Covellin und Kupferglanz an. Nach GÖTZINGER (1985) treten ferner eine Reihe von Oxidationsmineralien wie Cerussit, Anglesit, Azurit und Malachit auf. GÖTZINGER (1985) führt die ausgeprägte Oxidationszone auf ehemals höheren Wasserstand des Hallstättersees zurück.

Im Jahre 1801 wurde nach KEFER et al. (1950) der Kogel von der Nordseite unter der unmittelbaren Kontaktzone des Wurfener Schiefers und des Ramsaudolomites angefahren. Der Betrieb wurde ein Jahr später eingestellt. 1853 trieb man Stollen an der Südseite des Arikogels. 1870–1871 wurde der an der Nordseite liegende Stollen nachgerissen und weiter vorgetrieben. Obwohl er fündig wurde, stellte man ihn ein. Die Einstellung des Betriebes ist nach KEFER et al. (1950) keineswegs auf Erzarmut oder auf den schon erreichten Grundwasserspiegel zurückzuführen, sondern auf die Zusammensetzung des Erzes und damit der von ihr abhängigen Verhüttung.

Analysen von Erzproben (Analytik Aluminiumwerk Steeg aus dem Jahre 1935) ergaben z. B. 13,3 % CuS, 9,1 % PbS, 42,2 % ZnS, 31,5 % FeS₂ und dokumentieren hiemit den Kupfer(Eisen)-Reichtum der Pb-Zn-Erze. Laut Überlieferung soll das geförderte Erz in der Schmelzhütte, dem heutigen Anwesen Untersee Nr. 3, verhüttet und die Produkte in die Steiermark mit Fuhrwerken transportiert worden sein. Da es sich um ein Bunterz handelt, kann man sich nur ein Ausschmelzen des Bleis eventuell des Zinks vorstellen, während das Kupfer und der Eisenkies als „Ofensau“ erhalten blieben und auf den Sturz gelangten.

Die Einstellung des Betriebes dürfte nach KEFER et al. (1950) darauf zurückzuführen sein, daß das Ausbringen nur eines Metalles zu gering erschien und sich eine entsprechende Aufbereitung nicht lohnte bzw. nicht bekannt war (Flotation).

HASLINGER (1962) nimmt für die Vererzungen eine submarin-exhalativ-sedimentäre Entstehung an. Nach

Ansicht des Verfassers ist für die kleinräumige und metallarme Vererzung eine Umlagerung aus den unmittelbar liegenden, permotriadischen Schichtgliedern denkbar (vgl. Bergbau Schwarzenberg, niederösterreichische Kalkalpen). Das unterlagernde Salinar könnte für die Mobilisation aus dem geologischen Untergrund verantwortlich gemacht werden.

5.3.1.7. Beispiele anischer Pb-Zn-Vorkommen in den Nordtiroler Kalkalpen

5.3.1.7.1. Der Bergbau St. Veit im Tegestal

Die Pb-Zn-Lagerstätte St. Veit in den östlichen Lechtaler Alpen gelegen, tritt in Gesteinen des „Alpinen Muschelkalkes“ (anische Stufe) auf. Der Bergbau ist an der Nordflanke der Heiterwand, rd. 8 km westlich Nassereith, im Tegestal gelegen.

Die erstmals um das Jahr 1530 verliehene Grube „St. Pfaidti“ hatte, wie die gesamten Nordtiroler Pb-Zn-Bergbaue, ihre Blütezeit im 16. und 17. Jahrhundert. Abgesehen von dem Zeitraum zwischen 1760 und 1820 wurde, wenn auch oftmals nur auf Haldenkuttung beschränkt, bis zum Jahre 1929 in der Lagerstätte gearbeitet.

Die allgemein übliche Auffassung, daß die alten Bergbaue nur wegen ihres Silbergehaltes bebaut wurden, trifft für den Bergbau St. Veit nicht zu. Das Berggericht Imst verlieh 1517 ein eigenes Grubenmaß für Galmei. Ab 1622 wurde Galmei von St. Veit an die Nassereither Messinghütte geliefert.

Der Bergbau wechselte im Laufe der Jahrhunderte oftmals seinen Besitzer. Viele von ihnen, insbesondere die Fugger, betrieben Raubbau an dieser recht erziechen Lagerstätte.

Um 1919 wurde unter der Gewerkschaft Rotenstein eine Modernisierung des Bergbaues eingeleitet (Unterfahrungsstollen, Gleisbetrieb, etc.).

1929 waren 176 Mann im Bergbau beschäftigt, die Jahresproduktion betrug 53.270 (1 Wiener Zentner = 50 kg) Bleiglanz und 91.000 Zentner Zinkblende und Galmei. Die Aufbereitung, die direkt im Anschluß an den Unterfahrungs- und Förderstollen (Anton-Stollen) errichtet wurde, war für eine Tagesproduktion von 2,5 t Zinkblendekonzentrat und 0,5 t Bleikonzentrat ausgelegt. Nach SRBIK (1929) verarbeitete die Aufbereitung in den Jahren 1925 bis 1929 38.017 t Hauwerk mit 4.550 t ZnS- und 245 t PbS-Konzentrat. Der Hauwerksinhalt (1925–1929) betrug im Mittel 10,5 % Zn und 1,2 % Pb.

Der Abbau erfolgte in einer sich über 500 m im Streichen erstreckenden „Erzkalkscholle“. Die Erzzone wurde auf einen Bereich von 120 m bis 270 m horizontaler und 180 m vertikaler Erstreckung aufgeschlossen. Die Vererzungsfläche betrug rd. 164.000 m².

Die Verkaufsanalysen der ZnS-Konzentrate schwanken zwischen 40 % und 45 % Zn-Gehalt, die PbS-Konzentrate enthielten zwischen 59 % und 67 % Pb, wobei die Silbergehalte im Konzentrat zwischen 172 g/t und 203 g/t betrugen.

1929 wurde der Betrieb eingestellt.

In den Jahren 1932–1942 wurden von der Bleiberger Bergwerks-Union noch Untersuchungsarbeiten durchgeführt. Die Erzvorräte wurden damals mit rd. 15.000 t ausgewiesen. Die für heutige Verhältnisse technisch greifbaren Erzreserven dürften nach Ansicht des Verfassers ein Vielfaches betragen.

Geologie der Lagerstätte und ihrer Umgebung

Die grundlegenden geologisch-tektonischen Aufnahmen im Heiterwandgebiet gehen auf AMPFERER (1912, cit. in WETZENSTEIN, 1966) zurück. Montageologische Arbeiten liegen von CLAR (1929), HIESSLEITNER (1933), STIER (1942) vor. WETZENSTEIN (1966 und 1972) gab im Rahmen einer Diplomarbeit eine umfassende Darstellung der Geologie der Lagerstätte, wobei erzpetrographische und geochemische Untersuchungen im Vordergrund standen.

In den östlichen Lechtaler Alpen ist der Alpine Muschelkalk das tiefste aufgeschlossene Schichtglied der alpinen Trias. Die Untergrenze ist stets tektonischer Natur und als Aufschiebung über Hauptdolomit ausgebildet. Im Bereich der Lagerstätte erreicht der Alpine Muschelkalk Mächtigkeiten von 120 m (150 m bis 170 m).

Die erzführende Gesteinsserie gehört in ihrer großtektonischen Stellung der Inntaleinheit an und liegt tektonisch über der Lechtal-Einheit.

Die Abfolge innerhalb der Lechtaleinheit, welche im Antonstollen (Abb. 33) aufgeschlossen ist, wird aus folgenden Gesteinen aufgebaut: Hauptdolomit (Nor), Kössener Schichten (Rhät), Adneter Kalke, Allgäuschichten, Radiolarit, Bunte Aptychenschichten. Die Abfolge reicht somit von der Obertrias bis an die Grenze Jura/Kreide. Innerhalb der Allgäuschichten treten Mangan-schiefer auf, die Mächtigkeiten von 1–10 m aufweisen.

Die Inntaleinheit wird von folgenden Gesteinen aufgebaut: Alpiner Muschelkalk, Partnachschichten (Mächtigkeit 200 m) mit Einschaltung von Partnachkalken, Wettersteinkalk (rd. 1000 m Gesamtmaßigkeit) und Raibler Schichten (Mächtigkeit: 300 m).

Die Abfolge des Wettersteinkalkes läßt aufgrund der Faziesausbildung eine Dreigliederung in Unteren, Mittleren und Oberen Wettersteinkalk erkennen.

Der Untere Wettersteinkalk (Mächtigkeit rd. 300 m) wird aus massigen Kalken in Riffazies, der Mittlere Wettersteinkalk (600 m mächtig) aus grobbankigen Karbonaten (back-reef Fazies) aufgebaut.

Der Obere Wettersteinkalk besteht aus gut gebankten Karbonaten, die von SCHNEIDER (1953), TAUPITZ (1954) als „Sonderfazies“ bezeichnet wurden.

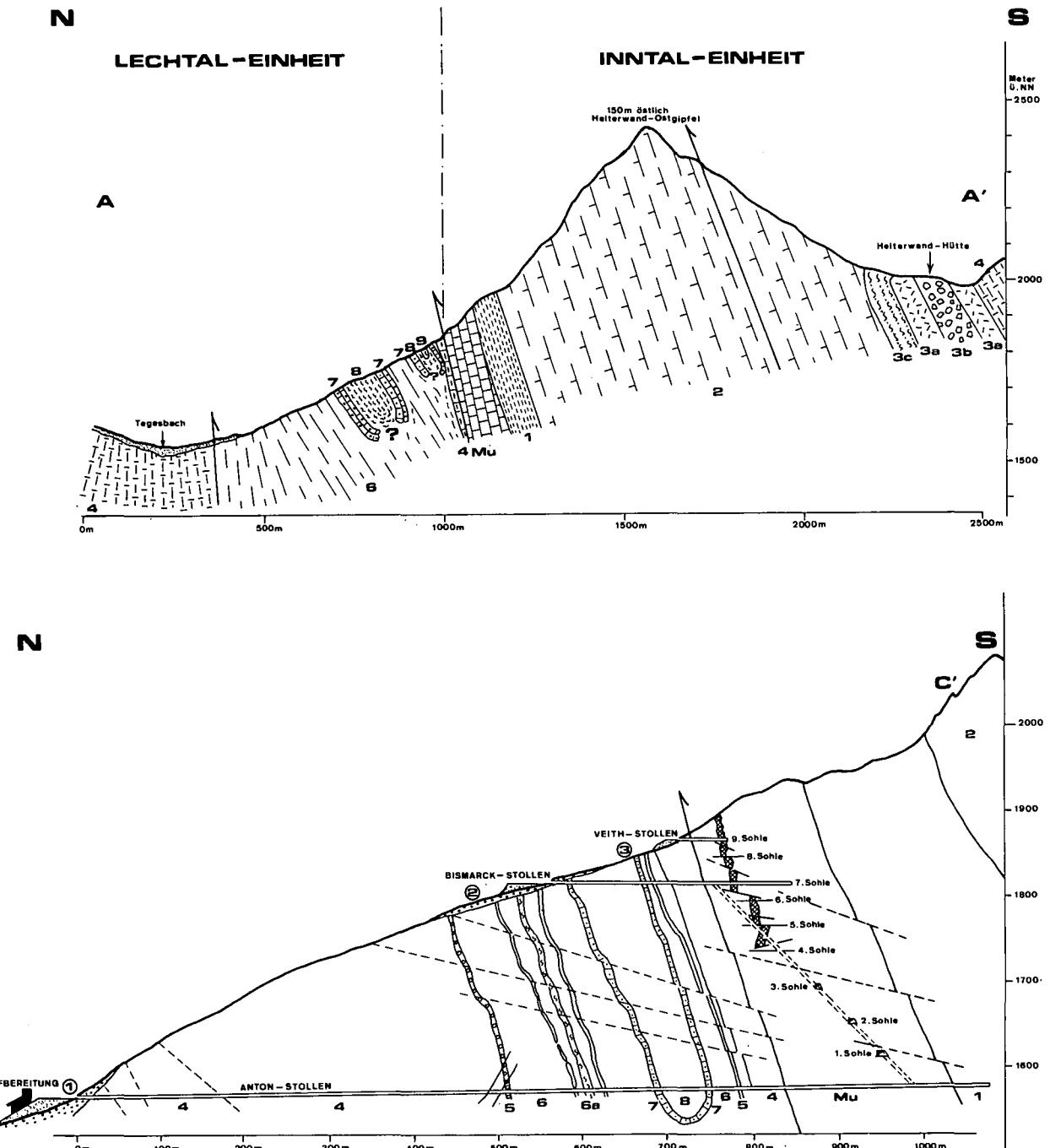
Pb-Zn-Vererzungen treten an der Südseite der Heiterwand auf. Die lagunaren Sedimente sind durch calcisch-dolomitische Zwischenschichten („Camgite“), sedimentstrukturreiche Abfolgen (Algenkrusten, Resedimente, Schrägschichtung) geprägt.

Der Alpine Muschelkalk als Träger der Pb-Zn-Erze wird von WETZENSTEIN (1966) nach lithostratigraphischen Gesichtspunkten folgend gegliedert (Abb. 34):

- Massiger bis grobgebankter Alpiner Muschelkalk als liegendste Einheit.
- Hornsteinfreie Bankkalke.
- Knollenkalke als hangendste Einheit.

Grüne Mergel (fragliche Tuffnatur) treten in der liegendsten und hangendsten Gesteinseinheit auf.

Besonderes lithologisches Kennzeichen der Abfolge sind „Spatzonen“, die sowohl im liegenden Profilabschnitt als auch in den Knollenkalken horizontbeständig auftreten. Diese Spatzonen werden von makrokristallinen (mm- bis dm-körnigen) Gesteinen gebildet, die mit Mächtigkeiten bis zu 10 m horizontbeständig aber auch nestförmig im Gesteinsverband auftreten. Die Spatzonen werden im wesentlichen aus Dolomitspat



aufgebaut; untergeordnet treten Kalkspat, Flußspat, idiomorphe Quarze, Zinkblende und Bleiglanz auf.

Die Pb-Zn-Erzführung in den Spatzen erreicht jedoch nur selten bauwürdigen Charakter.

Über die Genese der Spatzone liegen keine Untersuchungen vor. Die Form der Spatzone und die vorliegenden Mineralparagenesen lassen jedoch eine schicht-konkordante spät- bis epigenetische Dolomitisierung als Verursacher möglich erscheinen.

Die ZnS/PbS-Erzführung tritt innerhalb eines 40 m mächtigen Horizontes – dessen Liegengrenze die Aufschiebung der Inntaleinheit auf die Lechtaleinheit ist – im massigen bis grobgebankten Alpinen Muschelkalk auf. Die erzführende Zone ist als ein 700 m langer Streifen verfolgbar. Von Osten nach Westen ist eine Abnahme der Erzführung zu verzeichnen. Das Einfallen der Erzkörper entspricht dem Schichtfallen, wobei die Erzkörper nach Osten abtauchen. Aus den Archivunter-

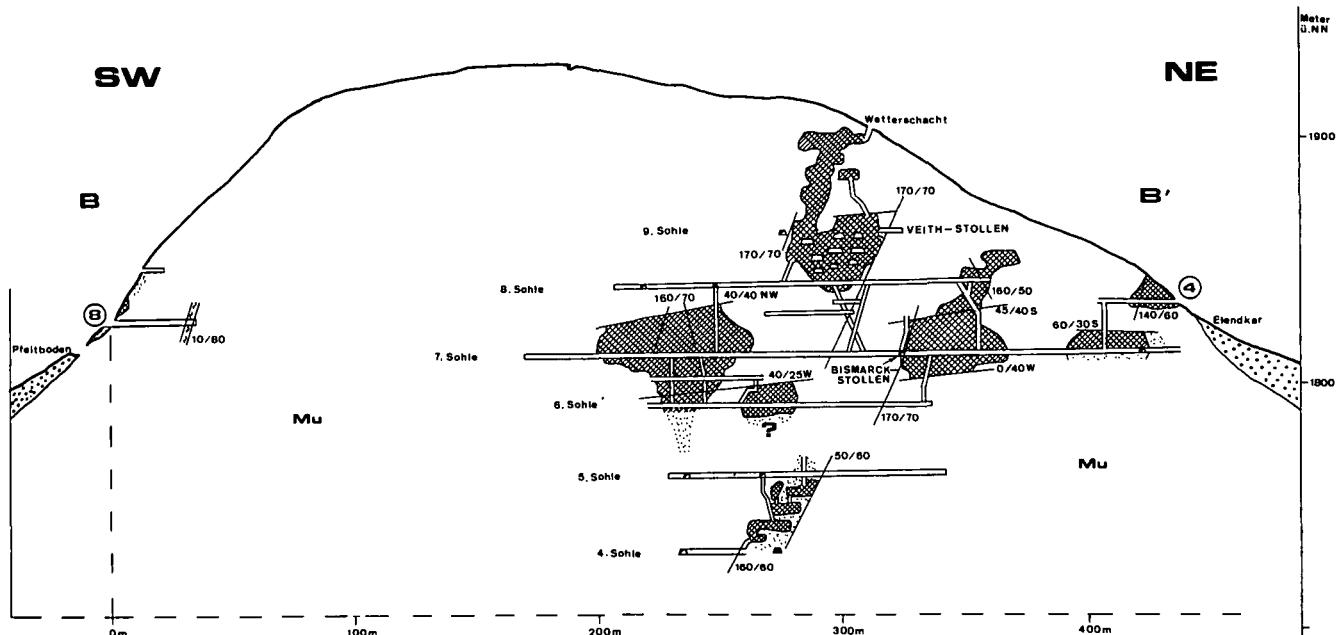
lagen geht hervor, daß 5 bis 6 stockförmige Erzkörper vorhanden waren. Die Grubenrisse zeigen, daß besonders an Kluftscharungen Erzkonzentrationen stattfanden. Die stockförmigen Erzkörper weisen jedoch eine strenge Horizontbeständigkeit auf.

Es treten 3 Typen von Vererzungen auf:

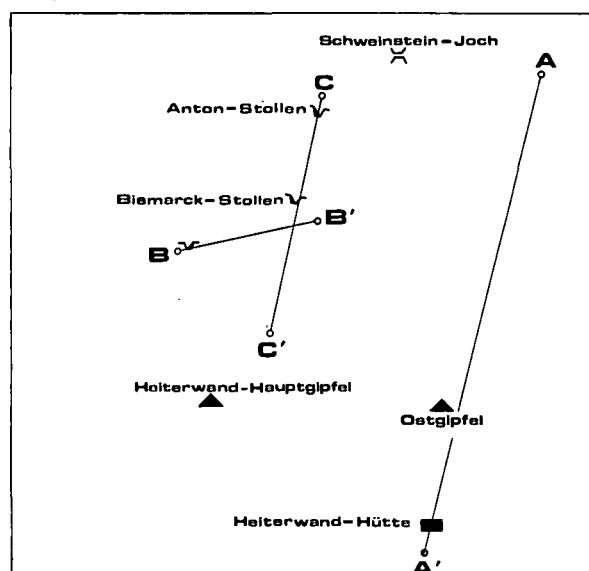
- Zinkblenderhythmite mit wenig Bleiglanz.
- Zinkblendedederberze.
- ZnS/PbS-Sprenkelerze in Spatzen.

Die Zinkblenderhythmite zeigen vielerorts Texturen, die auf eine „sedimentäre“, syndiagenetische Entstehung schließen lassen, während ZnS-Derzberze und ZnS/PbS-Sprenkelerze in Spatzen auf Mobilisationserscheinungen schließen lassen. Kleinräumige Netzwerk- und Kluftvererzungen stehen mit vorgenannten Vererzungstypen in engem Zusammenhang.

Bleiglanz tritt stets sammelkristallisiert, butzenförmig auf.



LAGE DER PROFILE



- 1 Partnachschichten
- 2 Wettersteinkalk
- 3a Reibler Dolomit
- 3b Reibler Rauwacke
- 3c Reibler Sandstein u. Schieferton
- 4 Hauptdolomit
- 5 Kössener Schichten
- 6 Allgäuschichten
- 6a Manganschichten
- 7 Radiolarit
- 8 Bunte Ptychenschichten
- 9 Grüne Ptychenschiefer
- Mu Alpiner Muschelkalk
- Quartär
- Schiefer
- Erz, anstehend
- Erzabbau
- Ifd. Nr. auf der Karte "Erzvorkommen und Bergbau"

Abb. 33.

Geologisch-tektonische Profile durch die Pb-Zn-Lagerstätte St. Veith, Tegetal.
Nach WETZENSTEIN (1966).

Die Produktionszahlen sowie die heute noch zu beleuchtenden Erzaufschlüsse in der Grube, obertage und auf Halden lassen erkennen, daß Zinkblende bei weitem überwiegt ($Pb : Zn = \text{ca. } 1 : 20$).

Die erzmikroskopischen Untersuchungen von WETZENSTEIN (1966 cum lit.) zeigen, daß neben den Zinkblende-Bleiglanzvererzungen eine Reihe von mineralogenetisch interessanten komplexsulfidischen Paragenesen auftreten:

- Paragenese $ZnS - FeS_2 - Calcit - Quarz$.
- Paragenese $ZnS - PbS - Cu/Sb - Calcit - Quarz$
- Paragenese $PbS - ZnS - Dolomit - Flußspat - Quarz$
- Paragenese $ZnS - PbS - Cu - As - Sb - Bi - Ag - Mo$
- Paragenese $ZnS - FeS_2 - PbS - Dolomit - Calcit - Fluorit - Quarz$.

WETZENSTEIN (1966) beschreibt an akzessorischen Buntmetallparagenesen: Fahlerze (Tetraedrit und Tennantit), Enargit, Stibioluzonit, Luzonit, Kupferglanz, Bournonit, Schapbachit (β -AgBi₂S). An Erzmineralen der Oxidationszonen treten Greenockit, Limonit, Cerussit und Galmei auf.

Die Bleiglanze, welche in Erzrhythmen auftreten, sind stets an Cu-As-Sb angereichert, während Bleiglanze in Spatzen generell frei von Cu-As-Sb-Begleitmineralen sind.

Bei den Zinkblenden sind es die schaligen Texturen, die mit Fahlerzen und Spießglanzen vergesellschaftet sind; Zinkblende-Derberze sind frei von Begleitmineralen.

Die von SCHROLL (1954) analysierten Spurenelementgehalte der Bleiglanze und Zinkblenden dürften aufgrund der Vielfalt der auftretenden Erzparagenesen nicht signifikant sein. SCHROLL gibt für Zinkblenden

**SÄULENPROFILE DES ALPINEN MUSCHELKALKES
IM BEREICH DER Pb/Zn-LAGERSTÄTTE ST. VEIT
(nach WETZENSTEIN)**

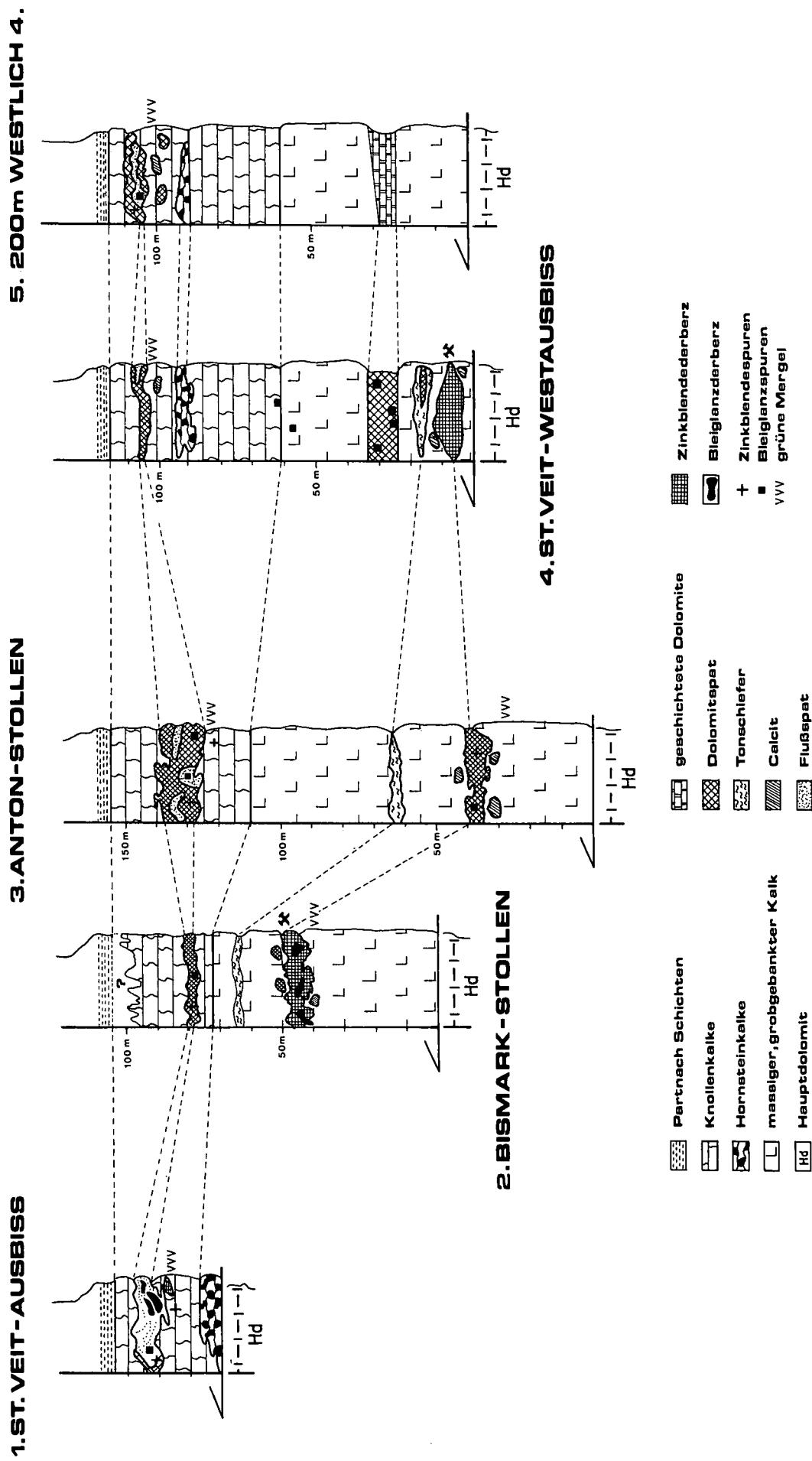


Abb. 34.
Korrelation der erzführenden Schichten im Bergbau St. Veith.
nach WETZENSTEIN (1966).

10 ppm Mn, 1000–5000 ppm Fe, 30–50 ppm Ag, 3000 ppm Cd, 10–100 ppm Ga, 100–300 ppm Ge, 100–500 ppm As, 50–100 ppm Sb an; Bleiglanze weisen 100 ppm Ag, 300 ppm Sb, 5 ppm Bi auf.

Die vielerorts in der Lagerstätte St. Veit auftretenden Erzrhythmite weisen auf eine syngenetische Erzausfällung hin. Wie HEGEMANN (1960) anhand geochemischer Untersuchungen nachweisen konnte, zeichnen sich in den Nördlichen Kalkalpen die in anisischen Schichtgliedern liegenden Pb-Zn-Erze durch einen höher temprierten Stoffbestand aus. In benachbarten Pb-Zn-Lagerstätten des hangenden Wettersteinkalkes sind derartig vielgestaltige Paragenesen noch nie nachgewiesen worden.

Dreht man nach WETZENSTEIN (1966) die Haupterzonen in St. Veit in ihre ursprüngliche Lage zurück, so kämen sie auf Nord–Süd verlaufende Linien zu liegen. Diese Linien könnten Austrittsspalten submarin-exhalativer Thermen entsprechen. Die Bildung der Spatzenzonen sieht WETZENSTEIN im Zusammenhang mit der Tätigkeit erzärmer Thermen, welche eine Dolomitisierung, Calcitisierung und Flußspatisierung bewirkten.

5.3.2. Der Wettersteinkalk(-dolomit) als Pb-Zn-Erzträger

Der hangende Wettersteinkalk des Drauzuges und der Nordtiroler Kalkalpen birgt eine Reihe von altersher bergwirtschaftlich wichtigen Pb-Zn-Vorkommen. Dem Wettersteinkalk stratigraphisch äquivalente Schichtglieder der Südalpen sind ebenfalls Träger von Pb-Zn-Erzen. Auf österreichischem Gebiet steht derzeit nur die Grube Bleiberg-Kreuth in Betrieb. In Jugoslawien ist es der Bergbau Mezića, in Italien der Bergbau Raibl, die in Produktion sind. Der Bergbau Salafossa – seit 1987 ausgeerzt – und der Bergbau Gorno – Ende der 70er Jahre stillgelegt – gehören einem etwas tieferen stratigraphischen Niveau an (siehe Kap. Pb-Zn in den Dolomiten).

FRIEDRICH (1953) gibt in seiner Erläuterung zur Erzgangerstättenkarte der Ostalpen

- 83 Pb-Zn-vorkommen, die in den Nördlichen Kalkalpen, vornehmlich Nordtiroler Kalkalpen und
- 105 Pb-Zn-Vorkommen, die südlich der Zentralalpen im karbonatischen Milieu der Trias auftreten bekannt.

Ca. 10 % der genannten Vorkommen entfallen auf den „Alpinen Muschelkalk“ bzw. – aufgrund des Informationsstandes – auf nicht zuordnbaren Gesteinsabfolgen der Trias. Es verbleiben somit an die 160 Erzvorkommen, die dem „Wettersteinkalk“ zuzuordnen sind. Wenige dieser Vorkommen wiesen bzw. weisen Metallkonzentrationen auf, um sie als „Lagerstätten“ im bergwirtschaftlichen Sinne zu führen.

Nordtiroler Kalkalpen: Lafatsch, Nassereith.

Drauzug (E nach W): Mezića, Hochobir, Windisch Bleiberg, Bleiberg-Kreuth, (Jauken).

S-Alpen: Raibl, Salafossa, Gorno.

Das Metallvermögen des mineralisierten Wettersteinkaltes im österreichischen Anteil dürfte mit rd. 7 Millionen Tonnen Pb+Zn-Metall abzuschätzen sein. In den genannten italienischen Lagerstätten wurden nach OMENETTO (1979) bis dato ca. 2,5 Millionen Tonnen

Pb+Zn-Metall gewonnen. In Mezića dürfte das Metallvermögen um die 2 Millionen Tonnen liegen.

Die Erforschung des Wettersteinkalkes als „Erzträger“ nahm seinen Anfang im Bleiberger Bergbau. Bereits PARACELSUS brachte um 1534 Hinweise über die Abfolge. MOHS (1805/1806), SCHMIDT (1846), HUPFELD (1897), BRUNNLECHNER (1899, cit. in CERNY & KOSTELKA, 1987) gaben bereits präzise Beschreibungen des Gesteins und ihrer Erzführung.

Die Lithostratigraphie dieses Raumes wurde von HOLLER in einer Reihe von grundlegenden Arbeiten (1936, 1953, 1960) bekannt gemacht. HOLLER (1936) war es, der als erster die Feinstratigraphie der mitteltiatische Sedimentabfolge erkannte und diese Erkenntnisse für den Bergbau mit Erfolg nutzen konnte:

„Durch bloße Beleuchtung einer bestimmten Schichtbank in der Grube, dieselbe aufgrund gewisser gegebener Merkmale zu identifizieren, und in die ein für allemal festgelegte Stratigraphie des Erzkalkes einzuordnen ...“

das war die grundlegende Erkenntnis der räumlichen Konstanz der erzführenden Lager innerhalb eines definierbaren Sedimentstapels.

Nach ihm wird der hangende Anteil des Wettersteinkalkes (Erzkalk) in einer Mächtigkeit von etwa 60 m durch Einschaltungen in den „normalen“ Wettersteinkalk charakterisiert. Diese bestehen aus milchig-weißen Dolomiten, grünen bis graugrünen „Mergeln“ und schwarzen Breccien.

In Arbeiten von EPPENSTEINER (1965, 1970) wird eine erste Zuordnung dieser Faziesarten zu bestimmten Milieubereichen vorgelegt. SCHNEIDER (1954), TAUPITZ (1954) und MAUCHER (1954) prägten für die entsprechenden Gesteine im hangenden Wettersteinkalk der Nördlichen Kalkalpen die Bezeichnung „Sonderfazies“. Sie sahen die Pb-Zn-Erze als charakteristischen Bestandteil der Sonderfazies.

Die erwähnten „Einschaltungen“ sind in charakteristischer Weise angeordnet und in erstaunlicher Konstanz über mehrere Kilometer, insbesondere in E-W-Erstreckung, vertreten. Über die Faziesdifferenzierung in N-S-Richtung wird im Kapitel 6. „Die Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth“ näher eingegangen. Da schichtige Erzführungen wiederholt an bestimmte dieser Lagen gebunden sind, werden diese im Bergbau Bleiberg seit altersher als „Edle Flächen“ oder „Edle Lager“ bezeichnet. Sie sind insbesondere durch das Zusammenvorkommen von „grünen Mergeln“, schwarzen Breccien und milchig weißen Dolomitbänken gekennzeichnet. HOLLER (1960) leitete aus der Regelmäßigkeit der erwähnten Gesteine bereits eine gesetzmäßige, rhythmische Sedimentation ab.

Sedimentologische Detailstudien, fazielle Überlegung und paläogeographische Modellvorstellungen dieses „hangenden Wettersteinkalkes“ im Raum Bleiberg wurden ab 1970 in umfassenden Arbeiten von BECHSTÄDT (1975a, b, 1979) dargelegt. In den Karawanken wurden von HOLLER (1977), KOSTELKA (1960), BAUER (1970) detaillierte Angaben über Stratigraphie, Fazies und Erzführung des „hangenden Wettersteinkalkes“ publiziert. Die grundlegenden Arbeiten hinsichtlich Fazies und Pb-Zn-Mineralisationen in den Nordtiroler Kalkalpen gehen auf MAUCHER (1954, 1957), SARNTHEIN (1965), SCHNEIDER (1953, 1954, 1964), SCHULZ (1955, 1981), TAUPITZ (1954) zurück.

Eine Reihe von Diplomarbeiten, Dissertationen über spezielle Problemstellungen runden das Bild ab. Herzuheben sind die in jüngster Zeit entstandenen se-

dimentologischen Arbeiten von HAGENGUTH (1984), HAGEMEISTER (1986), MÖBUS (1987), HEIN (1986) und ZEEH (in Arbeit).

5.3.2.1. Stratigraphie des „Wettersteinkalkes“

Durch die bergmännischen Aufschlüsse bedingt, finden sich ungestörte Profile des Wettersteinkalkes insbesondere im Raum Bleiberg (Rubland Verbindungsstollen), im Förolach Erbstollen (östlich Hermagor) im E briach Unterbaustollen (Hochobir) sowie im Stefanie Stollen (Bergbau Lafatsch). Die an die 750 m mächtige ungestörte Abfolge des „Wettersteinkalkes“ im Rubland Verbindungsstollen sei nachfolgend angeführt.

Als stratigraphischer Bezugshorizont gilt in der geologischen Praxis die Basis des 1. Raibler Schiefertons.

1. Raibler Schieferton.

- 0– 60 m: Hangender Wettersteinkalk (Bleiberger Sonderfazies) mit 9 markanten Flächen.
- 60–120 m: Massige Karbonate mit „Megalodusbank“ im Liegenden.
- 120–250 m: Maxerbänke; gebankte Abfolge reich an sedimentären Strukturen mit grünen dolomitisch-mergeligen Zwischenlagen.
- 250–300 m: Massige Karbonate, größtenteils dolomitiert.
- 300–500 m: Massige Karbonate mit zahlreichen, rosa gefärbten Stromatolithhorizonten.
- 500–550 m: Laminierte, bräunliche, plattige Karbonate.
- 550–650 m: Gebankte Abfolge mit bräunlich und rosa gefärbten Stromatolithhorizonten und zahlreichen sedimentstrukturreichen Einschlüpfungen (inter-supratidal).
- 650–750 m: Diploporen-reiche Karbonate mit Einschlüpfungen zahlreicher Stromatolithbänke.

Sedimentologische „Definition“ der „Sonderfazies“

Bei den Sedimenten der „Sonderfazies“ handelt es sich nach BECHSTÄDT (1975) um Gesteine, die im sub-, inter- bis supratidalen Ablagerungsraum gebildet wurden. Grüne Mergel und schwarze Breccien werden als Zeugen länger dauernder Trockenlegung gedeutet. Diese Ansicht wird sedimentologisch durch verschiedene Zementtypen gestützt, die für subaerische Diagenese sprechen. Die Sedimenttypen sind als Zyklotheme angeordnet. Im Zeitraum der Emersionen herrschten vielfach evaporitische Verhältnisse, die durch das Auftreten von Anhydrit, Fluorit und Salinarquarzen gekennzeichnet sind.

Für einen Modalzyklus mit zwei Emersionsperioden wird nach BECHSTÄDT (1975), BECHSTÄDT et al. (1978) ein Zeitraum von ca. 40.000 Jahren angegeben, sodaß für die Abfolge von einer Emersionsperiode zur nächsten grob gerechnet 20.000 Jahre zur Verfügung stehen. Als Grund für die Emersionen werden Meeresspiegelschwankungen und synsedimentäre tektonische Abläufe angenommen. Diese Trockenlegungsphasen wird wegen der weiten Verbreitung in den Nördlichen Kalkalpen dem Drauzug und den Südalpen der Vorzug gegenüber tektonischen Bewegungen gegeben. Letztere sind für lokale Abweichungen innerhalb der Zyklen verantwortlich. Während der Trockenlegungen erfolgten Verkarstungen mit z. T. ausgedehnten Hohlraumbildungen im jeweils liegenden Sedimentstapel. Unmittelbar vor, während und auch nach der Emersion stellten sich evaporitische Ablagerungsverhältnisse ein.

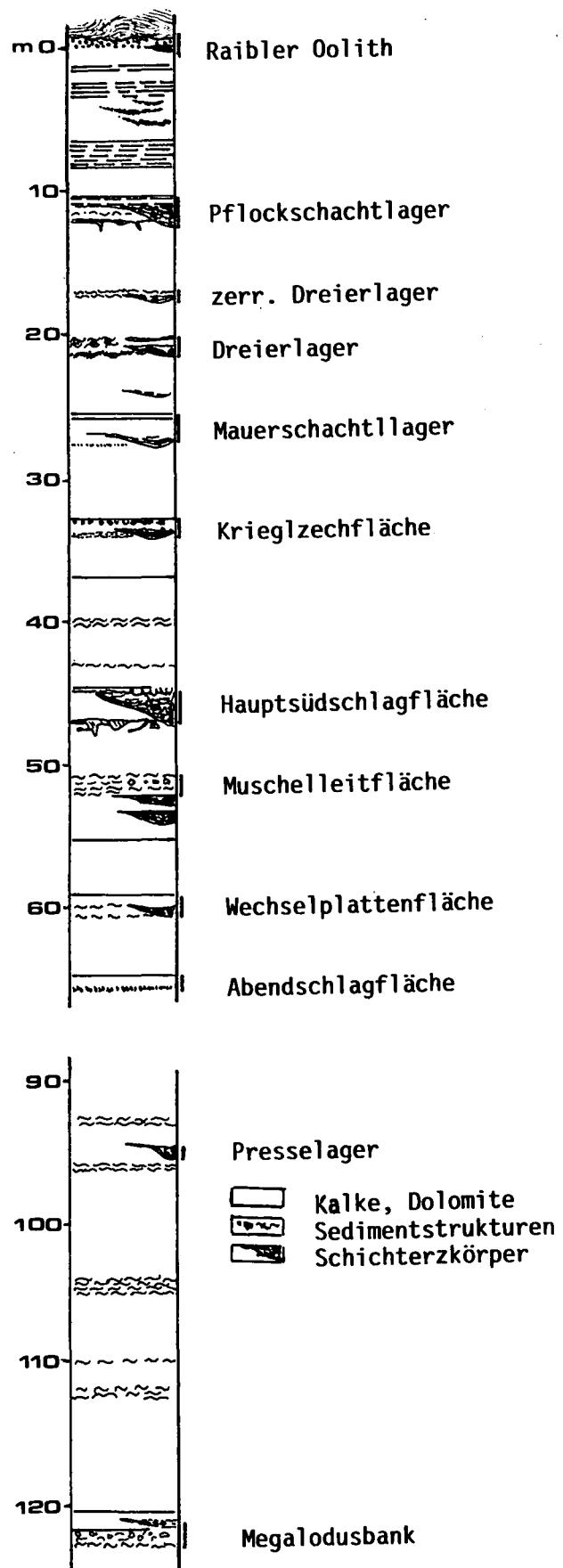


Abb. 35.
Stratigraphisches Profil durch den oberen Wettersteinkalk im Bergbau Bleiberg-Kreuth.
nach SCHULZ, 1968).

Stratigraphie der Sonderfazies

Die von HOLLER (1936) erarbeitete Detailstratigraphie des hangenden, 120 m mächtigen Wettersteinkalkes ist nachfolgend tabellarisch angeführt. Die Bezeichnung der „Flächen“ stammen aus der bergmännischen Praxis des Bleiberger Raumes. Als Bezugshorizont gilt die Basis des 1. Raibler Schiefertons:

Die gemessenen Mächtigkeiten und Abstände der „Lager“ wurden im Rudolfschacht, Bleiberg ermittelt (vgl. Abb. 35).

0,0 m ...	1. Raibler Schieferton („Kiesoolithbank“)
16,0 m ...	Pflockschachtlager
20,0 m ...	zerrissenes Dreierlager
23,0 m ...	Dreierlager mit grünem Band
24,0 m ...	liegendes Dreierlager
26,0 m ...	1. Mauerschachtllager
28,0 m ...	2. Mauerschachtllager
30,0 m ...	1. Kriegelzechfläche
33,0 m ...	2. Kriegelzechfläche
45,0 m ...	Milchige Hauptsüdschlagfläche
47,0 m ...	Schwarze Hauptsüdschlagfläche
51,0 m ...	Muschelleitfläche
61,0 m ...	Wechselplattenfläche
63,5 m ...	Abendschlagfläche (nur gelegentlich ausgebildet)
120,0 m ...	Megalodusbank

5.3.2.2. Faziestypen und Bildungsmilieu der „Sonderfazies“

Marine Flachwasserablagerungen können nach der Wassertiefe ihres Bildungsbereiches in eine sub- inter- und supratidale Zone unterteilt werden (Abb. 36).

○ Subtidal

Ständige Wasserbedeckung im Flachmeer; Wassertiefen meist nur einige Zehnermeter. Arenitisch-ruditische Karbonate, deren Matrix oft sparitisiert sind. Häufig sind pellets und schwach gerundete In-

traklaste. An Flora und Fauna sind typisch: Megalodonten, Dasycladaceen (insbesondere *Poikiloporella duplicata*, *Clypeina cf. besici*), Codiaeaceen, Cyanophyceen, Foraminiferen, Ostracoden, Lamellibranchiaten und Gastropoden, Echinodermen, Solenoporen und Korallen sind selten.

○ Intertidal

Zweimal täglich von Wasser bedeckt, also zwischen mittlerem Tide-Niedrigwasser (Ebbe) und mittlerem Tide-Hochwasser (Flut) gelegen. Arenitisch-ruditische Karbonate mit laminaren Fenstergefügen (LF-B-Gefüge). Die Hohlräume werden von Spatit erfüllt. Häufig sind Stromatolithkrusten. In Hohlräumen finden sich oft geopetale Bodenbedeckungen; das Restvolumen ist von Spatit, im mineralisierten Bereich oft mit Flußspat oder Schwerspat erfüllt. Die Sedimente des Intertidal weisen auf Zeiten unruhiger Sedimentation hin; Sturmflutlagen sind oft zu beobachten.

○ Supratidal

Lutitisch arenitische Karbonate, meist Dolomite („milchige Flächen“) mit zahlreichen und oft großen laminaren Fenstergefügen. Schlickgerölle und Grapestones (Krusten von Blau-Grünalgen). Häufig sind Trockenrisse (sheet and prism cracks). Die schichtparallelen Trockenrisse können zu einem völligen Abheben der Lagen von ihrem Untergrund führen; die Lagen werden oft von Sturmfluten aufgearbeitet. Zeltförmige Aufwölbungen von Krusten (tepee-structures) sind typisch für das Supratidal. Die Supratidalsedimente sind frühdiagenetisch, dolomitisiert – feinste sedimentäre Strukturen bleiben gut erhalten. Supratidale Sedimente sind ferner durch frühe Zementtypen (dripstone cement, tapetenförmiger Zement A) untrüglich gekennzeichnet.

○ Grüne mergelige Dolomite („grüne Mergel“) finden sich in der Sonderfazies häufig vergesellschaftet mit schwarzen Breccien und im Bereich der „Maxerbänke“. Diese grünen bis graugrünen Dolomite treten im Drauzug und in den Nördlichen Kalkalpen auf. Verschiedene Autoren versuchten diese Lagen mit vulkanischen Bildungen in Zusammenhang zu bringen (SCHNEIDER, 1964; KOSTELKA & SIEGEL, 1966; EPPENSTEINER, 1965, 1970).

Die geochemische Untersuchung der „grünen Mergel“ zeigt ein Vorherrschen von Dolomit. Aus dem unlöslichen Rückstand (max. 10–15 %), der aus Illit, Glimmer, Kaolinit, Chlorit besteht, ist keine eindeutige genetische Schlußfolgerung möglich. BECHSTÄDT (1975) deutet diese Mergel als Verwitterungsrückstände und zieht Vergleiche mit ähnlichen Einschlüpfungen der Loferite des Dachsteinkalkes der Nördlichen Kalkalpen.

○ Schwarze Breccien

treten ähnlich wie „grüne Mergel“ als sedimentologische Besonderheit in Bereichen der Sonderfazies des Drauzuges und der Nördlichen Kalkalpen auf. Von SCHNEIDER (1954) und TAUPITZ (1954) als Resedimente bituminöser Kalke und Dolomite gedeutet, werden sie später von SCHNEIDER (1964) als agglomeratische Breccien bezeichnet. EPPENSTEINER (1965, 1970) deutet diese Komponenten als Produkte einer Verfärbung des Wettersteinkalkes. BECHSTÄDT (1973) deutet die schwarzen Breccien als Emersionsprodukte, wobei die dunkle Färbung der Komponenten auf Imprägnierung mit Bitumen und Pyrit im reduzierenden Milieu beruht.

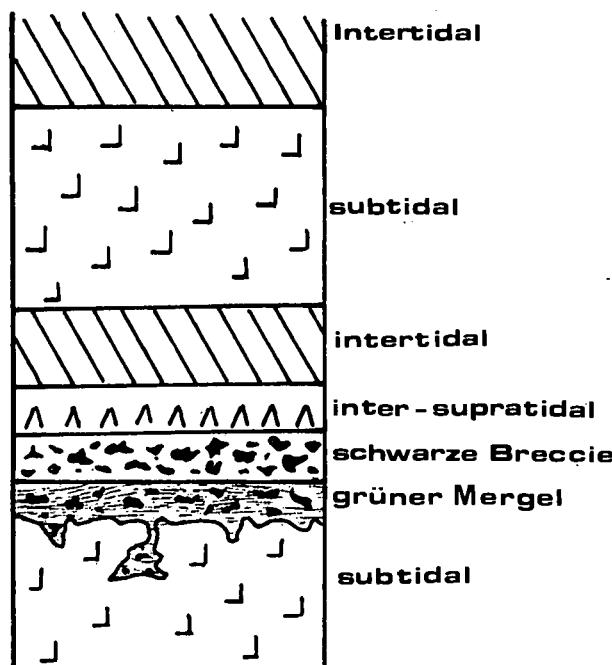


Abb. 36.

Zyklische Sedimentation im obersten Wettersteinkalk.
Vereinfachte Darstellung einer „Fläche“ in der Bleiberger Fazies nach BECHSTÄDT (1979).

Ungeachtet der unterschiedlichsten in der Literatur beschriebenen Bildungsweisen sind die schwarzen Breccien Resedimentationsprodukte des supratidalen Environments. Grüne Mergel und schwarze Breccien sind die „typischen Kennzeichen“ der Sonderfazies. Wenn auch der ursächliche Zusammenhang dieser sedimentologischen Faktoren und der Pb-Zn-Mineralisationen nicht gänzlich geklärt ist, erscheint es doch nennenswert, daß bei Fehlen dieser Faktoren Mineralisationen fehlen. Als Beispiel hierfür sei das Profil im Förolacher Erbstollen erwähnt. Der hangende Wettersteinkalk wird hier aus Sedimenten des Inter- bis Supratidals aufgebaut, wobei jedoch grüne Mergel und schwarze Breccien fehlen. Es gibt kein Anzeichen einer Pb-Zn-Mineralisation. Es soll damit zum Ausdruck gebracht werden, daß diese sedimentologischen Faktoren eine prägnante Prospektionshilfe darstellen.

5.3.2.3. Diagenese der „Sonderfazies“

In der Bleiberger Sonderfazies, insbesondere im Raum Bleiberg-Kreuth ist eine sehr komplexe Zementationsabfolge entwickelt, die sich auf eine Vielzahl von Porositätsformen verteilt (LF-Gefüge, Stromatactis, Birdseyes, Mikrokast, Interkristallinporen, Fossillössungsporen).

- Es lassen sich folgende Zementabfolgen erkennen:
- „botryoidal Aragonit“, radial-fibröser Calcit, Internsediment, Zementkrusten, skalenoedrischer Calcit, calcitischer Blockzement Typ I, zonar gebauter Dolomit;
 - radiaxial-fibröser Calcit (RFC)
 - „saddle“ („baroque“) Dolomit
 - calcitischer Blockzement Typ II.

Die Bleiberger Fazies im W der Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Profile Khünburg, Radnig, Jauken) zeichnet sich zumeist durch eine einfachere Zementabfolge (Internsediment – „Saddle“ Dolomit – calcitischer Blockzement Typ II) aus. Mikrokast-Porosität, Zementkrusten, skalenoedrischer Calcit und RFC fehlen weitgehend.

Die Zementabfolgen im Mikrobereich zu diagnostizieren wurde in einem Forschungsschwerpunkt der Universität Freiburg (BECHSTÄDT, ZEEH) mit Kathodenlumineszenzuntersuchungen jüngst in Angriff genommen.

Unlängst gelang es auch (mündl. Mitt. Prof. BECHSTÄDT), Temperaturbestimmungen an fluid inclusions einzelner Zementgenerationen durchzuführen. Erste Ergebnisse zeigen Temperaturbedingungen von rd. 125°C in frühen Zementtypen, in späten Zementen (saddle-dolomite) reichen die Temperaturen bis rd. 230°C. Nach Untersuchungen von KAPPEL & SCHROLL (1982) sind in den primären Vererzungen von Bleiberg-Kreuth Mineralisationsphasen mit Bildungstemperaturen um 100°C wirksam gewesen. Die Autoren schließen jedoch nicht aus, daß aufgewärmte Meerwässer in submarinen Karst- und Kluftbereichen in einer späten Phase (Epigenese), Umlagerungen von Erzen bewirkt haben könnten.

Die dzt. vorliegenden Ergebnisse der Kathodenlumineszenzuntersuchungen (ZEEH, unpubl. Bericht) sind nachstehend auszugsweise angeführt:

Die Unterscheidung von calcitischem Blockzement Typ I und II wird mit Hilfe der Kathodenlumineszenz (KL) erleichtert und verdeutlicht. Der calcatische Blockzement des Typs I zeigt unter KL einen deutlichen Zonarbau, beginnend mit einer hell-

gelb lumineszierenden Zone, auf die rotbraune bis rote Zonen folgen. Dieser Zonarbau weist nach RICHTER & ZINKERNAGEL (1981) darauf hin, daß dieser Zement bereits primär aus einem Tief-Mg-Calcit zusammengesetzt war, belegt andererseits aber auch die wechselnde Zusammensetzung des Porenwassers. Der Typ II besitzt dagegen eine weitgehend einheitliche, meist orangerote Lumineszenzfarbe.

„Saddle“ Dolomit luminesziert zumeist einheitlich rot, zeigt jedoch auch in einigen Fällen einen rot bis rotbraunen Zonarbau.

Radial fibröser Calcit ist generell nicht bis fleckig lumineszierend; dies deutet nach RICHTER & ZINKERNAGEL (1981) auf eine Umwandlung ehemaliger Mg-Calcite in einem sich bezüglich des Fe/Mn-Verhältnisses ändernden Porenwassers hin. Zementkrusten („flowstones“) zeigen dagegen einen Wechsel von nicht lumineszierenden Zonen (= faserförmige Calcitkrusten) und gelb lumineszierenden Zonen (= mikritisches Internsediment).

Aus den bisher bearbeiteten Proben ergibt sich ein Zusammenhang zwischen Erzmineralisation und Mn- und Fe-reichen calcitischen Zementen und „saddle“ Dolomit. Die Verbindung von verschiedenen spätdiagenetischen Zementen mit Erzmineralisationen deutet auf einen mehrphasigen Vorgang der Vererzung hin.

„Saddle“ Dolomit wird nach HARRIS et al. (1985) als ein Zement der tieferen Versenkung mit Temperaturen zwischen 50 und 150°C angesehen. Für „Saddle“ Dolomit aus kambrischen Karbonaten SW-Sardiniens geben BONI & IANNACE (1987) eine Bildungstemperatur von 50 bis 110°C und eine Salinität der Lösung von 20–24 Gew.-% eqv. NaCl an.

Der Einbau von Mn in das Calcitgitter erfolgt nach HARRIS et al. (1985) bereits unter schwach reduzierenden Bedingungen, Fe wird dagegen erst bei niedrigerem Eh eingebaut. Die Anreicherung von Mn und Fe im Calcit deutet auf eine meteorische Diagenese hin (VEITZER, 1983). Höhere Mn-Gehalte führt BALZER (1982) auf meteorische oder marine Porenlösungen mit niedrigem Eh zurück. Ob die Pb-Zn-Vererzungen z. T. in einem Zusammenhang mit einer meteorischen Diagenese stehen, ist dzt. noch unklar.

5.3.2.4. Biostratigraphie der erzführenden Abfolge

Die Mitteltrias umfaßt die anisische, ladinische und karnische Stufe. In der älteren Literatur fällt auf, daß der Wettersteinkalk biostratigraphisch der ladinischen Stufe, die Raibler- oder Carditaschichten der karnischen Stufe zugeordnet wurden. Durch die umfassenden Arbeiten von OTT (1972), der mit Kalkalgen eine Biostratigraphie der Mitteltrias schuf, geht hervor, daß aufgrund des Auftretens von bestimmten Wirtelalgen (z. B. Poikiloporella duplicata) große Teile des Wettersteinkalkes dem Cordevol, also Unterkarn, angehören.

Studien von BECHSTÄDT (1975) im Bleiberger Raum ergaben, daß die Liegengrenze des Karn ca. 450 bis 500 m unter dem Raibler Schieferton gelegen ist. Das bedeutet, daß die Sonderfazies und mächtige Anteile darunter der karnischen Stufe angehören. Aufgrund der meist exakten lithostratigraphischen Zuordenbarkeit der Pb-Zn-mineralisierten Schichtglieder im „Wettersteinkalk“ und in den Raibler Schichten werden diese in der Bergbaupraxis der karnischen Stufe (Cordevol, Jul, Tuval) zugeordnet.

5.3.2.5. Regionale Verteilung der „Sonderfazies“

Die bisherigen Bearbeiter (HOLLER, 1960; KOSTELKA, 1971; BECHSTÄDT, 1975) gingen davon aus, daß die „Bleiberger Fazies“ in einer E-W-Erstreckung von 120 km, von Ursija Gora (Jugoslawien) bis in den Raum Windische Höhe westlich Bleiberg reicht. Jüngste Untersuchungen von CERNY & HAGEMEISTER (1986) haben ergeben, daß im Raum Khünburg/Presseggersee, im Raum Radnig/Hermagor sowie im Westteil des Jauken-

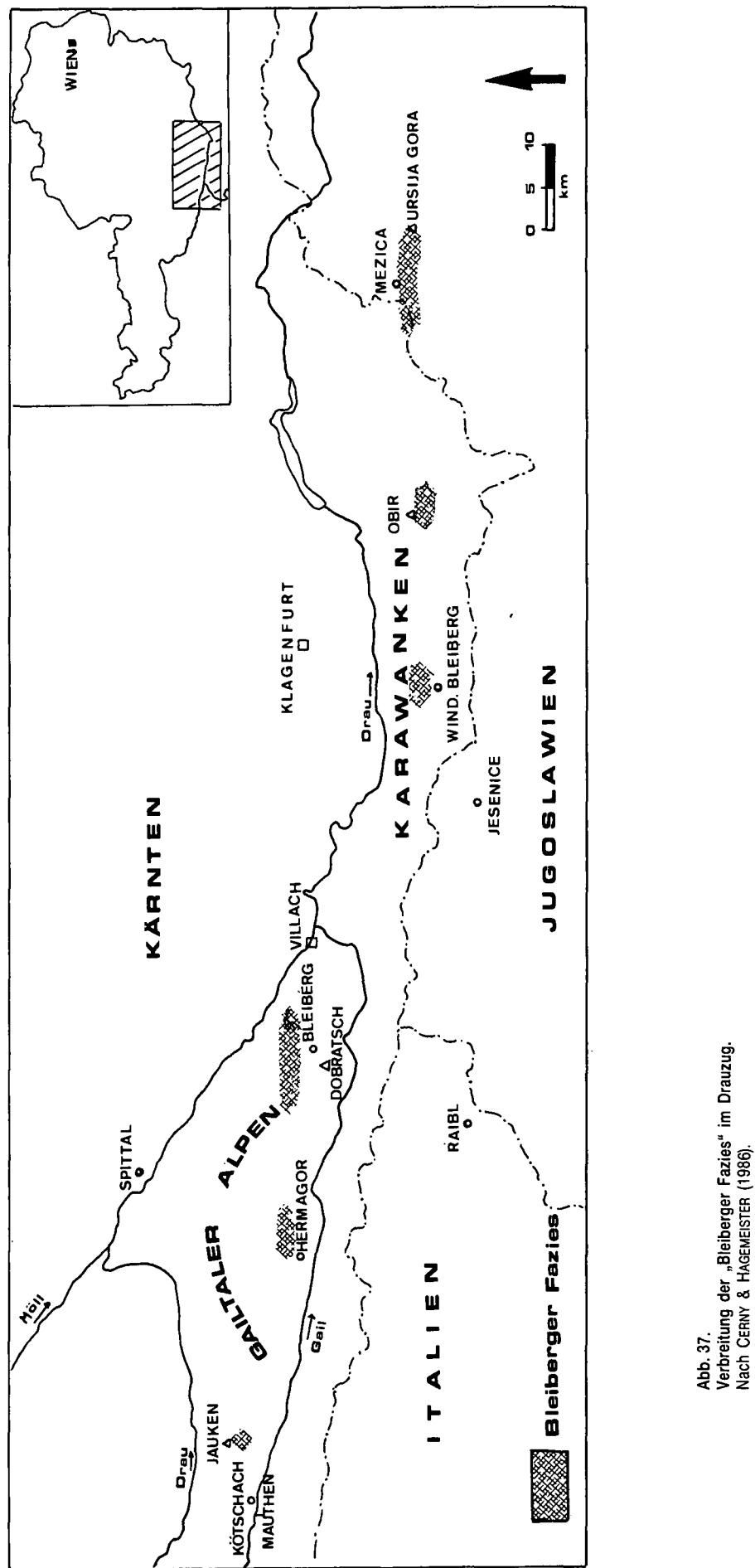


Abb. 37.
Verbreitung der „Bleibberger Fazies“ im Drauzug.
Nach CERNÝ & HAGEMEISTER (1986).

kammes im obersten Wettersteinkalk ebenfalls zyklische Abfolgen auftreten, die der „Bleiberger Fazies“ durchaus entsprechen. Als gesichert darf demnach eine E-W-Erstreckung über etwa 160 km vom Berg Ursija Gora in Jugoslawien bis zur Jauken angenommen werden (Abb. 37).

Die regionale Verteilung der „Sonderfazies“ zeigt, daß sie im erwähnten Raum sechsmal auftritt. Es ist augenscheinlich, daß diese spezielle Sedimentausbildung mit Pb-Zn-Lagerstättenbildungen in Zusammenhang steht. Es sind dies die Lagerstätten Mezića, Hochobir, Windisch Bleiberg, Bleiberg-Kreuth und westliche Randgebiete, Radnig/Khünburg und Jauken. In den Nordtiroler Kalkalpen steht die „Sonderfazies“ mit den Lagerstätten Lafatsch und Nassereith, z. T. auch im Arlberggebiet in engstem Zusammenhang.

Auf den erwähnten Erstreckungen treten Sedimentationsbedingungen auf, die einen engen Zusammenhang zwischen Sediment und Pb-Zn- (F-, Ba-) Mineralisationen aufweisen. Die speziellen Sedimentationsbedingungen treten über eine Erstreckung von max. 10 km auf. Aus dem heutigen Kartenbild ergibt sich eine Entfernung von 50 bis 60 km zwischen den jeweiligen Bereichen mit „Sonderfazies“ und somit bergwirtschaftlich interessanten Konzentrationen von Pb-Zn-Metallen.

5.3.2.6. Paläogeographie und Paläotektonik des Wettersteinkalkes

Die Entwicklung der mitteltriadischen Karbonatabfolgen sind nach BECHSTÄDT (1978), KLAU & MOSTLER (1983), BRANDNER (1984) eng verknüpft mit der sich herausbildenden Tethys. Der Ablauf der Sedimentation verlief unter instabilen Schelfbedingungen. Durch Rifting-Phasen im Oberperm und in der Mitteltrias, wurde ein Becken herausgebildet. Die Füllung des Beckens erfolgte mit Kontinentschutt, über welchem sich Karbonatplattformen mit Evaporiten bildeten. Während der subsequenten Evolution dieser taphrogeosynkinalen Phase zerbrachen die Karbonatplattformen. Es kam zu Heraushebungen. Die erzführende bzw. -höfige Ge steinsabfolge des „Wettersteinkalkes“ im Drauzug und der Nördlichen Kalkalpen kam in einem flachen Meeresteil zur Ablagerung, der eine reiche Gliederung durch Schwellen und Lagunen aufwies. Aus den Sedimentstrukturen ist zu entnehmen, daß es mehrfach zu Verlandungen und Küstenbildungen selbst zu triadischen Verkarstungen und Höhlenbildungen kam.

5.3.2.7. Entwicklung der alpin-mediterranen Triasfazies

Die alpin-mediterrane Trias der Ost- und Südalpen liegt nach BRANDNER (cum lit. 1984) am NW-Ende der breit angelegten Grabenbruchzone der Neotethys und in direktem Einflußbereich von Lateralverschiebungszonen, deren westliche Fortsetzung man im Biskaya-Riftsystem sehen kann. Im Nahbereich der adriatischen Platte sind Tektonik und vulkanische Aktivitäten verstärkt wirksam gewesen.

Zwei Grabensysteme, im W durch eine Schwellenzone unbekannter Breite getrennt, beinhalten die grundsätzlich ähnlich aufgebauten Sedimentabfolgen der Nord- und Südalpen. In beiden Trögen zeichnen sich in der Trias gegen Osten zunehmend offenmarine Ablagerungsbedingungen ab.

Zusammenfassende Darstellungen über Sedimentationsabläufe in der Trias wurden von SCHLAGER & SCHÖLLNBERGER (1974) für die Nördlichen Kalkalpen, von BRUSCA et al. (1981) für die Südalpen und von BECHSTÄDT et al. (1978) bzw. BRANDNER (1984) für beide Räume publiziert. Umschwünge im Sedimentationsablauf zeichnen sich in diesen Zonen durch den Aufbau der meeresspiegelsensitiven Karbonatplattformen wesentlich schärfer ab als im epikontinentalen Raum.

In den Nord- wie in den Südalpen erfolgte die Sedimentation im wesentlichen in vier Zyklen („stratigraphische Wenden“ nach SCHLAGER & SCHÖLLNBERGER [1974]), die sich vor allem in den Randzonen der Sedimentationströge klar abzeichnen. Im zentralen Hallstätter Trog ist die Zyklizität nur mehr in stark abgeschwächter Form erkennbar. Die umliegenden Karbonatplattformen wurden nach BRANDNER von terrigen klastischen Schüttungen nicht überwunden, und die Karbonatproduktion in den tiefliegenden Schwellen- und Beckenzone war zu gering, die Subsidenzrate zu überholen.

Die genannten vier Zyklen sind nach BRANDNER (1984) wie folgt kurz zusammengefaßt:

- Zyklus 1

Der erste Zyklus reicht von der Anlage der Becken im Perm über die zunehmend mariner werdende Sedimentation in der Untertrias bis zum Aufbau der ersten landferneren Karbonatplattformen in der unteren Mitteltrias („Reichenhaller Wende“).

- Zyklus 2

Der zweite Zyklus ist an seiner Basis durch den raschen Umschlag in eine pelagisch beeinflußte Sedimentation definiert („Reiflinger Wende“). Besonders dort, wo Flachwasserkarbonate des Oberanis (Steinalmkalk, „Zwischendolomit“, „Oberer Sarldolomit“) durch die pelagischen Sedimente der Reiflinger Schichten, Buchensteiner Schichten, Hallstätter Kalke überlagert werden, ist die Grenze gut zu erfassen. Der Sedimentationsumschwung ist in den meisten Fällen sehr scharf und öfters mit Spaltenbildungen und dem Zerbrechen der anischen Plattformen verbunden. In den Grabenzenen hält die starke Subsidenz während des Ladin an. Die Mobilität dieses Zeitabschnittes wird durch den intensiven Vulkanismus in den Südalen unterstrichen. Die hohen Sedimentationsraten (400 µm pro Jahr) sind typisch in Riftzonen. Bis auf die Hallstätter Zone erweist sich der zweite Zyklus als regressiver Zyklus. Die hohen Karbonatproduktion überholt im Karn die Subsidenzrate und verursachte eine Auffüllung der tektonisch abgesenkten Becken. Flächiges Wachstum der Karbonatplattformen führte örtlich zur völligen Schließung von Randbecken.

Im oberen Cordevol kündigt sich mit Emersionen und klastischen Sedimenten das einschneidendste Ereignis in der Sedimentabfolge der Trias an: Die rasche Ausbreitung von klastischen Sedimenten der Raibler Schichten hinweg über alte Faziesheterogenien und Graben- und Schwellenzonen. Dieser Sedimentationsumschlag („Reingrabener Wende“) ist im gesamten Tethysraum und im epikontinentalen Raum zu erkennen und kann mit frühen kimmerischen bzw. ladinischen Bewegungen in Verbindung gebracht werden. Daneben können aber auch periodische Meeresspiegelabsenkungen, insbesondere bei der regressiven Karbonatplattformentwicklung,

die zyklischen Sedimentationsprozesse induziert haben. Diesen Prozessen ist die Herausbildung der Pb-Zn-führenden „Sonderfazies“ im Drauzug und den Nordtiroler Kalkalpen zuzuschreiben.

○ Zyklus 3

Der dritte Zyklus zeichnet sich mit der weiträumigen Hauptdolomitfazies durch eine weitgehende tektonische Ruhe aus. Ein völlig anderer, beinahe außeralpiner Charakter, beherrscht nun große Teile der alpinen mediterranen Zone. Eine weiträumige und einfache Fazieszonierung von den Randbereichen mit Keuperfazies und Hauptdolomit-Gezeitenmeer zur internen Zone mit Dachsteinkalkriffen und Hallstätter Becken überdeckt das kleinräumige Faziesmuster der Mitteltrias. Der großräumige Fazieswechsel an der Grenze Cordevol/Jul von den flachmarinen z. T. emergierten Karbonatplattformen zu tiefer marinen Beckensedimenten (Reingrabener Schichtung, Raibler Schiefertonen) tritt im gesamten Bereich in Erscheinung. Ein rascher Wechsel von Regressionen und Transgressionen ist feststellbar. Die Transgressionsphase zeichnet sich im Sedimentationsablauf als wesentlich abrupteres Ereignis ab als die länger anhaltende Regression. Dieser Vorgang kann insbesondere in den Randzonen der westlichen Nördlichen Kalkalpen und im Drauzug in drei aufeinanderfolgenden Zyklen der Raibler Schichten beobachtet werden. Flache Beckenzonen mit normal marinen Sedimenten werden jeweils bis zum Meeresspiegel aufgefüllt, evaporitische Dolomite und Rauhwacken bilden den Abschluß der Zyklen.

Der Beginn der Zyklen wird markant durch ein rasches Absinken des Untergrundes. Bruchtektonische Erscheinungen werden von SCHULZ (1975) im Raum Bleiberg von diesem Absinken verantwortlich gemacht. Im Hallstätter Becken ist mit wenigen Mergeleinschaltungen der einzige Hinweis auf das Raibler Ereignis gegeben.

○ Zyklus 4

Mit diesem letzten Zyklus in der Trias stellt sich in den Nord- und Südalpen kein grundsätzlich neuer Trend in der Entwicklung ein. Die Absenkung der Kössener Becken folgt den im Nor bereits angedeuteten Subsidenzereignissen, lediglich im verstärkten Ausmaß. Mit der verstärkten Absenkung sind offensichtlich wieder Hebungen am Rand der Becken verbunden oder eine generelle Meeresspiegelabsenkung. Sandsteinschüttungen in Kössener Schichten der westlichen Nördlichen Kalkalpen oder auch Konglomerateinschaltungen in den Kössener Schichten des westlichen Drauzuges sind ein Anzeichen dafür.

5.3.2.8. Pb-Zn-Vorkommen der Draukalkalpen

Wie einleitend bemerkt, treten im Wettersteinkalk an die 160 Erzvorkommen auf. Die Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth kann als Typuslagerstätte des Wettersteinkalkes angesehen werden. Aufgrund der komplexen Natur wird diese Lagerstätte gesondert behandelt (siehe Kap. 6).

5.3.2.8.1. Der Pb-Zn-Bergbau Radnig bei Hermagor

Der auf 1500 m Seehöhe befindliche Bergbau liegt nördlich Hermagor und ist seit einigen Jahren durch einen Güterweg problemlos erreichbar. Eine zusammenfassende Darstellung der Lagerstätte stammt von

FRIEDRICH (1964). Die im Zuge des Güterwegebaues aufgeschlossenen Sedimentprofile veranlaßten den Verfasser, eine sedimentologische Diplomarbeit zu vergeben (MÖBUS, 1988). Die geologische Kartierung und detaillierte Sedimentprofilaufnahmen ergaben ein klares Bild über die Lagerungsverhältnisse im Bereich der Lagerstätte.

Nach FRIEDRICH (1964) wurde der Bergbau einst vom Staate betrieben („Erzherzog Franz Stollen“, „Kaiser Leopold Zubau-Stollen“). Ab 1819 betrieben Private den Bergbau. Gegen Ende des 19. Jhd. erlosch die Bergbautätigkeit.

CANAVAL (1898, cit. in FRIEDRICH, 1934) beschreibt auszugsweise die Lagerstätte:

„Zwischen zwei eisengrauen Kalksteinbänken sieht man schmale, spindelförmige Streifen eines braunschwarzen, bituminösen dolomitischen Kalksteins, die von Fluorit und Calcit umkrustet werden – lokal schiebt sich noch schneeweißer, feinblättriger Schwerspat zwischen die Fluorit- und Calcitkrusten. Die Pb/Zn-Erze sind zum Theile in den Flußspatkrusten z. T. in den Kalksteinstreifen selbst eingewachsen.“

„Die Erze liegen zwischen zwei Schichtflächen, so daß man nach der Form dieser im Mittel ca. 1 m breiten, ab und zu durch einen eingesetzten Riegel versickerten Räume mehr an ein ausgebautes Kohlenflöz als an eine typhonische Erzlagerstätte denken möchte.“

Dem Verfasser war es 1984 möglich, den Erzherzog Franz-Stollen zu befahren; der Stollen ist meist überflutet. Eine geologische Neuaufnahme dieses Stollens wurde 1985 durchgeführt. Die eigenen Beobachtungen stimmen mit CANAVALS Beschreibungen vollinhaltlich überein.

Die Pb-Zn-(F-, Ba-)Vererzung, welche sich über 400 m im Streichen verfolgen läßt, ist an gebankte Karbonate (vorwiegend Dolomite) des „Oberen Wettersteinkalkes“ gebunden. Die Abfolge fällt mit rd. 70° nach Süden ein. Die stratigraphische Position wurde von MÖBUS mit 60 m liegend des 1. Raibler Schiebertons ermittelt.

Die Abfolge wird aus Sedimenten des Flachwasserbereiches aufgebaut, wobei Anzeichen „zyklischer Sedimentation“ (ähnlich der Bleiberger Fazies) vorhanden sind. Aus alten Karten geht hervor, daß 30 m–40 m hangend der Lagervererzung zwei weitere Lager auftreten sollen.

Die überlagernden Raibler Schichten, die am neuen Güterweg praktisch lückenlos bis hinein in den Hauptdolomit aufgeschlossen sind, zeigen geochemisch keine Anzeichen einer Erzhöflichkeit.

Die am Güterweg erschlossenen Erze sowie die Befunde aus der Grube und z. T. erzreichen Halden lassen zwei Vererzungstypen erkennen:

- Braungrau grobspätig dichter Dolomit mit großen dunkelhonigfarbenen Zinkblenden. Die Korngröße der Zinkblenden erreichen Durchmesser bis 1 cm.
- Bituminöse Dololaminiten (Zebragefüge) in Wechsellagerung mit glasig dichtem Flußpat (± Schwerspat) mit z. T. großen Zinkblendekristallen. Bleiglanz tritt vorwiegend in Butzen und mobilisiert in Klüften auf.

Schichtige Erzgefüge (Schalenblenden, Geltexturen) fehlen. Die Erzführung (0,4 m–1,0 m mächtig) ist auf eine graubraune Dolomitbank beschränkt, wobei die heutigen Aufschlüsse zinkbetont sind. Eisenkiese treten sehr untergeordnet auf.

FRIEDRICH (1964) beschreibt ferner z. T. massenhaft auftretende authogene Quarze, die er im Zusammen-

hang mit Tuffen sieht. Die Tufflagen konnten von Möbus jedoch nicht mehr ausfindig gemacht werden.

Die Spurenelementgehalte der Zinkblenden (SCHROLL, 1954) sind nachstehend angeführt: Ge: 300–1000 ppm; Mn: 500–1000 ppm; Ag 5–10 ppm; Cd: 500–1000 ppm; Ga: 0–300 ppm; Ni: 0–50 ppm; Fe: 1000–5000 ppm; Ti u. Sb: 0–30 ppm; As: 0–100 ppm.

Die Elementgehalte von Co, Hg, In liegen unter der Nachweisgrenze.

Bleiglanzanalysen ergaben 30 ppm Sb, 3 ppm Tl. Die Elemente Ag, As, Bi, Sn liegen unter der Nachweisgrenze.

FRIEDRICH (1964) beschreibt die Radniger Zn-F-Pb-Lagerstätte genetisch als exklastiv-sedimentär. Die Erze sind ausgesprochen prätektonisch in Bezug auf die alpidische Gebirgsbildung. Die Metallkomponenten sind weitgehend diffus innerhalb des Lagers verteilt. Die Kornvergrößerung der Zinkblenden ist nach Ansicht des Verfassers durch diagenetische Prozesse, wahrscheinlich im Gefolge mit einer spätdiagenetischen Dolomitisierung zu sehen.

5.3.2.8.2. Pb-Zn-Erzvorkommen auf der Jauken

Erste montangeologische und montanhistorische Abhandlungen über den Pb-(Zn-)Bergbau in der Jauken-Gipfelregion gehen auf PERSCHA, J. (1873), GEYER, G. (1897), CANAVAL (1931) zurück. Über die Anfänge des Bergbaues ist nichts bekannt.

PERSCHA (1873) schreibt, daß in Gurina am Südabhang des Jaukenberges gelegen, Schmelzwerke bestanden haben sollen, deren Produkte auf der Cäsarstraße über die Plöcken nach Italien geliefert worden seien. Alte lokale Benennungen, wie „Heidnischer Hoffnungsbau, Heidenzeche, Kellerzeche“, vorgefundenes Werkzeug und kleine Silbermünzen vom Jahre 1330 bis 1700 zeugen vom frühen Beginn des Bergbaues.

PERSCHA (1873) untergliedert den Bergbaubetrieb in vier Perioden:

- Die Periode der ältesten Zeit.
- Die Periode des schwunghaft betriebenen Achenreiner Messinghandels zur Zeit der Messingerzeugung bei Debant bei Lienz und der übrigen Tiroler Messing-Fabrikation.
- die Zeit des Zinkhüttenbetriebes mit Holz als Brennstoff.
- die Periode des „heutigen“ Zinkhüttenbetriebes mit kleinen Braunkohlen.

In der ersten Periode wurde nur das Blei berücksichtigt. Zinkblende und Galmei wurden teils zurückgelassen, teils als Versatz verwendet.

Die Bleierzeugung war, aus der Menge der Schlakken zu beurteilen, unbedeutend, vielleicht 150–200 Zentner pro Jahr. Die Galmeierzeugung betrug bis zum Jahre 1810 jährlich ca. 4000 Zentner. Die Belegschaft des Bergbaues bestand zu dieser Zeit aus 30 bis 40 Mann.

Im Jahre 1801 wurden die ersten Zinkhütten in Oberkärnten errichtet, Leinach und Dellach standen 40 Jahre in Betrieb. Zur Gewinnung des Zinks aus Galmei und Zinkblende wurden weitgehend Erze der Jauken verwendet; Erze von Bleiberg und Raibl wurden zugeführt. In der Zinkhütte Dellach wurden jährlich 20.000 Zentner Erz geschmolzen.

Durch das Aufblühen der Eisenindustrie wurde eine große Konkurrenz in der Holzbeistellung hervorgerufen, die Zinkpreise gingen zurück, die Zinkhütte wurde ein-

gestellt. Der Bergbau wurde unzugänglich gemacht, die Anlagen verwüstet.

Im Jahre 1857 übernahm die „Sagorer Gesellschaft“ in Krain den Bergbau, um mit billigen Erzen die eigene Zinkhütte teilweise zu versorgen. Der Bergbau wurde modernisiert. Gefördert wurde vornehmlich Versatzmaterial der früheren Perioden.

Die Versatzberge waren reich und so war es möglich, im Zeitraum 1865–1870 8800 Zentner Bleimetall und 180.000 Zentner Galmei zu erzeugen.

Das Blei wurde an die Glätte- und Schrotfabriken verkauft, die Galmeierze an die Zinkhütte nach Sagor zur Verhüttung geliefert.

Den Betrieb erschwerte letztenendes die hohe Lage, der Wassermangel für die Aufbereitung, die teure Zulieferung der Betriebsmaterialien sowie die teure Abfuhr der Erze in das Drautal.

Um 1900 wurden jegliche Bergbauaktivitäten eingestellt.

Die geologischen und tektonischen Verhältnisse der Jauken, insbesondere des Gipfelbereiches, sind sehr kompliziert.

Die Jauken-Südseite wird aus mehreren, staffelartig zum Gailtal hin abgesunkenen Schollen aus Gailtakristallin (Phyllite und Glimmerschiefer), Permoskythsandsteinen sowie anisisch-ladinischen und karnischen Karbonaten aufgebaut.

Etwa ab der „Kreuztratten“ folgen steil nach Norden einfallende karnische Karbonate, die dem obersten Wettersteinkalk sowie den Raibler Schichten angehören.

Die Raibler Schichten setzen sich aus einer dreimaligen Wechselfolge von siliziklastischen und biogenreichen Schieferthonhorizonten und bankig plattigen Karbonatabfolgen bzw. Rauhwackensequenzen zusammen.

Darüber folgen wiederum ladinische, eventuell karnische Karbonate. Der Kontakt zum unterlagernden Karn ist tektonischer Natur. Auf der Nordseite der Jauken fallen die ladinischen und karnischen Karbonate mäßig steil nach Süden ein. Auch hier werden die Raibler Schichten wiederum von ladinischen Karbonaten tektonisch überlagert.

Die exakte stratigraphische Einordnung der Gipfelkalke, in denen die Mehrzahl der alten aufgelassenen Grubenbaue zwischen der Jaukenhöhe und dem Torkofel liegen, hat den jeweiligen Bearbeitern lange Zeit Schwierigkeiten bereitet.

GEYER (1897) stellte die erzführenden Gipfelkalke noch in das Nor, während CANAVAL (1931) diese Abfolge den Raibler Schichten oder einer kalkigen Zone nahe dem Liegenden des Hauptdolomits zuordnete.

CANAVAL (1931) schreibt:

„Es entfallen dann die Schwierigkeiten, welche die scheinbar abnormale Lage des erzführenden Kalkes bildet, von selbst. Dieser Kalk ist eben kein Wettersteinkalk und daher auch kein erzführender Kalk im stratigraphischen Sinne.“

VAN BEMMELEN (1957) sieht im „Jaukenkalk“ ein stratigraphisches Äquivalent des Wettersteinkalkes.

Erst durch KRAUS (1969) und MÜLLER (1977) wurde die tektonische Natur der Gipfelkalke erkannt und aufgrund karbonatsedimentologischer Überlegungen eine Zuordnung zum Ladin vorgenommen. Die bankigen und häufig auch plattigen hell- bis dunkelgrauen Gipfelkalke wurden dabei entlang einer Überschiebungsbahn auf die Raibler Schichten aufgeschoben und dabei intensiv verschuppt. Wie kompliziert die tektonischen

Verhältnisse am Jaukengipfel tatsächlich sein müssen, läßt sich u. a. auch am Vorkommen von roten Permoskythsandsteinen und onkoidführenden grauen Kalksteinen der Raibler Schichten in den Halden des Frauenstollens und des Oberstollens erkennen. Beim Strekenkennvortrieb müssen eingeschuppte Fetzen dieser Abfolge durchfahren worden sein.

CANAVAL (1931) berichtet in minutiöser Weise über die Aufschlüsse in den zu seiner Zeit noch offenen Stollen und Grubenbauen. Seinen Ausführungen nach sind Erze weitgehend schichtgebunden an Wettersteinkalk aber auch an Rauhwacken der Raibler Schichten gebunden. Ferner treten kluftgebundene Erze auf.

Nach den alten Berichten lassen sich zinkbetonte Erzführungen ableiten, wobei ein Pb : Zn-Verhältnis von 1 : 5 wahrscheinlich ist.

Nachdem das Grubengebäude weitgehend unzugänglich ist, versuchte HAGEMEISTER (1983–1985) in einer Dissertation, sedimentologische Parameter im Umkreis der bestehenden Lagerstätte zu erarbeiten.

Nach HAGEMEISTER (CERNY & HAGEMEISTER, 1986) wird die mineralisierte Abfolge im hangendsten Paket des „Wettersteinkalkes“ aus zyklisch auftretenden Gezeitensedimenten, die in lagunare Karbonate eingeschaltet sind, aufgebaut. Helle, teilweise Megalodonten-reiche Dolomite des Subtidal wechsellagern mit Emersionshorizonten und Sedimenten des Gezeitenbereiches.

Die Abfolge des „Wettersteinkalkes“ am Jauken-Südrand ist durchaus vergleichbar mit der „Bleiberger Sonderfazies“. Es konnte der Nachweis erbracht werden, daß sich die „Bleiberger Sonderfazies“ mit gewissen Unterbrechungen rd. 70 km westlich des Bleiberger Raumes bis auf die Jauken fortsetzt.

Die Abfolge am Jauken-Südabhang ist durch z. T. massive schichtgebundene Flußspatführung gekennzeichnet, wobei violetter Flußspat stellenweise konzentriert am Kontakt zum 1. Raibler Schieferton auftritt. Zinkblendemineralisationen und scharf eingrenzbare geochemische Zn-Anomalien treten zusammen mit Flußspat im Bereich von Gezeitensedimenten auf. Besonderswert erscheint das Vorkommen von Fluorit in Hohlraumgefügen. Hier wird das Liegende zumeist durch vadose Zemente ausgefüllt. Der verbleibende Porenraum wird durch grobkörnige, dolomitische Blockzemente sowie durch Fluoritkristalle ausgefüllt. Zinkblende tritt oftmals als Zwickelfüllung auf. Weitere Fluoritmineralisationen (\pm geochemische Zn-Anomalien) treten im Hangenden der 1. Raibler Karbonatserie gebunden an brecciierte Gesteine auf.

Das Haldenmaterial der Baue auf der Jauken sowie die sog. „Hosa-Untersuchungsstollen“ auf der Jauken-Nordseite sind frei von Flußspat. Unter Berücksichtigung der Faziesverteilung N–S muß an einen Zusammenhang zwischen Fluoritmineralisation – ZnS/PbS-Mineralisation gedacht werden. Die Flußspatführung im Süden ist generell mit Emersionsprozessen in Zusammenhang zu bringen. Die Pb-Zn-Verteilung in den Sedimenten ist weitgehend fazieskontrolliert, wobei Gezeitensedimente bevorzugt mineralisiert sind.

Die z. T. reichen Erzstücke der ausgedehnten Halden auf der Jauken sind zinkbetont. Bleiglanz, Eisensulfide, Flußspat tritt untergeordnet auf. Haupttypus ist ein zuckerkörniges Zinkblendeerz in hell-graubrauner dolomitischer Matrix. Die kristallinen Zinkblenden (honigfarben, z. T. mit grünlichem Stich) erreichen Korngrößen

von mehreren Millimetern. Schalige Erztexturen scheinen zu fehlen.

SCHROLL (1954) zählt die Zinkblenden der Jauken zu den Germanium-reichsten der Ostalpen. Germaniumgehalte bis zu 3000 ppm wurden analysiert. Die Galliumgehalte können 500 ppm erreichen (Cd: 3000 ppm, Mn: 50–3000 ppm, Fe: 1000–3000 ppm, Co: 0–30 ppm, In: 0–5 ppm, Ti: 3–30 ppm, Sn: 0–3 ppm, Ni, Hg, Ag, As, Sb liegen unter der Nachweisgrenze).

Die Bleiglanze sind als sehr rein zu bezeichnen; Ag: bis 1 ppm, Sb: 0–100 ppm, Bi: 3 ppm, Sn: 0–10 ppm, As und Ti liegen unter der Nachweisgrenze.

Eine bergwirtschaftliche Beurteilung der Jaukenverzerrungen ist schwierig. Unter der Annahme, daß die Erze im Gipfelbereich weitgehend schichtgebunden sind bzw. waren und rückgerechnet etwa 36.500 t Galmei und rd. 1300 t Pb-Metall gewonnen wurden, kann keine wirtschaftlich interessante Vorratsmenge mehr erwartet werden.

Für die nach Süden abgestaffelten Schollen fehlen weitgehend Untersuchungsergebnisse. Die z. T. konzentrierten Flußspatvorkommen auf der „Kreuztratten“ sind untersuchenswert, zumal Flußspat als ein Indikator für nahende Zinkblendeeverzerrungen gilt. Der Flußspat selbst ist als sehr rein zu bezeichnen.

5.3.2.8.3. Pb-Zn-Bergbau Windisch-Bleiberg

Die grundlegenden geologischen Erkenntnisse gehen auf KOSTELKA (1960) zurück, der die von der BBU in den Jahren 1938 bis 1943 durchgeföhrten Schurfarbeiten interpretierte und zusammenfaßte.

Die erste Erwähnung der Lagerstätte, auf der Südflanke des Singerberges, westlich des Loibltales gelegen, stammt aus dem Jahre 1239. Der „Pleyerberk“ mit seinen vielen Erzausbissen scheint anfangs recht ertragreich gewesen zu sein, denn die Mönche von Viktring und die Herren der Hollenburg versuchten immer wieder, den Bergbau in die Hände zu bekommen.

1533 wirft eine z. T. nicht erklärbare Nachricht ein scharfes Licht auf die geringe Wirtschaftlichkeit des Blei-Zink-Bergbaues. In diesem Jahr wurden dem Freiherrn von Sonegg zwölf Eisenerzgruben in Windisch-Bleiberg verliehen, die einen Schmelzofen versorgten. Obwohl dieser Abbau rd. 100 Jahre angedauert hat, ist uns nichts über dessen Lage bekannt. Die Überlieferungen in der zweiten Hälfte des 17. Jhd. lassen durch Verkaufsanbietung, Bemühungen um Geldgeber, Beschwerden über diebische Schmelzer, Betriebseinstellung, Wiederaufnahme des Betriebes, so recht die Schwierigkeiten der kleinen armen Lagerstätte erkennen. Wohl im Zuge der Gegenreformation erhielt der Bergbau neuen Zugang von sächsischen Bergleuten (um 1694). Die Gruben lagen dann still bis 1723. Franz von Högen war erfolgreicher als seine Vorgänger und behauptete sich mehr als 60 Jahre. Er steigerte die Bleiproduktion von 268 auf 429 Zentner im Jahre, somit das Zwei- bis Dreifache der früheren Jahresausbeute.

Gegen Ende des 18. Jhd. gewinnt die Obersteinische Gewerkenkompagnie große Bedeutung, die 1787 bereits zwei Schmelz- und Röstöfen betreibt.

Die immer wiederkehrenden Schwierigkeiten des Bergbaues erleichterten den letzten Hauptgewerken Jandl den Entschluß, den gesamten Bergbesitz an die 1868 gegründete Bleiberger Bergwerks-Union zu verkaufen.

Der Betrieb wurden von der BBU weiterbetrieben, 1905 wegen Schwierigkeiten der Stromversorgung (Pumpen im Katharinenschacht) eingestellt. Die letzten Schurfarbeiten wurden von der BBU in den Jahren 1938–1943 durchgeführt. Die geologischen und lagerstättenkundlichen Erkenntnisse dieser Schurperiode wurden wie erwähnt von KOSTELKA (1960) und HOLLER (1960) beschrieben und nachstehend zusammengefaßt.

Geochemische Arbeiten wurden im Rahmen eines Rohstoffprojektes (CERNY, SCHERER, SCHROLL, 1982) durchgeführt, wobei schwerpunktmaßige Erze von Halden analysiert wurden. Eine moderne lagerstättenkundliche und fazielle Bearbeitung des Bergbaubereites fehlt. Das Grubengebäude ist kaum noch zugänglich.

Nach KOSTELKA wurden im Bergbau Windisch-Bleiberg Bleiglanz und Zinkblende, Galmei und Eisenerze abgebaut. Bleiglanz und Zinkblende (mit Baryt, untergeordnet Fluorit) treten vorwiegend im hangenden Wettersteinkalk auf. Hinweise auf Pb-Zn-Vererzungen im Niveau des Carditadolomites über dem 1. Schiefer sind gegeben. Carditaerze wurden auf Halden gefunden. Die Erzmineralisationen im Wettersteinkalk treten vorwiegend an Schichtflächen in Verbindung von tektonischen Störungszonen auf. Die Störungszonen streichen EW bzw. WNW–ESE, wobei die Vererzungsdichte in den Störungsbereichen von Süd nach Nord deutlich ansteigt (Katharina-Stefanie-Schluttabruch). Im äußersten Westen der Lagerstätte treten im Bereich des Schluttabruches lagerförmige Erze, sowohl im Wettersteinkalk als auch im überlagernden 1. Cardita-Zwischendolomit auf. Nach KOSTELKA (1960) wurden Carditaerze abgebaut. Carditaerze wurden auch im sog. Friedrichstollen (südlich des Schachtes und im Katharina Ostfeld) in geringem Umfang angetroffen und gebaut.

KOSTELKA (1960) weist auf die grundsätzliche lagerstättenkundliche Bedeutung hin, daß im Bereich Windisch-Bleiberg neben der Hauptvererzung im hangenden Wettersteinkalk eine, von den Alten z. T. als bauwürdig befundene Vererzung in den Carditaschichten über dem 1. Schiefer vorhanden ist.

Neben den wirtschaftlich bedeutsamen Carditaerzen im Raum Bleiberg-Kreuth durfte die erwähnte Cardita-vererzung in Windisch-Bleiberg das einzige bauwürdig interessante Vorkommen in der Abfolge der Carditaschichten darstellen.

Im Bergbau Windisch-Bleiberg findet sich nach HOLLER (1960) eine Fazies des Wettersteinkalkes, die trotz der Entfernung von rd. 44 km im wesentlichen der Stratigraphie im Bergbau Bleiberg entspricht. Schwarze Breccien und Muschelbänke sprechen dafür.

Eine eindeutige Mächtigkeitsangabe der Wetterstein-kalkabfolge ist zufolge fehlender Aufschlüsse nicht zu treffen.

Die Mächtigkeit der Carditaabfolge, welche von der Kiesoolithbank, an der Basis des 1. Schiefertons bis zum Liegendkontakt des „Hauptdolomits“ reicht, beträgt rd. 290 m. Sie wird von

30 m 1. Schiefer mit Kiesoolithbank,
60 m Carditadolomit,
15 m 2. Schiefer,
85 m Plattenkalken,
25 m 3. Schiefer mit Onkolithbank,
und
65 m Plattenkalken
aufgebaut.

Im Dolomit zwischen 1. und 2. Schiefer tritt vielfach Limonit auf, der wie erwähnt, Gegenstand von Schurf-tätigkeiten auf Eisen war.

Der überlagernde Hauptdolomit zeigt vielfach feinschichtige, mehr oder weniger bituminöse Abfolgen. Nach Bohrungen ist die Mächtigkeit des Hauptdolomits mit 900 bis 1100 m anzunehmen.

Im Rahmen des Rohstoffprojektes „Blei-Zink-Verteilungsmodell in stillliegenden Blei-Zink-Erzrevieren der Karawanken“ (CERNY et al., 1982) wurden von Halden-erzen geochemische Analysen durchgeführt (Analytik Arsenal). Hierbei wurden zehn Zinkblendeproben und sieben Bleiglanzproben untersucht.

Die Bleiglanze sind praktisch silberfrei. Die Maximalwerte betragen zwischen 0,19 und 1,8 ppm Ag. Arsen schwankt zwischen 27 und 340 ppm, Wismut zwischen 0,08 und 0,28 ppm, Molybdän liegt zwischen 0,25 und 14 ppm, Antimon zwischen 10 und 187 ppm.

Die untersuchten Zinkblenden sind arm an Germanium (3,2–252 ppm), weisen Galliumgehalte bis 105 ppm auf, Indium liegt vorwiegend unter der analyti-schen Nachweisgrenze von 0,1 ppm, Cadmium ist mit Werten zwischen 111 und 3900 ppm als eher niedrig im Vergleich zu anderen Pb-Zn-Lagerstätten zu bezeichnen.

Die Spurenelementverteilung in Zinkblenden- sowie Schwefelisotopenuntersuchungen sind nach SCHROLL in CERNY, SCHERER & SCHROLL (1982) mit der Verteilung in diskordanten Erzmineralisationen vom Typ Bleiberg vergleichbar.

Schwefelisotopenuntersuchungen an Baryten und Sulfidproben zeigen, daß die Mineralisation keinesfalls zeitgleich mit der Sedimentation, sondern spätdiagene-tisch einzustufen ist.

Die montanhistorische Entwicklung des Bergbaues sowie geochemische Untersuchungsergebnisse lassen den Schluß zu, daß die Lagerstätte als arm zu bezeichnen ist. Unzugänglichkeit der Grubenbaue, die von KOSTELKA (1960) beschriebene tektonische Situation und die Teufelage erzhöfiger Schichten lassen bergmän-nische Untersuchungsprogramme in ferne Zukunft rük-ken.

5.3.2.8.4. Pb-Zn-Vererzungen im Bereich des Hochobir

Die grundlegenden geologischen und lagerstätten-kundlichen Erkenntnisse der Bergbaureviere Eisenkap-pel (Hochobir) wurden von HOLLER (1938, 1977), KO-STELKA (1939), BAUER (1970) erarbeitet. Der altertümli-che Bergbau am Hochobir wurde in den Jahren 1924–1930 in einer ersten Aufschlußperiode und in den Jahren 1938–1941 in einer zweiten Aufschlußperiode wiederum bergmännisch untersucht.

Hierbei wurden nicht weniger als 11 km Strecken und Aufbrüche für die Klärung der geologischen Situation und der Erzsuche geschlagen.

Der Erfolg hinsichtlich neuer Erzaufschlüsse blieb versagt, da viele der Strecken in stratigraphisch nicht erzhöfigen Schichtgliedern verliefen (HOLLER, 1977).

Nach Aufnahmen von HOLLER (1977) treten Pb-Zn-Vererzungen ausschließlich im hangenden Wetterstein-kalk, schichtig-lagerförmig auf. An das Lager III, 23 m unter dem Kiesoolith des ersten Raibler Schiefers sind ca. 80 % der Pb-Zn-Vererzungen (Revier Grafensteiner Alpe) gebunden, der Rest an das Lager IV, 28 m unter dem Schiefer. In stratigraphischen Profilen, die in N-S-

Richtung rd. 1,2 km entfernt sind, zeigt sich, daß anhand charakteristischer Schichtflächen (schwarze Breccien, milchige Flächen) eine deutliche Mächtigkeitsabnahme gegen Süden besteht, was paläogeographisch begründet ist. Die schichtigen Pb-Zn-Erze bleiben jedoch stets in derselben lithostratigraphischen Position.

5.3.2.9. Die Pb-Zn-Vorkommen der Nordtiroler Kalkalpen

Annähernd 400 Minerallagerstätten und -vorkommen zeugen von der ehemalig bergwirtschaftlichen Bedeutung Tirols.

Die Bodenschätzungen machten einst Tirol zu einem historisch weltberühmten Bergbauland. Der Kupferreichtum im Großraum Kitzbühel, der Silberreichtum der Fahlerze von Schwaz-Brixlegg, das Salz von Hall, Gold von Zell am Ziller und schließlich Bleiglanz und Zinkblende in den Nordtiroler Kalkalpen trugen ab dem Mittelalter zu diesem Reichtum bei. Am Rande erwähnt liegt der Pb(Ag)-Zn(Cu-Sb-)Bergbau Tösens im Kristallin der Ötztaler Alpen auf einer Seehöhe von 2800 m, einer der höchst gelegenen Bergbaue Europas überhaupt.

Die Nordtiroler Kalkalpen, nördlich des Inntales gelegen, lassen zwischen Kufstein im Osten und dem Arlberg im Westen eine Anhäufung von Pb-Zn-Vorkommen erkennen. Die Erze sind weitgehend an die tektonische Einheit der „Inntal-Decke“ gebunden und treten im hangenden „Wettersteinkalk“ unterschiedlich fazieloser Ausbildung in Partnachschichten und in dolomitischen Anteilen des „alpinen Muschelkalkes“ (Anis) auf. Außerhalb der Nördlichen Kalkalpen treten Karbonatgebundene Pb-Zn-Vorkommen im Bereich von Brixlegg-Rattenberg, südlich des Inn auf (Abb. 38).

Die Vielzahl der Mineralfundstellen und Schurfbergbaue lassen eine Konzentration im Bereich des Karwendel (Lafatsch-Vomperloch) sowie östlich und westlich von Nassereith erkennen.

Die Verknappung der Pb(Zn)-Rohstoffe nach dem Zweiten Weltkrieg führte zu umfangreichen Untersuchungsarbeiten in den Revieren Lafatsch und Nassereith. Die Arbeiten wurden von der BBU in den Fünfziger Jahren durchgeführt.

Nicht die Erzarmut in den Tiroler Revieren, sondern der Aufschluß großräumiger Erzkörper im Bergbau Bleiberg-Kreuth führte dazu, von einer Gewinnungstätigkeit abzusehen. Erzkörper von 10^6 t in der Grube Kreuth mit bestehender Infrastruktur standen Erzkörper von 10^3 t bis 10^5 t im Raum Lafatsch und Nassereith gegenüber. Dennoch ist das montanwirtschaftliche Interesse an den Bergrevieren Lafatsch nach wie vor aufrecht.

Gegenüber den Pb-Zn-Erzen der Draukalpen, zeigen die Erze der Nördlichen Kalkalpen Tirols paragenetisch und geochemisch gewisse Unterschiede. So weisen die Bleiglanze generell erhöhte Silbergehalte, Zinkblenden erhöhte Kupfergehalt auf. Vielerorts sind Fahlerzmineralisationen mit Pb-Zn-Erzen vergesellschaftet. Flußspat ist dominante Begleitparagenese der Erze. Schwerspat fehlt.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Pb-Zn in den Nordtiroler Kalkalpen“ (1979–1983) wurde in Zusammenarbeit BBU-Arbeitsgruppe Universität Innsbruck der Versuch unternommen, den heutigen Kenntnisstand über die Pb-Zn-Vorkommen darzulegen. Unter Mitarbeit von MOSTLER, BRANDNER, KRAINER, GSTREIN,

HEISSEL & SCHOBER (cit. in CERNY, 1984) sind die Ergebnisse in nachfolgenden Kapiteln dargestellt.

5.3.2.9.1. Genetische Aspekte

Im Zuge der Untersuchungen ergab sich nach BRANDNER und MOSTLER die Vorstellung, daß eine Vielzahl der untersuchten Pb-Zn(F,Cu)-Vererzungen im triadischen Karbonatgestein der Nordtiroler Kalkalpen nicht unmittelbar mit der Sedimentationsgeschichte der Wirtsgesteine in Verbindung gebracht werden können. Es handelt sich hierbei vorwiegend um tektonogenetisch gesteuerte Ereignisse, z. T. in Verbindung mit magmatischem Geschehen, wobei nicht die Förderung magmatischer Gesteine sondern der dabei entstehende hohe Wärmegradient eine bedeutende Rolle spielen sollte. Als wichtig hat sich auch die Verfügbarkeit von vorgegebenen Porenräumen herausgestellt, wobei im Anschluß an tektonogenetische Ereignisse eine örtlich auftretende Verkarstung (intertriassischer Paläokarst) ferner Herausbildung von Breccienzonen und das tektonische Gefüge (Störungen – Kluftkörper z. T. durch Verkarstung überprägt) eine nicht unbedeutende Rolle spielen dürften.

Diageneseprozesse und Dolomitisierung haben zur Konzentration der Erze wesentlich beigetragen. Diese genetische Ansicht von BRANDNER und MOSTLER (cit. in CERNY, 1984) steht im zum Teil krassen Gegensatz zu den Arbeiten von SCHNEIDER, TAUPITZ, KRAUS, SCHULZ, WETZENSTEIN, die eine von einer syndiagenetischen Fazies kontrollierte Erzausscheidung im Bereich des hangenden Wettersteinkalkes als wahrscheinliche Genese der Pb-Zn-Flußspat-Erze sehen.

In der Trias südlich des Inn treten Pb-Zn-Erze generell in Vergesellschaftung mit Fahlerzen auf. Die in der Abfolge auftretenden Erze sind sehr wahrscheinlich Mobilisate aus den bekannt vererzten paläozoischen Dolomiten (Devon). Diese grundlegenden genetischen Erkenntnisse wurden von GSTREIN (1983) erarbeitet. Nach MOSTLER und HADITSCH durchschlagen die Fahlerze den jüngstalpidischen Schuppenbau in Gangform. Zum Teil dürften diese aus den unterlagernden Schichten mobilisierten Fahlerze in Anisischen Gesteinen des Karwendelgebietes mit Pb-Zn-Vererzungen in ursächlicher Verbindung stehen. Die lithostratigraphische Stellung der Pb-Zn-Erze in den Bergrevieren Nassereith, Lafatsch und Trias südlich des Inn und die Häufigkeit der auftretenden Paragenesen sind in Abb. 38 dargestellt.

5.3.2.9.2. Wirtschaftliche Aspekte

Die Vielzahl von Stollen und Grubenbauen in den Nordtiroler Kalkalpen sprechen für den einzigartigen Reichtum an Pb-Zn-Erzen. Die damaligen Bergbautreibenden haben es nicht gescheut, in unwirtlichen hochalpinen Gegenden (Seehöhe 1500–2500 m) Untersuchungsarbeiten durchzuführen und vielfach Bergbau zu betreiben. Viele der Erzreviere erscheinen ausgeerzt. Rücklässe bzw. noch vorhandene unverritzte Erzkörper weiterhin zu untersuchen, würde einer explorativen Tätigkeit mit Bohrungen und bergmännischen Arbeiten bedürfen.

Nach wie vor von großem Interesse ist das Bergrevier Lafatsch-Vomp. Nach SCHULZ (1981), welcher umfassend die Ergebnisse der BBU-Schürfarbeiten der Jahre 1951 bis 1953 dokumentierte, sind in der erschlossenen Lagerstätte Lafatsch Vorräte von

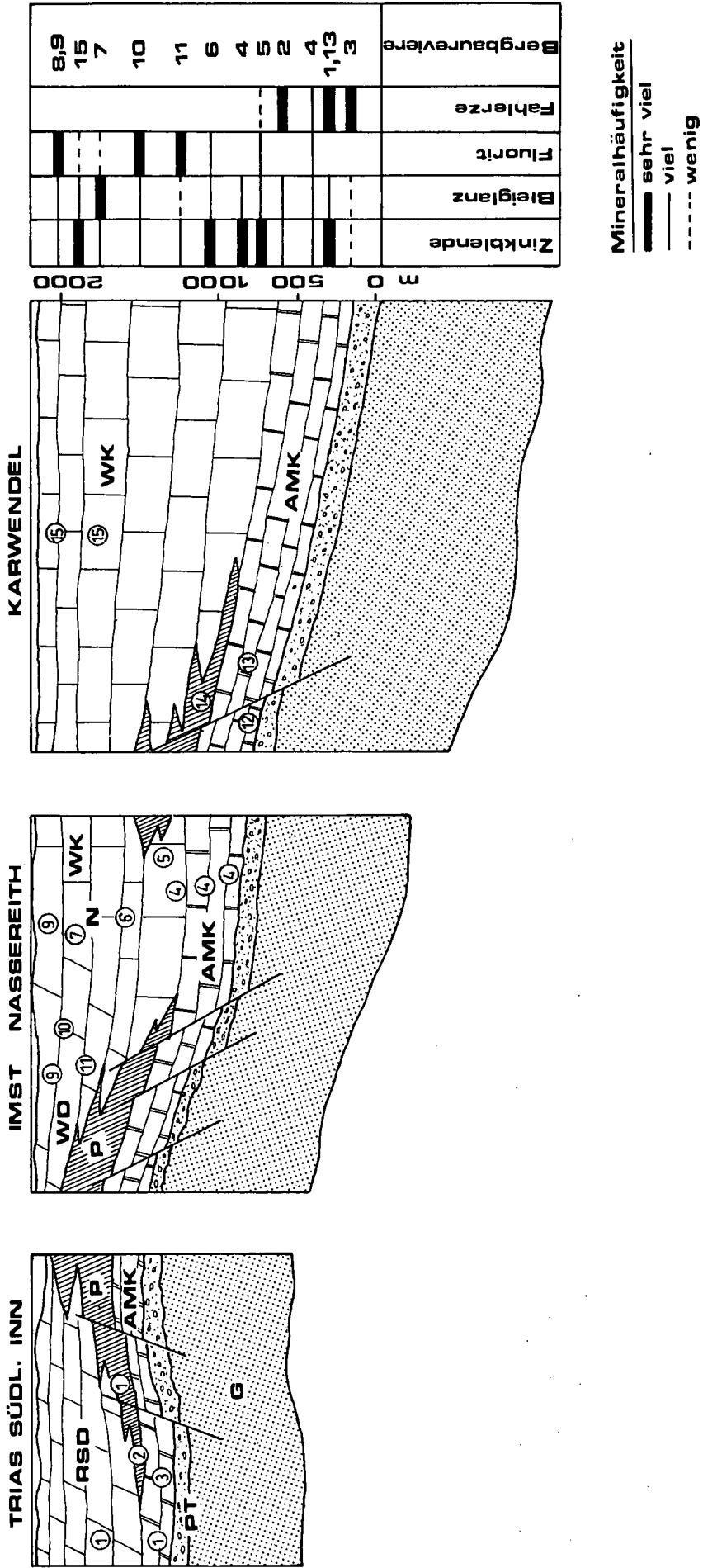
N

Abb. 38.
Palaeogeographischer N-S-Schnitt durch die Nordtiroler Kalkalpen.

Nach BRANDNER (1984), unveröff. Bericht an die BBU.
RSD = Ramsaudolomit; WD = Wettersteindolomit; WK = Partnachskalk; P = Wettersteinkalk; PT = Postvariszische Transgressionsserie; G = Grundgebirge.
Bergbaureviere (Auswahl): 1 = Silberberg N.; 2 = Geyer N.; 3 = Maukenötz; 4 = Hochwart, Haverstock; 5 = St. Veith; 6 = Blasiental, Lorenz; 7 = Feigenstein; 8 = Mathiasgrube; 9 = Frauenbrunnen; 10 = Silberstüberl; 11 = Tschirgant; 12 = Kerschbuchhof; 13 = Holling; 14 = Thaur; 15 = Lafatsch.

600.000 t mit einem Metallgehalt von 8 % Zn und 1,5 % Pb anzunehmen; was einem Metallinhalt von 48.000 t Zn und 9000 t Pb entspräche. Die kleinräumigen aber reichen Erzkörper mit heutigen technischen Mitteln zu gewinnen, würde eine Verdünnung des Metallgehaltes im Roherz verursachen (Schätzwert: 5 % Pb+Zn). Die Erzvorräte würden jedoch mit mehr als 4 Mio. t einzuschätzen sein. Im Falle des Niedersetzens der Lafatscher Erze gegen die Teufe, könnten unter Einbeziehung der erzhöflichen Schichten bis in das Gebiet des Vomperloches ein Vielfaches der genannten Erzvorräte vorhanden sein. Die Unterfahrung der Lagerstätte wäre letzten Endes vom Inntal aus zweckmäßig.

5.3.2.9.3. Die Lagerstätte Lafatsch im Karwendelgebirge, Tirol

Nach SRIBIK (1929, cit. in SCHULZ, 1981) stand am Südhang des Reps und am Westgehänge des Überschalljoches sowie im Knappenwald (Vomperloch) und im Roßloch ein bedeutender Bergbau auf Bleiglanz und Galmei in Betrieb (Abb. 39).

Um 1550 soll der Lafatscher Bergbau wegen zu großer Transportschwierigkeiten (1800–2000 m Seehöhe) zum Erliegen gekommen sein. Die Verhüttung der Erze fand in Jenbach (Inntal) und Vomperbach statt. Damals soll das gesamte untertägige Streckennetz 5 bis 6 km betragen haben.

Weitere, jedoch geringe Schurfarbeiten sollen im Zeitraum 1845–1872 im Reps bzw. im Knappenwald durchgeführt worden sein. 1926–1930 wurden von der Soc. Vieille Montagne, als Pächterin des Bergbaues Lafatsch von der Firma Tiroler Montanwerke, Gewältigungsarbeiten durchgeführt und 1,5 km Stollen neu aufgefahrene.

Von 1951 bis 1953 betrieb die Bleiberger Bergwerks-Union den Schurfbergbau Lafatsch, führte mit dem Stefaniestollen (6. Lauf als tiefste Sohle) von der Kasten-Alm aus einer Unterfahrung der alten Baue durch und wurde an vielen Orten fündig.

Es wurden 7,5 km Strecken und rd. 1 km Aufbrüche geschlagen (unveröff. Bericht der BBU). Untersuchungsstrecken auf Höhe 5., 4. und 3. Lauf wurden angelegt.

Das Niedersetzen der Erze wurde vom Stefaniestollen aus mit untiefen Kernbohrungen erfolgreich durchgeführt. Die Erkundung der Lagerstätte, um die effektive Teufenerstreckung zu erfahren, ist in Planung.

SCHULZ (1981) beschreibt in einer ausführlichen Arbeit die „Lagerstättenprovinz“ im Karwendelgebirge nördlich des Inntales. In dem 7,5-2 km W-E ausgedehnten Areal, welches von Lafatsch (Repsgipfel) im Westen bis in das Vomperloch im Osten reicht, ist als tektonische Großmulde mit Wettersteinkalk, Raibler Schichten und Hauptdolomit im Kern der Mulde ausgebildet.

Die Paragenese Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit (Markasit), Flußpat und derber weißer Kalkspat bildet vorwiegend lagerartige Erzkörper mit fallweise wolken- und nesterförmiger Ausweitung. Die Erzführung ist fast ausnahmslos an die oberen 240 m des Wettersteinkalkes (bis zum Kontakt des 1. Raibler-Cardita Schiefertones) gebunden, wobei wirtschaftlich interessante Metallreicherungen vorwiegend im Abschnitt 100–220 m unter dem Raibler-Kontakt auftreten. Rd. 150 Stollen bzw. Stollenmundlöcher zeugen von der Erzhöflichkeit des Oberen Wettersteinkalkes in diesem Areal.

Die Abfolge der Raibler Schichten ist nach umfangreichen Untersuchungen im Rahmen des Rohstoffprogrammes „Pb-Zn in den Nordtiroler Kalkalpen“ (CERNY et al., 1984; KRAINER, 1985) als nicht erzhöflich auszuscheiden.

Die Kenntnis über die Stratigraphie des erzführenden und erzhöflichen „Wettersteinkalkes“ im Karwendel geht auf SANDER (1936) zurück. Ausführliche Profildokumentationen wurden von SCHULZ (1981), BECHSTÄDT & HIRNER (unveröff. Berichte), KRAINER (1985) durchgeführt.

Einen zusammenhängenden Einblick in die Schichtabfolge ermöglicht der von 1951–1954 von der Kasten-Alm (Hinterautal) nach SE in das Repsmassiv vorgetriebene 1240 m lange Stefaniestollen im Schurfbergbau Lafatsch. Er durchtört ab dem Kern der „Reps Antiklinale“ bei Stollenmeter 90 eine rund 800 m mächtige Abfolge des mittleren und oberen Wettersteinkalkes bis zur Grenze an den Raibler Schieferton.

Die mittleren Abschnitte der im gesamten wohl über 1000 m umfassenden Abfolgen bestehen aus einer monotonen, z. T. rhythmischen Wechsellagerung von massigen, hellgrauen Kalken und kalkig-dolomitischen z. T. feinschichtigen Bänken. Die Zwischenschichten werden 1 bis 3 m mächtig. Die massigen Anteile sind oftmals als „Meeserstichkalke“ ausgebildet. In stratigraphisch höheren Abschnitten treten in den Zwischenschichten zunehmend Verunreinigungen auf, die durch Pyrit, Ton und Bitumen dem Gestein eine grünlich graue Farbe verleihen. Im hangendsten Profilabschnitt, der ca. 120 m Schichtmächtigkeit umfaßt, ist eine streng zyklische Wechsellagerung der genannten Sedimenttypen festzustellen. Diese hangendste Sedimentabfolge ist erzführend. Die faziellen und lagerstättenkundlichen Gegebenheiten sind nach SCHNEIDER (1964), BECHSTÄDT (1973) vergleichbar mit dem Drauzug, insbesondere mit der „Bleiberger Sonderfazies“.

Der in der gesamten Schichtfolge dominierende massig, dichte Kalkstein stellt eine subtidale Entwicklung einer Hinterriff-Lagunenfazies dar. Mikrofazielle Kennzeichen dieser Flachwassersedimente sind Mikrite mit untergeordnetem Fossilgehalt (Algendetritus, Foraminiferen, Ostracoden, Lamellibranchiaten). Makroskopisch auffällend sind gelegentlich Anreicherungen von Megalodonten. Diese Karbonatfazies kennzeichnet hauptsächlich ein ruhiges Seichtwassermilieu, wobei das Auftreten von „Messerstichkalken“ zeitweise evaporitative Sedimentationsbedingungen anzeigt.

Die zahlreichen Zwischenschichten, die vielfach als sedimentstrukturreiche Laminiten (Stromatolith, Resedimentbreccien, Hohlräumgefüge etc.) ausgebildet sind, können dem Gezeitenbereich zugerechnet werden. Grüne Mergelbänke in den hangenden Profilabschnitten werden von BRANDNER (unveröff. Bericht an BBU) als siliziklastische Einschüttungen vom Festland her gedeutet.

Die Pb-Zn-Vererzungen

In der Abfolge des Hangenden Wettersteinkalkes herrschen schichtgebundene und schichtige Erzkörper mit nestförmigen Ausweitungen vor. Sie treten bevorzugt in den obersten 110 m der Wettersteinkalkabfolge auf. Vereinzelt reicht die Erzführung bis 240 m in das Liegende, gemessen am Kontakt zum Raibler Schiefer. Die Mächtigkeit der Lagererzkörper reicht häufig bis 3 m, seltener bis über 5 m. Die streichende Erstreckung der Erzkörper variiert außerordentlich. Die linsen- und wannenförmigen Erzanreicherungen erstrecken

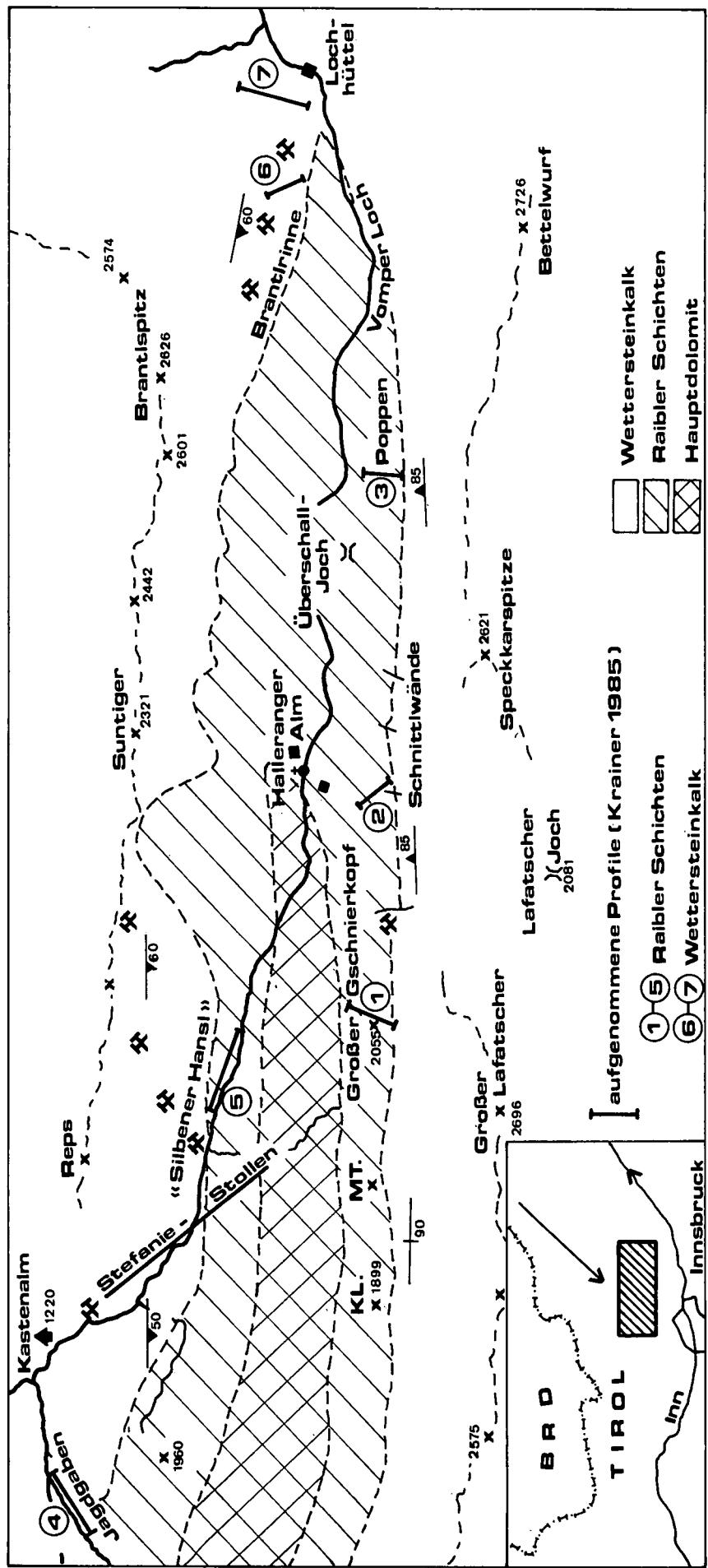


Abb. 39.
Geologische Übersichtskarte der Pb-Zn-Vorkommen im Karwendel.
Nach KRAINER (1985).

sich über einige Meter, teils bis Zehnermeter. Räumlich betrachtet liegt eine inhomogene Verteilung der Erzkörper vor, wobei sehr selten eine ausgeprägte Gebundenheit an Leitschichten zu erkennen ist. Vielerorts ist jedoch die Bindung der Erzführung an die eingangs erwähnten sedimentstrukturreichen Zwischenschichten auffallend.

Die Erz- und Begleitmineralparagenese in den Erzkörpern ist einfach. Sie besteht nach SCHULZ (1981) aus Zinkblende (Wurzit), Bleiglanz, Pyrit, Markasit, Calcit, Fluorit, selten Quarz, Anhydrit mit Gips. Baryt fehlt. In der Oxidationszone treten die sekundären Mineralbildungen Smithsonit, Hydrozinkit und Loseyrit, Greenockit, Cerussit, Descloizit und „Limonitminerale“ auf.

Das Hauptmineral Zinkblende liegt vorwiegend als feinkörniges „sedimentäres Erz“ vor. Bleiglanz hingegen bildet allgemein derbkristalline Aggregate. Eisenkiesanreicherungen finden sich vor allem in Annäherung an den Raibler Schieferton. Die stratigraphisch tiefer liegenden Pb-Zn-Erze sind nahezu frei von Eisen-sulfiden.

Fluorit tritt in feinschichtigen Lagen mit Zinkblende auf. Auffallend grobspärtige, weiße Calcitmassen werden von SCHULZ (1981) als jüngste Bildungen bezeichnet. Quarz tritt sehr selten in laminierten Gefügen auf. Blauer Anhydrit bzw. Gips tritt äußerst selten auf und bildet dann grobkristalline Aggregate.

Die Gefügetypen innerhalb der Erzkörper reichen vom sedimentären Erzschlamm über sammelkristallisierte Erzrhythmite bis zu Schalenblenden – Schalenblendebreccien und grobkristallinen Derberzen mit „epigenetischen“ Verdrängungsgefügen.

Die Erzführung im Raum Lafatsch – Vomperloch kann als zinkbetont bezeichnet werden.

Geochemie der Erze

Aus dem Bergbau Lafatsch, insbesondere aus der letzten Betriebsperiode, liegen eine Reihe von analytischen Daten von Aufbereitungsversuchen und forschungsbezogenen Probenahmen vor. Die Aufbereitungsergebnisse aus Flotationsgroßversuchen (BBU-interne Berichte) waren hervorragend. PbS-Konzentrate konnten auf 82 % Pb und ZnS-Konzentrate auf 63 % Zn angereichert werden.

Bleiglanze weisen auffallende Gehalte an Ag, As und Sb auf, während Zinkblenden bemerkenswerte Ag-, As-, Cd-, Ge-, Tl-Gehalte aufweisen. Fe und Mn in Zinkblenden sind als extrem niedrig zu bezeichnen.

Nachstehend Spurenelementgehalte (arithmetisches Mittel) von 15 Zinkblenden:

Ag:	148 ppm
As	1000 ppm
Bi:	0,45 ppm
Cd:	2800 ppm
Tl:	77 ppm
Co:	3,0 ppm
Mn:	7 ppm
Cu:	114 ppm
Sn:	<0,5 ppm
Fe:	674 ppm
Hg:	1,33 ppm
Sb:	2,3 ppm

Ni, Se, Te, In sind jeweils unter der Nachweisgrenze.

Die Raibler Schichten im Karwendel setzen über dem Oberen Wettersteinkalk mit dem 1. Raibler Schieferton ein und bestehen aus einer großzyklischen Abfolge von drei Schieferserien und jeweils darüber folgenden Kar-

bonatserien. Die Mächtigkeit beträgt rd. 260 m. Die Überlagerung bildet der Hauptdolomit.

Im Raum Lafatsch – Vomperloch werden die Karbonatabfolgen von meist dunklen, gebankten Sedimenten aufgebaut.

Mikritische Kalke mit Einschaltung von sedimentären Breccien und Rauhwacken prägen die Karbonatabfolge. Auf die starke Ähnlichkeit in der Ausbildung der Raibler Schichten des Karwendel und der östlichen Gailtaler Alpen weisen bereits KRAUS (1969) und SCHULZ (1970) hin.

Die im Zuge des Forschungsprojektes „Pb-Zn in den Nordtiroler Kalkalpen“ durchgeföhrten sedimentologisch-geochemischen Untersuchungen (KRAINER, 1985) haben jedoch gezeigt, daß den Raibler Schichten des Karwendel, insbesondere der Region Lafatsch – Vomperloch, keine Höfigkeit auf Pb-Zn-Mineralisationen zukommt.

Wie in den Karawanken (CERNY, 1982, CERNY et al., 1982) erscheint die kalkige Fazies im Karwendel vererzungseindlich. Die z. T. reiche Erzführung im Raum Bleiberg ist an faziell differenzierte Dolomitabfolgen gebunden.

5.3.2.9.4. Die Vererzungen im Revier Vomperloch

Das von den östlichsten, bekannten Vererzungen des Pb-Zn-Bergbaues Lafatsch über 3 km entfernte Revier Vomperloch umfaßt nach SCHULZ (1955) 72 mittelalterliche Stollen mit rd. 3 km Auffahrungen. Die Einbauten liegen auf einer Höhe, die von 1370 m bis 2200 m reichen. Die Pb-Zn-Erze sind an den hangenden Wettersteinkalk gebunden und treten ausschließlich in dem von Lafatsch nach Osten streichenden nördlichen Großmuldenschenkel auf. Nach den Befunden von SCHULZ (1955) sind die Vererzungen schichtgebunden und lassen eine Vielzahl von syndiagenetischen Erztexturen erkennen. Die Erzlager können streichende Erstreckungen bis zu 280 m aufweisen. Die Erze sind zinkbetont, als Gangart tritt Calcit und Flußpat auf.

Durch die kleintecktonische Zerstückelung der Erzlager und die ungünstige hochalpine Lage wurden seit Erlöschen des Bergbaus keine bergbaulichen Untersuchungen mehr durchgeföhr. Nach SRIBIK (cit. in SCHULZ, 1955) wurde der Bergbau bereits im Jahre 1276 eröffnet und stand bis 1499 in Betrieb. 1846 bis 1848 wurde der Versuch unternommen, den Bergbau wieder in Betrieb zu nehmen.

Im Zuge des Rohstoffprojektes „Pb-Zn in den Nordtiroler Kalkalpen“ wurden von KRAINER (unveröff. Bericht, 1984) Arbeiten mit sedimentologisch-geochemischem Charakter durchgeföhr. Der zyklische Aufbau des oberen Wettersteinkalkes im Raum Lafatsch klingt gegen Osten aus. Am Ostende des Vomperloches überwiegen monotone, lagunare Sedimente. Entsprechend dieser faziellen Entwicklung sind östlich des Vomperloches keine Pb-Zn-Mineralisationen mehr bekannt bzw. zu erwarten.

Die Geochemie der Erze wurde bereits von SCHROLL (1954) dokumentiert. Die Zinkblenden des Vomperloches sind silberreich (300–500 ppm); die Cd-Gehalte schwanken zwischen 0,3 und 0,5 %; der Ge-Gehalt beträgt 50 ppm. Weitere Analysendaten von Zinkblenden: Ga (10–100 ppm); As (100–1000 ppm); Fe (0,05–0,5 %). Ni, In, Sn liegen unter der Nachweisgrenze. Bleiglanze wurden nicht analysiert.

5.3.2.9.5. Weitere Erzvorkommen im Karwendel

Im Umfeld der Lagerstätte Lafatsch (Vomp) treten eine Reihe von Pb-Zn-Mineralisationen auf, die trotz hochalpiner Lage in früheren Zeiten Anlaß zu bergbaulichen Aktivitäten gaben. Die Mineralisationen konzentrieren sich ausschließlich auf den hangenden Wettersteinkalk. Die Zn-Pb-(F)-Vererzungen am Fuß des Brunnsteins, am Hohen Gleirsch und am Solstein wurden, wie alte Grubenkarten erkennen lassen, intensiv beschürft. Eine Übersicht über die genannten Schurfbaua gibt Abb. 39.

GSTREIN & HEISSEL (1984, unpubl. Bericht an BBU) geben nachfolgende Kurzbeschreibung der genannten Schurfbaua.

Die Vererzungen am Fuße des Brunnsteines bei Scharnitz liegen nur wenige Meter unterhalb der Raibler Schichten. Die Erzkörper sind schichtig angelegt und reich an Flußpat. Am Hohen Gleirsch, am SW-Gehänge des Gipfels gegen den oberen Sagkopf (2132 m) hin treten im obersten Wettersteinkalk konkordante aber auch diskordante Erzführungen (10–20 m im Streichen) auf, die stellenweise durch eine reiche Vanadiumführung (Descloizit) gekennzeichnet sind.

Im Bergbau am Solstein treten zinkbetonte Erze, schichtgebunden am Kontakt zu den Raibler Schichten auf.

Die räumliche Lage, in Bezug zur Lagerstätte Lafatsch, ist durch die tektonische Deformation weitgehend unerforscht. Eine bergwirtschaftlich orientierte Untersuchung der genannten hochalpinen Vorkommen ist seit der mittelalterlichen Aufschluß- und Produktionsperiode nicht erfolgt.

5.3.2.9.6. Die Vererzungen im Revier Nassereith (West)

Die ersten Beschreibungen der Pb-Zn-Bergbaua westlich Nassereith finden sich bei ISSEK (1888).

TAUPITZ (1954) hat in seiner Arbeit über die Blei-Zink-Vererzungen der Nördlichen Kalkalpen westlich der Loisach auch die Bergbaua an der Heiterwand bearbeitet.

Mit ihm hat sich SCHNEIDER (1954, 1964) über lagerstättenkundliche Problemstellungen in diesem Gebiet auseinandersetzt.

Umfassende Arbeiten über Geologie und Fazies lieferten KRAUS (1965), KRAUS-SCHMIDT-THOMÉ (1967).

In jüngster Zeit beschäftigte sich SIDEROPOULOS (1983), BRANDNER, GSTREIN, HEISSEL in CERNY (1984) mit der lagerstättenkundlichen Stellung der Pb-Zn-Vererzungen im Heiterwandgebiet.

Erzparagenetische Bearbeitungen liegen ferner von WETZENSTEIN (1972), geochemische Arbeiten von GROTH-JOHANN (1978) aus diesem Gebiet vor.

Vom frühen Mittelalter an begründeten über Jahrhunderte die Blei- (Zink-) Vererzungen im Wettersteinkalk die besondere Stellung des Heiterwandgebietes unter den Bergaugebieten Tirols, ja der Nördlichen Kalkalpen. Die bergwirtschaftlich bedeutenden Reviere lagen vornehmlich im Osten der Heiterwand. Alleine die sog. „Kuckelzeche“ konnte mit den östlichen Reviere konkurrieren.

Die schichtigen Pb-Zn-Lagerstätten im Bereich der Heiterwand sind ausschließlich an die Lagunenfazies gebunden (Abb. 40).

Der Wettersteinkalk im Heiterwandgebiet läßt eine Dreigliederung erkennen. Das Liegende bilden die Part-

nachsichten, die Hangendgrenze ist durch den Raibler Schieferkalk gegeben. Die Gliederung in den unteren, mittleren und oberen Wettersteinkalk geht bereits auf REIS (1911, cit. in WETZENSTEIN, 1972) zurück, der einen massiven unteren, einen gebankten mittleren und einen feingeschichteten oberen Wettersteinkalk unterscheidet.

Die Mächtigkeit des Wettersteinkalkes nimmt von rd. 800 m im Osten bis auf rd. 120 m im Westteil auf eine Entfernung von 7 km ab. Grund dieser Mächtigkeitsreduktion und somit Faziesdifferenzierung ist die Herausgestaltung einer Riff-Riffschuttfaizies, die gegen Westen in die Beckenfaizies der Partnachsichten übergeht bzw. über das Becken wächst.

Nach Osten wird das Riff von der Lagunenfaizies abgelöst.

Die Pb-Zn-Mineralisationen bzw. Lagerstätten treten ausschließlich in der Lagunenfaizies des hangenden Wettersteinkalkes auf. Diesen kennzeichnet die auffällige Feinschichtung, „milchige Flächen“ sowie schwarze Breccien (SCHNEIDER, 1953).

Kennzeichnend für diesen Horizont ist der nach oben hin zunehmende Pyritgehalt (z. T. Brauneisenkrusten) sowie gelbbraun anwitternde schlierge Texturen von grobkörnigem, eisenschüssigem Dolomit.

Die Pb-Zn-Vererzungen (SCHNEIDER, 1953) sind an die „Sonderfazies“ mit schwarzen Breccien gebunden. Onkolithbänke, deren Komponenten mit faserigem „Ankerit“ umkrustet sind, begleiten die Pb-Zn-mineralisierten Bereiche.

Der Übergang zu den Raibler Schichten wird durch die „Grenzoolithbank“ bzw. „Grenzonkolithbank“ markiert, die in den Raibler Tonschiefer übergeht. JERZ (1965) gliedert die Raibler Schichten in 4 Tonschieferhorizonte mit Sandstein-Einschaltungen.

Sie werden durch drei Karbonatserien getrennt, die aus grauen, z. T. gelblich-braunen Kalken und mürben Dolomiten aufgebaut sind. Feinschichtung und im Streichen anhaltende Fossilbänke sind typisch. Über dem 4. Schieferhorizont treten Mergelkalke mit Resedimenten („Schlickgerölle“) auf, darüber folgen Rauhwacken (Breccien resedimentärer Entstehung).

Die Mächtigkeit der Raibler Schichten beträgt konstant 300–350 m. Die Mächtigkeit der Rauhwacken nimmt von Osten (120 m) gegen Westen (20 m) kontinuierlich ab.

Der Übergang zum Hauptdolomit wird von unterschiedlich mächtigen (bis 200 m) Breccien (Basisbreccie, Basiskonglomerat) gebildet. Schlammströme oder subaquatische Rutscherscheinungen („endostratische Breccien“) zeigen den Übergang zum Hauptdolomit an. Dem mächtigen Komplex des Hauptdolomits folgen obernorische Plattenkalke und Kössener Schichten, die von jurassischen und kretazischen Schichtgliedern überlagert werden.

5.3.2.9.7. Zinkerzbergbau St. Anton am Arlberg

Im Bereich des Arlberges sind zwei Schurfbaua bzw. -vorkommen von Pb-Zn-Erzen bekannt.

Das Vorkommen „Lech“ liegt auf der Gstüttner Alm an Nordabhang des Omesberges bei Lech (Seehöhe 1800 m bis 1900 m).

Nach einem BBU-internen Bericht aus dem Jahre 1949 handelt es sich um Pb-Zn-Erze im Wettersteinkalk nahe dem Kontakt zum Raibler Schiefer. Die nach Süden einfallenden Lager sind durch N-S-Querklüfte in

FAZIESVERTEILUNG IM LADINISCHEN RIFFLAGUNEN-KOMPLEX DER HEITERWAND (schematisches Längsprofil)

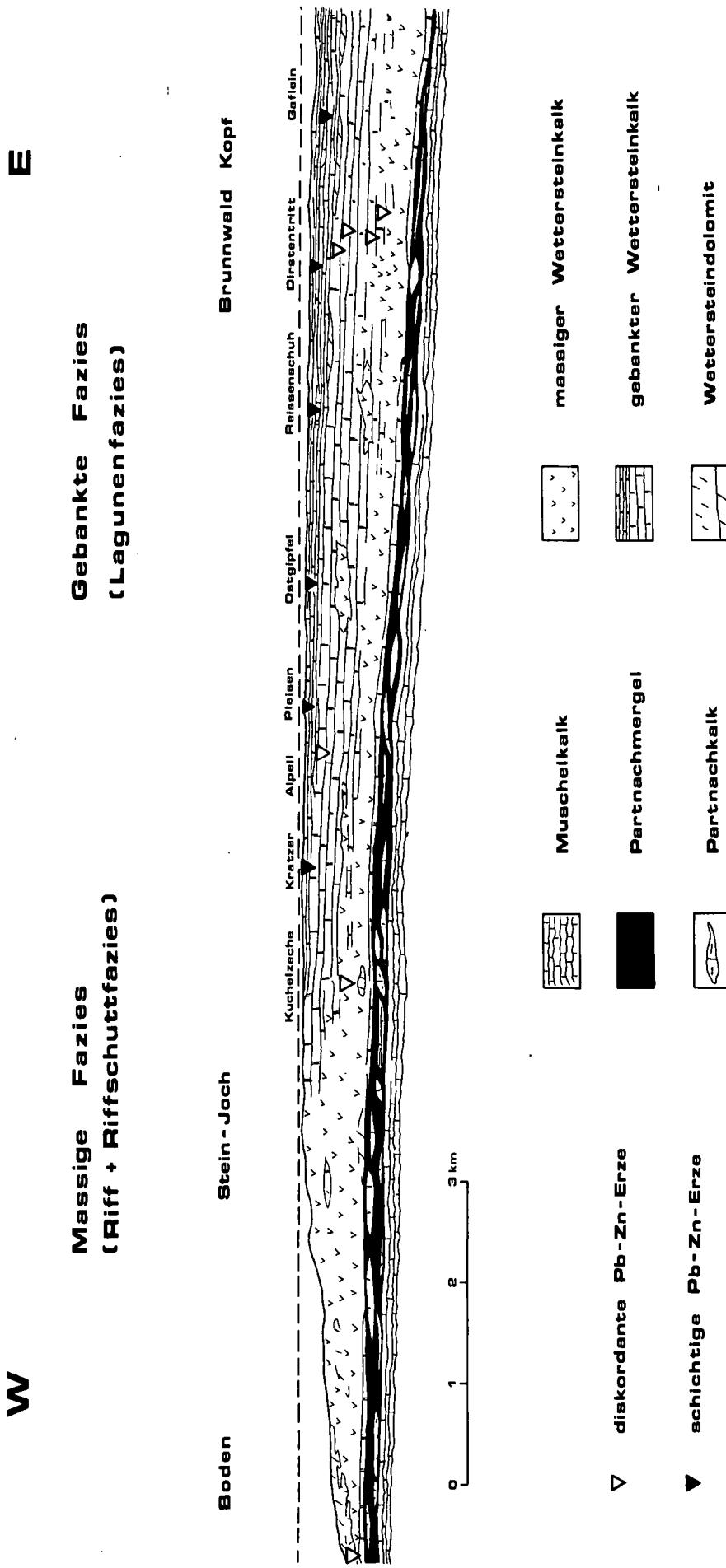


Abb. 40.
Faziesverteilung (E-W) im ladinischen Riff-Lagunen-Komplex der Heiterwand, westlich von Nassereith, Tirol.
Nach KRAUS (1965).

Schollen zerlegt. Die Lagerstätte ist durch mehrere Stollen bis auf eine Teufenerstreckung von etwa 100 m und einer streichenden Erstreckung von etwa 300 m aufgeschlossen. Die Erzhöflichkeit der östlichen und westlichen Randbereiche besteht, wurde jedoch nicht näher untersucht.

Die Mineralführung besteht aus Bleiglanz und Zinkblende, wobei lt. Haldenbefund Zinkblende überwiegt. Spuren von Gelbleierz dürften vorhanden sein.

Das Vorkommen wurde zwischen 1920 und 1930 von einer deutschen Gruppe unter dem Namen „Gewerkschaft St. Christoph“ bearbeitet. Leiter der Untersuchung war Bergrat SEIDEL in Breslau als Chefgeologe der Fa. Georg von Giesche's Erben.

Die Erzführung soll an einer starken Verwerfung abreißen, die Fortsetzung jenseits der Kluft wurde nicht gefunden. Somit wurden die Arbeiten 1930 ergebnislos abgebrochen.

Das zweite Vorkommen im Arlberggebiet trägt den Namen „Zürs“. Die Schürfe befinden sich in der Gegend des „Ochsenbodens“ und des „Arzberges“ östlich bzw. westlich des Flexenpasses. Pb-Zn-Erze treten im Wettersteinkalk nahe dem Kontakt zum Raibler Schiefer auf.

Aus den BBU-internen Berichten, 1949, kann entnommen werden, daß im Arlberggebiet keine wirtschaftlich interessante Substanz an Pb und Zn-Erzen zu erwarten ist.

Moderne lagerstättenkundliche Bearbeitungen sind dem Verfasser nicht bekannt.

5.3.2.9.8. Der Pb-Zn-Bergbau Rauschberg (Bayrische Alpen)

In den Bayrischen Kalkalpen, ca. 10 km westlich Bad Reichenhall, ist die Pb-Zn-Lagerstätte Rauschberg gelegen.

Der Bergbau wurde 1636 erschlossen und stand bis 1894 mit einigen Unterbrechungen in Betrieb. In früheren Jahren wurden vorwiegend oberflächennahe oxidierte Erze (Galmei) gewonnen, die unweit des Bergbaues verschmolzen wurden. Seit einer letzten Untersuchungsphase 1921–1925, in der man ergebnislos eine Unterfahrung der Lagerstätte durchführte, gilt der Bergbau als ausgeerzt.

Nach SCHNEIDER (1953) treten die Pb-Zn-Vererzungen im stratigraphisch hangenden Niveau des Wettersteinkalkes auf. Die überlagernden Raibler Schichten sind erzleer.

Die Mineralisation ist vorwiegend kluftgebunden, wobei eine horizontale Erstreckung E-W von rd. 1250 m und eine Bauhöhe von max. 250 m aus den Grubenrissen erkennbar ist.

Schichtgebundene Pb-Zn-Mineralisationen mit sedimentären Gefügen wurden von SCHNEIDER, 15–20 m liegend des Raibler Kontaktes, beschrieben. Die Ausbildung der erzführenden Schichten entspricht der „Sonderfazies“ in den Nordtiroler Kalkalpen.

Die kluft- und schichtgebundenen Erze am Rauschberg zeigen eine Zinkblendevormacht; Bleiglanz (silberhäftig) und Eisenkiese treten untergeordnet auf. Neben den üblichen Pb-Zn-Oxidationsmineralen treten gelegentlich Spuren von Wulfenit, Malachit, Greenockit und Descloisit auf.

Die Zinkblenden, oftmals Schalenblenden mit z. T. stalaktitischem Charakter („Röhrlierz“), treten als feinkörniges Bindemittel von Kalkbreccien auf. Calcit ist

dominierendes Gangmineral, Flußspat fehlt im gesamten Lagerstättengrenzbereich. Die Konzentration der Erze in tektonischen Strukturen (Brecciierung) dürfte mehrphasig abgelaufen sein.

FRIEDRICH (1967) beschreibt weiters aus dem Bereich Lofer – Reichenhall schichtige Pb-Zn-Mineralisationen (Bergbau NW Unken), die er aufgrund von Haldenbefunden den Carditaschichten zurechnet. Den Erztypus vergleicht er mit den Jaukenkalk-Vererzungen des Bergbaues Radnig (Gailtaler Alpen). Neben schichtigen Erztexturen treten auf Halden Breccienerze auf. Zinkblende und Bleiglanz sind stets mit Kies und eisenreichen Karbonaten vergesellschaftet.

5.3.3. Die Raibler (Cardita-)Schichten als Pb-Zn-Erzträger

Die Raibler Schichten der Draukalkalpen, aber auch der Nördlichen Kalkalpen erweckten schon sehr früh das Interesse der Geologen und Paläontologen (WÖHRMANN, 1889, 1893; BITTNER, 1885), die an den regelmäßig in hellen Karbonatgesteinen auftretenden Schieferlagen mit z. T. reichem Fossilinhalt eine Besonderheit erkannten.

Die Raibler Schichten als markanter Horizont innerhalb der rd. 3 km mächtigen Traisabfolgen setzen über dem Oberen Wettersteinkalk mit dem 1. Raibler Schieferton ein und bestehen aus einer großzyklischen Abfolge von drei, örtlich auch vier Schieferserien und jeweils darüber folgenden Karbonatserien. Der bis zu 350 m mächtige Schichtkomplex der Raibler Abfolge wird von Hauptdolomit überlagert, wobei die Grenzziehung zum Hauptdolomit meist nur nach lithologischen Kriterien erfolgen kann. Als Grenze zum Hauptdolomit dient die „Basisbreccie“ zum Hauptdolomit, wo diese fehlt, die „Calcitzone“ (HOLLER, 1951).

Synchrone Begriffe für Raibler Schichten sind „Cardita-Schichten“, „Bleiberger Schichten“ und „Zirler Schichten“. Ausführliche nomenklatorische Diskussionen finden sich bei BECHSTÄDT (1978) und WARCH (1979).

Die montangeologische Praxis im Bleiberger Raum und angrenzenden Gebieten (Drauzug) aber auch den Nordtiroler Kalkalpen versteht unter Raibler Schichten die Schieferthonhorizonte, während die karbonatischen Zwischenschichten als Carditaschichten (-dolomite) angesprochen werden.

5.3.3.1. Stratigraphie und Fazies der Raibler Schichten im Drauzug

Die Grundlegenden Erkenntnisse über die Stratigraphie der Raibler (Cardita-) Abfolge in den Draukalkalpen und ihrer Erzhöflichkeit wurde von GEYER (1901), HOLLER (1951) erarbeitet. Beide Autoren erkannten, daß drei stratigraphisch verschiedene Schieferthonhorizonte vorhanden sind. Andere Autoren (unpubl. BBU-Berichte) vertraten die Ansicht, daß eine tektonische Wiederholung eines einzigen Schiefers vorhanden ist. Neuere Arbeiten über die Raibler Schichten stammen von SCHULZ (1960, 1970), KRAUS (1968, 1969), CERNY (1978, 1982), KRÄMER (1985), HAGEMESITER (1986). In den westlichen Nördlichen Kalkalpen sind vor allem die Arbeiten von HARSCH (1970), JERZ (1965, 1966), SCHULER (1968) und KRÄMER (1985) zu nennen.

Die Erforschung der Raibler Schichten im Bleiberger Raum geht auf HOLLER (1951) zurück, der einleitend schrieb: „Die Schwierigkeiten, eine Feinstratigraphie der Hangendschichten zu erarbeiten, lagen vor allem darin, daß die Bleiberger Bergleute es seit jeher vermieden haben, Querschläge durch den Lagerschiefer in das Hangende vorzutreiben, einerseits um sich vor Wassereinbrüchen zu schützen, andererseits deshalb, weil Erzkörper in der Regel nur im Wettersteinkalk erwartet werden durften.“

HOLLER hat als Erster für den Bereich Bleiberg ein Normalprofil erstellt, das mit gewissen Einschränkungen auch heute noch für den gesamten Drauzug Gültigkeit hat (CERNY, 1982; HAGEMEISTER, 1986).

Die Raibler Schichten sind in einer erstaunlichen Konstanz über den gesamten Drauzug (Gailtaler Alpen und Karawanken- Nordstamm) vertreten. Sie setzen sich (vgl. Tab. 15) aus einer dreimaligen, örtlich viermaligen Wechselfolge von tonig, siltig-sandigen Lagen („Schiefertone“) und aus kalkig-dolomitischen bis evaporitischen Abfolgen zusammen. Die mittlere Mächtigkeit der Schiefertonhorizonte beträgt etwa 20 m, die Karbonatabfolgen schwanken zwischen 60 und 80 m. Im Raum der Lagerstätte Bleiberg treten Abweichungen auf, die sich vor allem in mineralisierten Bereichen in reduzierten Mächtigkeiten äußern (siehe Kap. 6. „Die Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth“). Im Osten des Drauzuges treten Gesamtmaßnahmen von 200–250 m auf, gegen Westen nimmt die Mächtigkeit auf Kosten der Karbonateinschaltungen ab. In den Lienzer Dolomiten werden Mächtigkeiten von rd. 100 m erreicht.

Die Raibler Schichten setzen mit einer cm- bis mehrere dm-mächtigen Onkoid-führenden pyritisierten

Bank, dem „Kiesoolith“ über dem Wettersteinkalk ein. In manchen Profilen, insbesondere im westlichen Drauzug (Jauken etc.) ist diese Leitbank nur als pyritreiche Schwarze ausgebildet. Der Schiefer mit örtlich eingelagerten fossilreichen Karbonatbänken (Echinodermen, Lamellibranchiaten, Foraminiferen, Ceratiten etc.) weist auf eine Verbindung zu offenmarinen Bereichen hin. Der Kontakt zur ersten Karbonatabfolge bildet eine Sandsteinbank. Die erste Karbonatabfolge ist unterschiedlich ausgebildet. Im Ostteil der Gailtaler Alpen herrschen gut gebankte Dolomite und Kalke mit Stromatolithlagen, sowie Resedimenten vor. Ein Bitumengehalt ist charakteristisch. Nach Westen wird die Karbonatabfolge von mürben, z. T. zelligen Rauhwacken unterbrochen. Diese Sedimente weisen auf eine primäre Wechsellegerung von Dolomiten und Evaporiten hin, wobei es infolge Lösung der Evaporite zur Bildung von Collaps-Breccien kam, die ihrerseits das Ausgangsmaterial für Rauhwackenbildungen waren. Im Übergang zum 2. Schieferton tritt eine Fossillage („Lumachelle“) auf.

Der örtlich karbonatreiche Schieferton wird aus dunklen, splittrig brechenden Schiefertonen aufgebaut. Geringmächtige Schillagen und Kalksandsteine sind charakteristisch. Die 2. Karbonatabfolge wird aus bankigen bis plattigen dunklen Dolomiten und Kalken aufgebaut, die örtlich Hornsteinlagen und -knollen beinhalten. Im Westen der Gailtaler Alpen sind wiederum Rauhwacken und zellige Dolomite vertreten. Den Abschluß dieser Abfolge bildet die sog. „Grobonkolithbank“. Diese fossilreiche Bank (dm- bis 11 m-mächtig) wird von Algen-Foraminiferen, Onkoiden, Echinodermen, Brachiopoden, Lamellibranchiaten, Gastropoden,

Tabelle 15.
Stratigraphische Position der Pb-Zn-Vererzungen in den Cardita-Schichten (Raibler Schichten, Karnische Stufe) der Draukalkalpen.

Pirkach-Hochstadel	Jauken	Förolach	Mitterberg	Tschekel-nock	Rubland	Bleiberg Wertschacher A. Karawanken bis Mittewald
Hauptdolomit „Basisbreccie“ bzw. „Calcitzone“						Molybdän- (Jordosit-)Mi- neralisationen
CD III	Stratiform Zn, Pb, F, Fe	Störungs- gebunden (Pb, Zn)	Breccien + z.T. strati- form Pb, Zn, Ba	Rauhwacken + Breccien Pb, Zn, (Ba)	Stratiform Pb, Zn, Ba, F, Fe	Rauhwacken + Breccien, mobilisiert, Resedimente Zn, Pb, F, Ba
3. Schiefer Onkolithbank						Vererzte Onkoide (Vellachatal – Hochobir)
CD II					Rublandstol- len, stratiform Pb, Zn (Fa- ziesgrenze)	Stratiform Zn, Pb, F
2. Schiefer Lumachelle						
CD I		Breccien Zn (Pb) F	Zn-, Pb-Mine- ralisationen	Zn, Pb, F		Stratiform Disseminiert Zn, Pb, F
1. Schiefer Kiesoolith						
Wettersteinkalk	Stratiform		Stratiform		Stratiform	Stratiform, gangförmig, stockförmig

Foraminiferen und Bryozoen aufgebaut und gilt als untrüglicher Leithorizont im gesamten Drauzug.

Der dritte Schieferton baut sich aus karbonatreichen und sandigen Schiefern auf. Der Sandgehalt nimmt gegen Westen hin zu. Die Sandsteinlagen sind häufig schräggeschichtet und reich an Lebensspuren.

Die dritte Karbonatabfolge ist sehr unterschiedlich ausgebildet. Während im Raum Bleiberg plattige Dolomite vorherrschen, besteht diese Abfolge in westlichen Profilen aus mächtigen Rauhwacken (z. B. Tschekelnock). Die Grenzziehung der Raibler Schichten zum überlagernden Hauptdolomit ist schwierig. Diese trifft nicht nur für den Drauzug, sondern auch für die Nördlichen Kalkalpen zu (KESSLER, 1985). HOLLER (1951) läßt aufgrund seiner Arbeiten die Raibler Sedimente mit dem Einsetzen der sog. „Basisbreccie“ enden. Wo diese fehlt, treten häufig calcitgeäderte, zellige, dunkle Dolomite auf. CERNY (unpubl. BBU-interne Berichte) konnte zeigen, daß der überlagernde Hauptdolomit auffallend niedrige Fe(Pb,Zn)-Gehalte aufweist und somit örtlich ein geochemisches Hilfsmittel zur Unterscheidung Carditadolomit-Hauptdolomit besteht.

5.3.3.2. Pb-Zn-Erzführung in den Raibler Schichten

Die Erkenntnis, daß in den Carditaschichten (1. Karbonathorizont) bauwürdige Pb-Zn-Vererzungen im We-

sten des Bergbaues Bleiberg-Kreuth (Revier Max) vorhanden sind, geht auf das Jahr 1952 zurück.

Ein Streckenvortrieb in das bislang als nicht mineralisiert geltende stratigraphische Niveau des 1. Cardita-Zwischendolomits erbrachte unverhoffte Erzaufschlüsse (mündl. Mitt. Prof. Dr. KOSTELKA).

Die streng schichtgebundenen Erze, die heute noch Derberzmächtigkeiten von 0,5–5 m aufweisen, erstrecken sich auf rund 600 m im Einfalten. Die streichende Erstreckung erreicht oftmals mehr als 200 m.

Die Erze haben Zinkblendevormacht ($Pb : Zn = 1 : 6$) und sind zum Teil reich an Flußpat.

Die „Carditascholle“ mit initialen Erzvorräten von >2 Mio. t ($Pb+Zn \approx 10\%$) stellt heute noch ein wesentliches Lagerstättenpotential dar.

Es muß erwähnt werden, daß lokal Erze des Carditaniveaus bereits in vorigen Jahrhunderten gebaut wurden. Die tagnahen Andreasverhause im Revier Rudolf gehen auf diese Bergbauepoche zurück.

In der Rublandeinheit, 4,5 km nördlich von Kreuth gelegen, treten schichtige Pb-Zn(Ba,F,Fe)-Erze in plattigen Karbonaten über dem 3. Raibler Schiefer-ton auf.

Westlich von Bleiberg-Kreuth finden sich im Bereich der Windischen Höhe (Wertschacher Alpe, Tschekelnock) und im Bergbau Mitterberg Zeugnisse umfangreicher Bergbautätigkeit. Die erzführenden Schichtglieder letztergenannter Bergbaue treten nach heutigem Kennt-

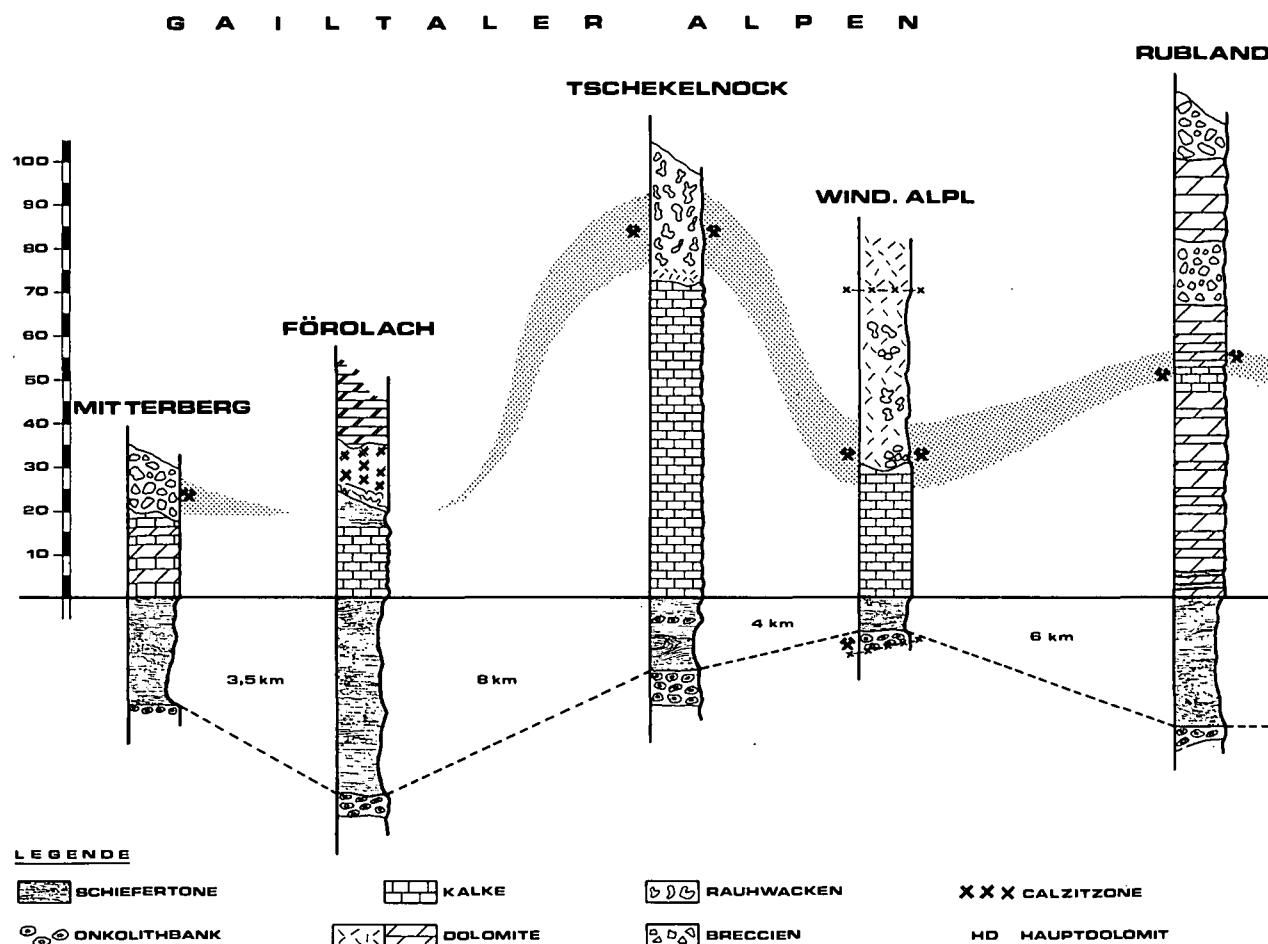


Abb. 41.
Stratigraphische Position der hangenden Raibler Schichten.
Lithofazies in der 3. Raibler Karbonatabfolge. Position der Pb-Zn-Vererzungen.
Nach CERNY (1982).

nisstand in den hangenden Raibler Schichten (über dem 3. Schieferton) auf. Im Revier Mittewald, östlich von Bleiberg gelegen, reichen die Pb-Zn-Erze des Wettersteinkalkniveaus örtlich bis in die Carditaschichten.

Nach dem Bekanntwerden von Pb-Zn-Vererzungen innerhalb karnischer Karbonate führte das zunehmende bergwirtschaftliche Interesse an den Raibler Schichten zu einer intensiven Untersuchung derselben.

Neben dem Schwerpunkt Bleiberg-Kreuth wurden vor allem in den Jahren 1976 bis 1983 die erzhöflichen Schichtglieder in den Gailtaler Alpen, den Karawanken und den nordtiroler Kalkalpen untersucht. Durch sedimentologisch-geochemische Arbeitsweisen mußte erkannt werden, daß nur die östlichen Gailtaler Alpen, insbesondere der Raum Bleiberg-Kreuth erzhöflich bzw. erzführend sind. Die Forschungsergebnisse zeigen, daß der dolomitische, durch ein ausgeprägtes Paläorelief gekennzeichnete Ablagerungsraum der östlichen Gailtaler Alpen für die Erzhöflichkeit ausschlaggebend ist. Die kalkigen, unter ruhigen, lagunaren Verhältnissen abgelagerten Karbonate in den Karawanken, den nordtiroler Kalkalpen und weiten Teilen der Gailtaler Alpen sind als nicht erzhöflich zu bezeichnen.

CERNY (1982) konnte jedoch anhand von mineralisierten Onkoiden am Hochobir und mineralisierten Breccien in Förolach bei Hermagor zeigen, daß in den Raibler (Cardita-) Schichten ein örtlich begrenztes Metall-

angebot vorhanden war; auch die schichtgebundenen Mineralisationen in Pirkach bei Oberdrauburg treten in Karbonaten über dem 3. Schiefer auf.

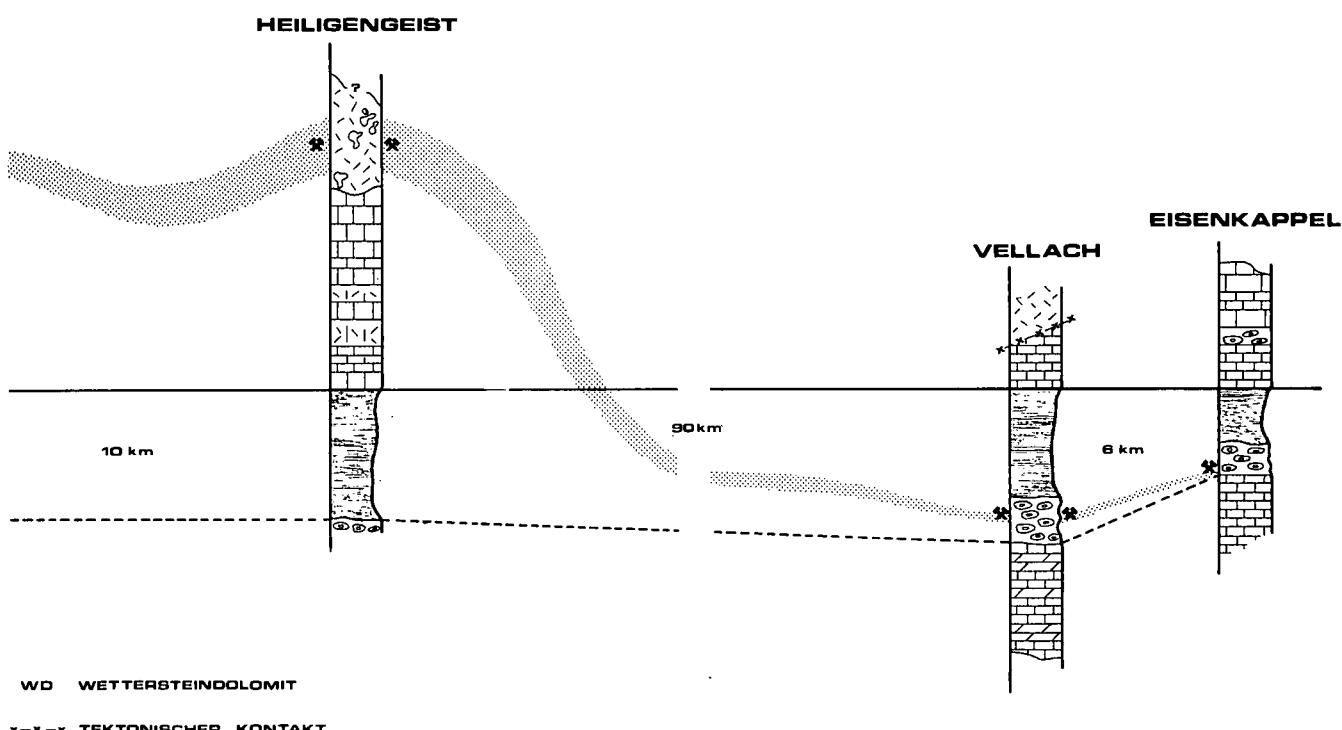
Einen Überblick über die stratigraphische Position der Erzförderung in den Raibler (Cardita-) Schichten gibt Tab. 15.

5.3.3.3. Pn-Zn(Ba)-Vererzungen in den hangenden Raibler Schichten

Die karbonatische Abfolge über dem 3. Raibler Schieferton in den Gailtaler Alpen und Teilen der Karawanken beinhaltet gelegentlich Pb/Zn-Mineralisationen bzw. Vererzungen (Abb. 41). Einschlägige Arbeiten über diese Vererzungen liegen von HOLLER (1950, 1977), SCHROLL (1954), SCHERIAU (1967, 1975), CERNY (1982), HAGEMEISTER (1986) vor.

Neben schichtgebundenen Pb-Zn-Ba(F)-Vererzungen in gebankten Dolomiten treten faziesgebundene Vererzungen in Rauhwacken, Breccien und massigen Dolomiten auf. Alle derzeit bekannten Vererzungen sind an die Dolomitfazies gebunden. Als Gangart tritt neben Kalzit, Dolomit, oftmals Baryt, untergeordnet Fluorit und Anhydrit auf. Von West nach Ost treten in dieser Schichtgruppe Vererzungen an folgenden Lokalitäten auf:

K A R A W A N K E N



a) Gailtaler Alpen

Hochstadel (südwestlich Oberdrauburg)
Pirkach (südwestlich Oberdrauburg)
Mitterberg – Rubland (Verbindungsstollen nördlich Kreuth)
Tschöckelnock (westlich Windische Höhe)
Schneidergraben und Windisches Alpl (westlich Kreuth Olgastollen)
Heiligengeist (div. Stollenaufschlüsse im Revier Heiligengeist – Mittewald)

b) Karawanken

Hochobir – Vellachtal (Pb-Zn-mineralisierte Onkoidkerne)

In den Nördlichen Kalkalpen sind keine Vererzungen bekannt.

Die Vererzungen erweckten nur im Rubland, am Tschöckelnock und am Mitterberg bergwirtschaftliches Interesse. Am Mitterberg sowie am Tschöckelnock (westlich der Windischen Höhe) wurde der Bergbau bis über die Jahrhundertwende betrieben; die Rublandvererzung wurde in letzter Zeit unter Tage exploriert, wobei es mit Bohrungen gelang, die schichtigen Erze auf 200 m im Streichen und 300 m im Verflächen gegen die Teufe zu erkunden.

HOLLER (1977) berichtet, daß neben der „strukturgebundenen“ Erzführung auch Anzeichen schichtiger Erze in plattigen Dolomiten des hangenden Carditadolomits auftreten. In durchschlägigen Stollen wurden auch Mineralisationen in der zweiten Cardita-Karbonatabfolge und im hangenden Wettersteinkalk beleuchtet.

Über den Bergbau am Mitterberg ist wenig bekannt. HOLLER (1977) dokumentiert in seiner Arbeit, daß die Suchstrategie stark an die Verhältnisse des Bleiberger Raumes angelehnt war. Demnach war in der letzten Betriebsperiode (1901–1906) die Suche auf die Auffindung im Wettersteinkalk abgestellt. Dieser wurde durch bergtechnische Schwierigkeiten beim Durchörtern des 3. Schiefers gar nicht erreicht. Die Betriebsergebnisse dieser letzten Gewinnungstätigkeit wurden von TRIPOLD (1909, cit. in HOLLER, 1977) dokumentiert. Die Produktion und Verarbeitung im Revier Max (siehe Übersichtskarte) belief sich auf 23.658 t Roherz, woraus HOLLER aus Aufbereitungsdaten einen mittleren Metallgehalt von 4,5 % Pb und 15,0 % Zn errechnete. Auf der Suche nach Reicherzen im Wettersteinkalk des Typus Bleiberg wurden nach HOLLER lediglich kluftgebundene Erzführungen im hangenden Carditadolomit untersucht. Die Breccienkörper, die sich lateral der NW-Klüfte ausdehnen, wurden nicht exploriert.

Über die Erzhöufigkeit dieses Gebietes schreibt HOLLER (1977):

„Die Mitterberger Erzzone verspricht auf einer streichenden Erstreckung von rd. 5 km, ähnliche Massenerzkörper zu bieten wie die in den letzten Jahrzehnten in Kreuth und Rubland erschlossenen, syngenetischen, lagerförmigen Vererzungen im Carditadolomit.“

Die Mitterberger Erzzone von Süden her zu unterfahren, war schon nach der Jahrhundertwende begonnen worden. 1947–1948 sollte dieses Projekt mit ECA-Mitteln (Marschal-Plan) zum Ziel geführt werden, doch scheiterte dieses Vorhaben an der Finanzierbarkeit (Dr. E. Pack, als Inhaber der Mitterberger Grubenfelder, sollte ein Drittel der Finanzierung übernehmen). Seit dieser Zeit ist das Gebiet am Mitterberg in Vergessenheit geraten. Selbst von der BBU wurden in den letzten 30 Jahren keine Bestrebungen angestellt, das sehr unwegsame Gebiet zu prospektieren.

Der Förolacher Erbstollen wurde von den Treibacher Chemischen Werken (TCW) in den Jahren vor und nach dem 1. Weltkrieg, in mehreren Betriebsperioden, in 670 m Seehöhe, 100 m über dem Gailtal angesetzt und abgesehen von einigen gesteinsbedingten Richtungsänderungen in NNE-Richtung auf 3,2 km Länge vorgetrieben. Zweck des Stollens war die Unterfahrung alter Pb-Zn-Vorkommen im Südteil der Gailtaler Alpen (Gradlitzten Hauptkamm) sowie die Unterfahrung des Bergbaues Mitterberg. Dieser rd. 1,2 km nördlich gelegene Zielpunkt konnte zufolge eines Wassereinbruches (ca. 1000 l/sec.) nicht erreicht werden. Der Stollen wird heute noch bauhaft gehalten, das Wasser wird in einem Kraftwerk der TCW abgearbeitet.

HOLLER (1977) gab eine umfassende Dokumentation der Geologie und Tektonik der Stollenachse. Der Stollen durchörtert ein nahezu vollständiges Triasprofil. CERNY (1982) publizierte sedimentologisch-geochemische Daten der Raibler Schichten. Diese Ergebnisse waren Teil einer geochemisch-sedimentologischen „Traverse“ durch die im Stollen aufgeschlossene Trias-abfolge. Nach HOLLER (1977) hatte man damals offenbar nur „Bleiberger Verhältnisse“ im Auge und erwartete sich größere Erzvorkommen nur im hangenden Wet-

5.3.3.4. Die Bergbaue am Mitterberg – Tschöckelnock – Förolach

Am Nordabhang des Gebirgskammes Mitterberg – Meisternock, in der Kreuzen gelegen, sind nach HOLLER (1950) zahlreiche alte Baue auf Pb und Zn innerhalb einer streichenden Erstreckung von 5 km in EW-Richtung bekannt. HILLER beschreibt die geologischen Verhältnisse wie folgt:

„Die Erzzone als solche repräsentiert sich als eine im Streichen und Fallen regelmäßig auftretende, dem Schichtverband konkordante, zwischen 2 m und 50 m mächtige Zerrüttungszone des untersten Hauptdolomits, welche stets im Abstand von wenigen Metern im Hangenden des obersten (3.) Carditaschiefers auftritt. Dieser 3. Carditaschiefer bildet einen sicheren Leithorizont für die Auffindung der Erzzone, zumal er sich von den beiden tieferen Schiefern (2. und 1. Schieferfront) durch die Existenz einer 3 m bis 6 m mächtigen Kalkgrobolithbank an seiner Liegengrenzung unterscheidet. Die Mylonitzone im Hauptdolomit ist durch spätere Mineralisation mit Kalzit, lokal mit Pb-Zn-Erzen, Schwerspat verheilt und verfestigt worden.“

Die im Gegensatz zum dunklen, nahezu schwarzen „Hauptdolomit“ leicht erkennbare, schneeweisse „Kalzitzone“ erleichtert das Aufsuchen der Vererzungen. Nach HOLLER (1950) stellt diese Zone eine gewaltige, auf 5 km nachweisbare „Peneing Plain Fault“ dar. Im Gegensatz zu den sehr gleichmäßigen Kalzitverheilungen treten Pb- und Zn(Ba)-Vererzungen nur im Bereich jüngerer NW-Blätter auf. Die NW-Störungen verwerfen den Schichtverband samt der Mylonitzone (Zehnermeter-Bereich bis max. 300 m) rechtssinnig horizontal. HOLLER sieht die NW-Störungen (wie in Bleiberg-Kreuth) als Erzbringer.

Der Verband Carditaschichten – unterer Hauptdolomit steht im Mitterberger Erzrevier nahezu saiger. Tektonisch liegt das Vorkommen am Südrand einer rd. 4 km breiten, obertägig mit Hauptdolomit gefüllten Synklinale. Der Südschenkel dieser Synklinale mit Hauptdolomit, Carditaschichten und oberer Wettersteinkalk taucht in steiler Lage auf und zeigt am Kamm des „Mitterberges“ bereits antikinalen Bau.

tersteinkalk. Die Suchtätigkeit in diesem stratigraphischen Niveau blieb erfolglos. Anstehende Zink-Mineralisationen im 1. Carditadolomit (CERNY, 1982) wurden wenige Meter im Streichen ausgerichtet, es wurde ihnen jedoch keine weitere Bedeutung beigemesen. Selbst Zn-, F-Mineralisationen in „Maxer Bänken“ (Liegendabfolge des Wettersteinkalkes) blieben unaufgeklärt.

Geochemie der Karbonatgesteine am Mitterberg

Über die Karbonatsedimentologie und das geochemische Verhalten des Nebengesteines wurden von SCHE-RIAU-NIEDERMAYER (1975), HAGEMEISTER (1986) erste Daten erarbeitet. In einem karbonatsedimentologischen Profil durch die Raibler Schichten konnte HAGEMEISTER zeigen, daß die Breccie der Mitterberger Erzzone kein anomales Verhalten hinsichtlich Blei/Zink zeigt, die Erzführung in Angleichung an HOLLER (1977) nur an NW-Klüfte gebunden sind. Über das Verhalten von Baryt in der Breccie liegen keine Angaben vor. Die Durchsicht von vererztem Haldenmaterial läßt ausschließlich „Matrixvererzungen“ erkennen. PbS, ZnS, BaSO₄ treten putzenförmig in der kalzitisch-dolomitischen Matrix der vorwiegend aus dunklen Dolomiten aufgebauten Breccie auf.

Geochemie der Mitterberger Erze

SCHROLL (1954) dokumentierte die Mitterberger Vererzung anhand von 5 Zinkblende- und einer Bleiglanzprobe mit nachfolgenden Geochemiedaten:

- Bleiglanz
Sb: 30 ppm
Sn: 5 ppm
Ag, As, Bi, Tl liegen unter der Nachweisgrenze
- Zinkblenden
Mn: 30–500 ppm
Fe: 100–1000 ppm
Cd: 1000–5000 ppm
Ge: 10–500 ppm
Tl: 3–5 ppm
Ag: 1–5 ppm
Hg, Ga, In, Sn, As, Sb, Ni liegen unter der Nachweisgrenze

Sowohl Zinkblenden als auch Bleiglanze sind an Spurenelementen abgereichert. Das geochemische Verhalten weist auf Mobilisationsprozesse hin.

5.3.3.5. Das Erzvorkommen im Pirkner (Pirkach)-Graben bei Oberdrauburg

Das westlichste, in den Gailtaler Alpen bekannte Pb-Zn-Erzvorkommen, befindet sich im Bereich von Oberdrauburg. Im Pirkachgraben und in streichender Fortsetzung gegen den Hochstadel (Rosengarten) treten in den hangendsten Schichtgliedern der Raibler Schichten Pb-Zn-Mineralisationen auf, die mit Eisenkiesen und Flußspat vergesellschaftet sind. Die streng schichtgebundene Mineralisation tritt in einer Mächtigkeit von maximal 1 m in gut gebankten, braungrauen Karbonaten ca. 20 m über dem 3. Raibler Schieferton auf. Grobkörnige Zinkblendeaggregate erinnern sehr stark an den Vererzungstypus auf der Radniger Alm bzw. auf der Jauken (beide „Wettersteinkalk“).

Eine moderne Bearbeitung der Mineralisationen am Westende der Gailtaler Alpen fehlt. SCHROLL (1954) publizierte folgende geochemische Daten der Erze:

- Zinkblenden
Fe: 1000 ppm
Cd: 5000 ppm
Ge: 1000 ppm
Ga: 1000 ppm
Tl: 5 ppm
Sb: 10 ppm
(Co, Ag, Hg, In, Sn, As unter der Nachweisgrenze)
- Bleiglanze
Ag: 5 ppm
Sb: 50 ppm
Bi: 3 ppm
Sn: 10 ppm
(Tl, As unter der Nachweisgrenze)

SUSSMANN (1901) beschreibt das Erzvorkommen wie folgt: Man hat an den Schichtungsflächen des Gesteins parallel verlaufendes, 0,6 m bis 1 m mächtiges Erzmittel mit einem 6 m langen Stollen verfolgt, eine weitere Untersuchung jedoch unterlassen.

Von der Talsohle ab, nach der Pirkacher Alm zu, lassen sich eine Reihe von Ausbissen wahrnehmen, die vor allem durch braun anwitternden Schwefelkies gekennzeichnet sind. Auf der Pirkacher Alm findet man größtenteils verfallene Gruben, die in der Richtung nach dem Rosengarten getrieben wurden und z. T. auch bis dahin durchschlägig sind. Die stets an den Ausbissen einer Lagerstätte angesetzten Stollenmundlöcher liegen in streichender Linie hintereinander und diese Linie trifft bei ihrer Verlängerung nach Westen die alten Gruben im Rosengarten (Seehöhe: 2100 m), auf ihrer östlichen Fortsetzung aber die erwähnten Ausbisse im Pirkachgraben (Seehöhe: 720 m, Drautal).

Nach dem erzmikroskopischen Befund von SUSSMANN „löst sich eine erzreiche Partie in Grundmasse und Einsprenglinge auf“. Die Grundmasse wird von großen Fluoritkörnern, die äußerst viele Bitumenpartikelchen sowie winzige Calcit- und Barytkörnchen einschließen, gebildet. Die Einsprenglinge bestehen aus großen, hellgelben, ausgeläppten Zinkblendeindividuen, Markasitagggregationen und größeren Calcitkörnern.

Der heutige Geländebefund bestätigt, daß eine streng schichtgebundene Mineralisation in Karbonatgesteinen über dem 3. Raibler Schieferton vorliegt; wenn auch über rd. 1400 Höhenmeter bzw. 3 km streichende Erstreckung keine durchgehende Mineralisation zu erwarten ist, so stellt diese Erzführung am Westende der Gailtaler Alpen eine aufklärenswerte Besonderheit hinsichtlich der stratigraphischen Stellung und der hohen Ge/Ga-Gehalte der Zinkblenden dar.

Ein weiteres, heute wohl weitgehend unbekanntes, Erzvorkommen im Bereich südlich Oberdrauburg beschreibt SUSSMANN (1901) aus dem Marchgraben. „Vom Flaschberg aus führt ein Alpenweg über die Schartenalpe nach dem Lessachthale; wo dieser eine Krümmung macht, überschreitet er den Marchgraben, in dem ein kleines Wasser dem Pirknerbach zufließt“. In den, dem Rhät zugehörigen dünnbankigen, grauen, wulstigen Knollenkalken befindet sich ein 4 m langer Stollen. Mit ihm durchfuhr man eine 2 m mächtige Partie grauer Kalke mit Einsprenglingen von Bleiglanz und Zinkblende und spärlich Baryt.

6. Die Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth

6.1. Geologisch-tektonischer Überblick

Die Lagerstätte (Abb. 42), in den östlichen Ausläufern der Gailtaler Alpen gelegen, ist an die mächtige, vorherrschend karbonatische Abfolge der Trias gebunden (Abb. 43). Von der insgesamt rd. 3000 m mächtigen „geosynkinalen“ Sedimentabfolge im Bleiberger Raum sind rd. 350 m als erzhöflich bzw. erzführend bekannt, wobei sich die Pb-Zn-Vererzungen auf fünf stratigraphisch einstuftbare Schichtglieder konzentrieren.

Im Liegenden der Triasabfolge finden sich auf der metamorphen paläozoischen Basis („Gailtalkristallin“) diskordant auflagernd rote Sandsteine des Perm (Grödner Sandstein) bzw. Permoskythsandsteine. Darüber folgen rote und grüne, mergelige und sandige Schiefer, oftmals gipsführend, der skythischen Stufe (Werfener Schichten), die sich innig an die permischen Bildungen anschließen. Auf die klastischen Werfener Schiefer folgen ohne scharfen Übergang mergelige Kalke der anisischen Stufe („Alpiner Muschelkalk“), die als marine Flachwassersedimente ausgebildet sind. Der überlagernde anisische Zwischendolomit ist oftmals Träger von Blei-Zink-Mineralisationen (siehe Kapitel Vererzungen in der anisischen Stufe), die jedoch ausschließlich am Nordrand der Gailtaler Alpen auftreten (Kellerberg, Aichach, Steinfeld, Kolm bei Dellach).

Der obere Abschnitt des „Alpinen Muschelkalkes“, der meist aus dunklen, bituminösen, hornsteinführenden Kalken mit tuffitischen Einschaltungen aufgebaut wird, leitet einerseits über in die Plattformfazies des Wettersteinkalkes/-dolomites, andererseits in die zeitäquivalente „Beckenfazies“ der Partnachschichten („Kellerbergfazies“ im Nordteil der Gailtaler Alpen gelegen).

Im unmittelbaren Gebiet des Bergbaues geht der „Alpine Muschelkalk“ ohne scharfe Grenze in dolomitische Gesteine (Wettersteindolomit) der ladinischen Stufe über. Ebenfalls ohne scharfe Grenze erfolgt der Übergang in den Komplex des Wettersteinkalkes. Der Wettersteinkalk als lithostratigraphische Einheit wird in seinen liegenden Anteilen von gut gebankten Karbonaten mit grünen mergeligen Zwischenlagen aufgebaut. Diese als „Maxer Bänke“ (nach der Gruber Max im Westen der Lagerstätte) bekannt gewordene Abfolge ist das liegendste Pb-Zn-führende Schichtglied. Die Erze sind schichtig ausgebildet.

Durch Zwischenschichten getrennt folgt der „Erzkalk“ (Bleiberger Fazies), hauptsächliches Trägergestein der seit rd. 700 Jahren in Abbau befindlichen Blei-Zinkerze. Weit über 1000 km Stollen und Strecken zeugen von der Ergiebigkeit dieses erzführenden Ge steinspaketes.

In den obersten 120 m dieser Bleiberger Fazies treten insgesamt neun sehr ausgeprägte Leitschichten, die in der Bergmannssprache „edle Flächen“ genannt werden, auf. Diese Leitschichten sind Abbild einer zyklischen Sedimentation innerhalb eines flachmarinen Ablagerungsmilieus mit zeitweisen Verlandungen. Evaporite sind häufig.

Schon lange ist bekannt, daß ein Zusammenhang zwischen Vererzungen und diesen Leitflächen besteht. An deren systematischer Erfassung wird seit etwa 1930 gearbeitet, wobei die grundlegenden Erkenntnisse von HOLLER (1936) stammen.

Die Kenntnis der Leitflächen erleichtert sowohl die Erzsuche als auch die Auflösung der Tektonik.

Über dem „Erzkalk“ setzen mit einer scharfen Grenze die Raibler Schichten („Cardita Schichten“) ein. Sie beginnen mit dem ca. 5 m–40 m mächtigen 1. Raibler Schiefererton, der an der Basis eine Oolithbank führt. Diese Schiefertonabfolge wiederholt sich im Hangenden noch zweimal (2. Schiefer mit Lumachelle, 3. Schiefer mit Onkolithbank an der Basis) und wird jeweils von 30 m–70 m mächtigen Karbonatsedimenten unterbrochen bzw. überlagert. Die karbonatischen Zwischenschichten sind erzführend, insbesondere jedoch die liegendste Abfolge mit ihren stellenweise reichen, schichtgebundenen Pb-Zn-Erzen im Westen der Lagerstätte.

Gegen den hangenden Hauptdolomit ist der Übergang undeutlich ausgebildet. Im Grenzbereich finden sich Resedimentbreccien, die „Basisbreccie“ zum Hauptdolomit. Die über 1000 m mächtige Abfolge des Hauptdolomites der norischen Stufe ist nicht erzführend.

Die mächtige Gesteinsabfolge der Trias im Gebiet von Bleiberg-Kreuth kam in einem flachen Meeresteil zur Ablagerung, der eine reiche Gliederung durch Schwellen und Lagunen aufwies. Aus den Sedimentstrukturen ist ferner zu entnehmen, daß es mehrfach zu Verlandungen und Küstenbildungen, selbst zu Verkarstungen und Höhlenbildungen kam. Die gesamte Sedimentabfolge mit den darin enthaltenen Erzkörpern wurde einer intensiven Tektonik unterworfen. Zerscherungen mit Blockbewegungen sowie Faltungen erschweren sehr oft die Erzsuche.

Die östlichen Gailtaler Alpen zwischen der Nord-West-streichenden Drau-Möll-Störung im Norden und dem Ost-West-streichenden periadriatischen Lineament im Süden (Gailtal) zeigen eine Einengungstektonik, wobei sich zwei zeitlich aufeinanderfolgende Formungsakte beobachten lassen.

Der erste, ältere, besitzt Nord-West-Süd-Ost-gerichtete horizontale Achsen, während die nachfolgende, jüngere, Süd-Nord-Einengung Ost-West-gerichtete Achsen aufweist. Während dieser beiden tektonischen Einengungsvorgänge in der Zeit der Entstehung der Alpen, ist eine Verkürzung der ursprünglichen Nord-Süd-Erstreckung um rund 50 % eingetreten.

Ein Nord-Süd-Profil durch die östlichen Gailtaler Alpen zeigt drei tektonisch voneinander getrennte Einheiten, die auch verschiedene Faziesausbildungen, insbesondere der ladinisch-karnischen Ablagerungen, erkennen lassen (Abb. 44). Die südlichste Einheit, die Gesteine der Villacher Alpe, ist z. T. als Riff ausgebildet. Nördlich anschließend und z. T. von der Villacher Alpe überschoben folgt die Bleiberger- oder Erzbergeinheit als Träger der Lagerstätte. Die nördlichste Einheit, die Rublandeinheit, wurde ihrerseits von der Bleiberger Einheit überschoben. Sie weist einen groß angelegten Faltenbau auf, während in den beiden südlichen Einheiten Bruchtektonik überwiegt.

Neben den Ost-West-streichenden Störungen („Grabenbrüche“ nach HOLLER, 1936) sind Nord-Ost- bzw. Nord-West-streichende Bruchsysteme für den Bergbau, insbesondere für die gebirgsmechanischen Probleme (Bergschläge) und für die Wasserführung (Ther-

TEKTONISCHE KARTE DER BLEIBERGER GRABENZONE

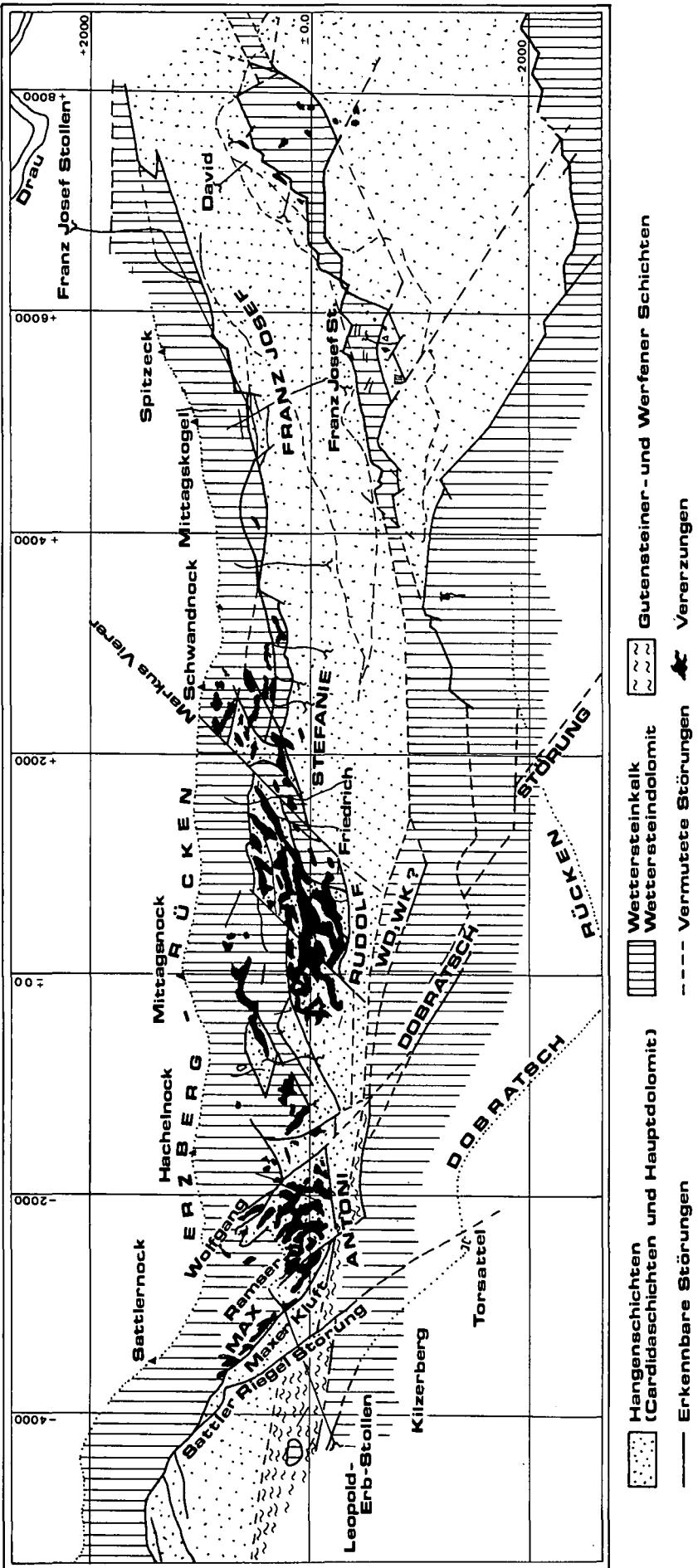


Abb. 42.
Tektonische Übersichtskarte der Bleiberger Lagerstätte.

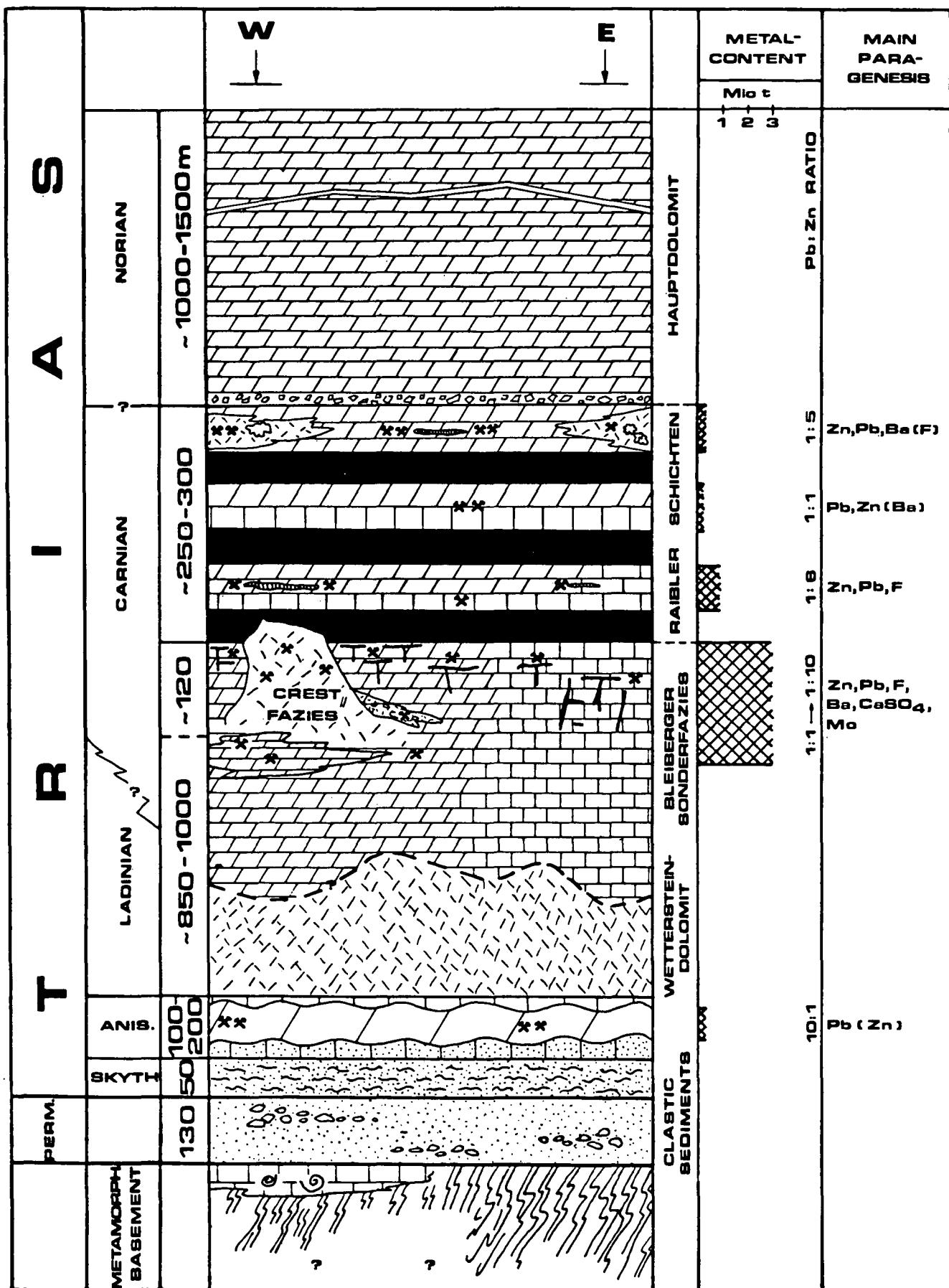


Abb. 43.
Lithostratigraphie der Triasabfolge im Bereich der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth.

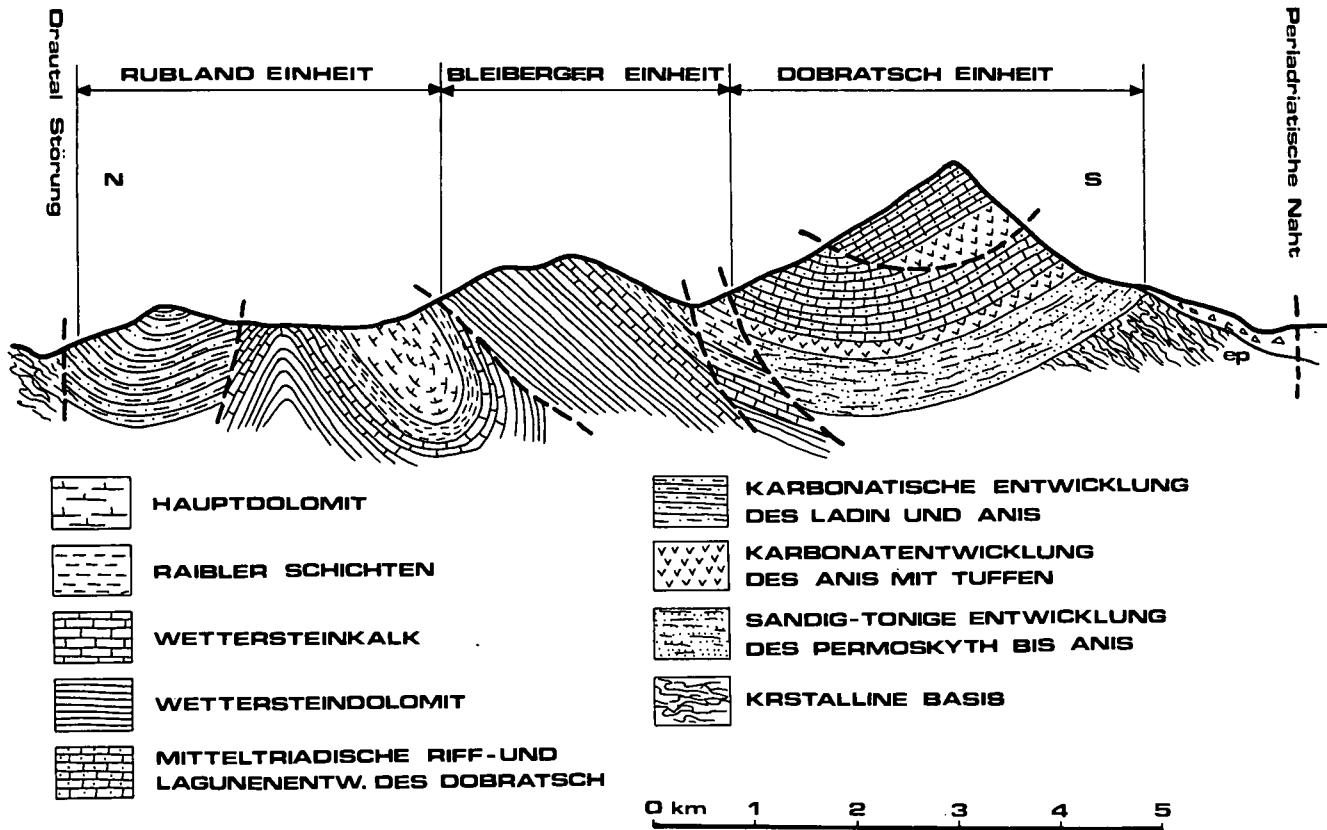


Abb. 44.
Geologie in den östlichen Gailtaler Alpen (N-S-Schnitt).

me), von Bedeutung. Z. T. wurden diese Bruchsysteme sicher schon während der Sedimentationszeit als vor-triadische bzw. triadische tektonische Lineamente angelegt und wurden durch die spätere Tektonik aufgegriffen und wieder benutzt. Alte tektonische Systeme und die daraus ableitbare Paläogeographie des Ablagerungsraumes dürften mit der triadischen Metallogene se in einem ursächlichen Zusammenhang stehen.

berg wurden von SCHROLL (1953a, 1953b, 1985), MEIXNER (1957), SCHULZ (1968) und KANAKI (1972) gegeben.

Die bergwirtschaftlich genutzten Minerale sind Bleiglanz und Zinkblende, wobei das Metallverhältnis Zn/Pb im Westen der Lagerstätte um 4 : 1, im Osten 2 : 1 bis 1 : 1 beträgt. Der Metallinhalt der Lagerstätte, gemessen an der bereits abgebauten Substanz seit rd. 700 Jahren, überschreitet 3 Mio. Tonnen Metall – das Metallvermögen ist jedoch noch nicht abschätzbar; 5 Mio. Tonnen Metall sind durchaus im Bereich geologischer Möglichkeiten.

Als Begleitelemente der Pb-Zn-Erze wechseln Flußspat und Schwerspat ab, wobei eine generelle Zusammengehörigkeit Bleiglanz/Schwerspat – Zinkblende/Flußspat festzustellen ist. Eisensulfidanreicherungen (Pyrit, Markasit, Melnikowit) finden sich in extensiver Weise im „Kiesoolith“, an der Basis des 1. Raibler Schiefertones und im Schiefer selbst, ferner in der „Onkolithbank“, die Basis des 3. Raibler Schiefertones bildend.

Die Pb-Zn-Erze im „Hangenden Wettersteinkalk“ und der Raibler Karbonathorizonte sind, mit wenigen Ausnahmen, nahezu frei von Eisenkiesen.

Besonders im oberen Wettersteinkalk, bis in Tiefen von 300 m unter der Talsohle, sind Hohlräume angefahren worden, in denen bemerkenswerte Kristallstufen von Erz- und „Gangmineralen“ gefunden worden sind. Die Erklärung für die Hohlräumbildung in der lagunaren Fazies ist in der z. T. hypersalinaren Fazies, den zeitweisen Verlandungen und Paläokarstbildungen zu suchen. Es können aber auch salinare Lösungen an den Hohlräumbildungen beteiligt gewesen sein. Evaporitische Abscheidungen im Flachwasserbereich sind durch das häufige Auftreten von blauem Anhydrit und gelegentlich Coelestin belegt.

6.2. Mineralogischer Überblick

Die Mineralparagenese der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth ist durch eine geringe Anzahl von Mineralarten ausgezeichnet. An die 50 Mineralarten, von denen rd. zwei Drittel als sekundäre Bildungen zu bezeichnen sind, zeugen von der Mineralarmut dieser Lagerstätte. Mengenmäßig überwiegt Zinkblende und Bleiglanz in karbonatischer Umgebung, gefolgt von Flußspat, Schwerspat und Eisenkiesen.

Eine Übersicht über den Stand der Kenntnis des Mineralinhaltes der Lagerstätte (SCHROLL, 1984) gibt Tab. 16.

Dem bei weitem repräsentativsten Mineral der Lagerstätte hat im Jahre 1785 der Kärntner Naturforscher Fr. X. WULFEN die großartige Monographie „Abhandlung vom kärntnerischen Bleyspat“ gewidmet. Dieses molybdänhaltige Mineral ist später ihm zu Ehren Wulfenit genannt worden. Ilsemannit, als weiteres Molybdänmineral, wurde erstmals 1871 in Kreuth von H. HÖFER gefunden. Eine erste zusammenfassende Beschreibung der Mineralparagenesen stammt von BRUNNLECHNER (1899), weitere Darstellungen zur Mineralogie von Blei-

Tabelle 16.
Minerale der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg (nach SCHROLL, 1984).

Blei-Minerale	Zink-Minerale	Molybdän-Minerale	Eisen-Minerale	Gangart	Nebengestein
Primäre Mineralisation					
Galenit Ti-Jordanit (?)	Sphalerit Wurtzit	Molybdänit (Jordisit)	Markasit Melnikowit Pyrit	Calcit Dolomit	Calcit Dolomit Protodolomit
Sekundäre Mineralisation (Oxidationsminerale)					
Cerussit Plumbocalcit Anglesit Barytoanglesit	Hydrozinkit Hemimorphit Smithsonit Goslarit Loseyt	Wulfenit Ilsemannit Ferromolybdit	Goethit Lepidokrokit Melanterit Rozentit Bianchit	Calcit Gips Anhydrit Baryt Coelestin Calciostrontianit Strontianit Quarz β-Paligorskit Bitumen	Schwerminerale Apatit Turmalin Zirkon Granat Titanit
					Rutil
			Cadmium-Minerale Greenockit	Vanadium-Minerale Descloizit Vanadinit	Opake Erze mit Leukoxen
				Mangan-Minerale Pyrolusit Psilomelan Manganomelan Woodruffit Grouthit	

Anmerkung: Intensiver verbreitete Minerale sind **halbfett** gedruckt.

Aus den oben erwähnten Hohlräumen in den heute bereits weitgehend abgebauten Erzonen stammen die bekannten Sammlungsstufen mit großen Bleiglanzkristallen, mit weißen halbkugeligen Barytaggregaten und großen Calciten („Kanonenspat“). Zinkblende, Markasit und Flußspat neigen nicht zur Ausbildung größerer Kristalle.

Die Oxidationszone ist aufgrund der tektonischen und morphologischen Verhältnisse im Ostteil der Lagerstätte am stärksten entwickelt. Sie reicht von den bis über 500 m über dem Talboden aufsteigenden Hängen des Bleiberger Erzberges, stellenweise sogar bis 600 m unter Tage.

Zinkblende wird vorzugsweise oxidiert. Abgesehen von der Erstausscheidung Hydrozinkit dominiert das Kieselzinkerz vor dem Zinkspat. Hemimorphit tritt örtlich in größeren Aggregaten auf.

Der Bleiglanz wird in das Karbonat übergeführt. Cerussit-Kristalle sind auch in den heutigen Tiefbauen des Ostrevieres noch relativ häufig anzutreffen. Anglesit und andere Oxidationsminerale des Bleis sind eine Seltenheit, wenn man vom Wulfenit absieht. Oxidationsminerale von Eisensulfiden sind selten, treten jedoch in den hangendsten Erzhorizonten des Wettersteinkalkes, im Kontakt zum Raibler Schiefer, manchmal gehäuft auf. Manganminerale sind kaum erwähnenswert.

Als Gangartminerale der Oxidationszone tritt reichlich Calcit, selten Schwerspat in glasklaren Täfelchen auf.

Was die Oxidationszone der östlichen Reviere besonders auszeichnet, sind Molybdän und gelegentlich Vanadiumminerale. Wulfenit ist sicherlich das spektakulärste Mineral der Bleiberger Lagerstätte. Wulfenit

war in Kriegszeiten des 20. Jahrhunderts sogar wichtiges Molybdänerz.

Nach SCHROLL (1984 cum lit.) war die Genese der Molybdänmineralisation lange Zeit umstritten. Erste geochemische Untersuchungen in den Jahren 1947–1949 brachten das Ergebnis, daß vor allem bituminöse Karbonatgesteine Gehalte von 1–10 ppm Mo enthalten. Neue Untersuchungen mit empfindlichen Analysenmethoden (SCHROLL, 1984) haben ergeben, daß sulfidische Blei- und Zinkerze stets geringe Spuren an Molybdän enthalten (max. 17 ppm).

Funde von Jordisit und Ilsemannit im Revier Rudolf und den westlichsten Kreuther Revieren Max und oberwärtigen Ausbissen im Schneidergraben zeigen, daß Molybdänmineralisationen in unterschiedlich chemischer Zusammensetzung im gesamten Bleiberger Raum auftreten.

SCHROLL (1984) zeigt in rasterelektronischen Aufnahmen, daß neben den erwähnten Molybdänverbindungen Jordisit und Ilsemannit, Anhydrit dominierend auftritt. Eine unscheinbare Molybdänsulfidmineralisation, die sich in Ilsemannit und Molybdat umsetzt, scheint die maßgebliche Vorstufe für die Wulfenitbildung zu sein. Der Wulfenit ist ein sekundäres Mineral. Die Herkunft des Molybdäns kann aus dem Gestein, dem Erz oder insbesondere aus der spätdiagenetisch erfolgten Anreicherung in Form von Molybdänsulfid abgeleitet werden. Die Schwefelisotopenanalyse bestätigt die genetische Sonderstellung des Molybdänglances, der durch einen sehr leichten Schwefel ausgezeichnet erscheint.

Nach lithostratigraphischen Gesichtspunkten treten Konzentrationen an Wulfenit fast ausschließlich im Bereich des Wettersteinkalkes der östlichen Reviere auf.

Hingegen sind die Vorkommen von Jordisit und Ilsemannit an das stratigraphische Niveau der hangenden Raibler Schichten und des bituminösen Hauptdolomits in den westlichen Reviereilen gebunden.

Die lagerstättenkundliche Bedeutung des Molybdäns (Vanadiums) im Hinblick auf die Genese der Pb-Zn-Vererzungen ist nicht geklärt. Im Westen der Lagerstätte treten Jordisitmineralisationen geographisch und stratigraphisch weit entfernt von Pb-Zn-Erzen auf. In den östlichen Revieren treten Wulfenite fast ausschließlich im Verband mit Pb-Zn-Erzen auf.

Im Vergleich zu Wulfenit sind Vanadiumminerale viel seltener, obwohl nach SCHROLL (1984) im Nebengestein der Gehalt an Vanadium weitaus höher ist.

Descloizit kommt nur als Seltenheit in der Oxidationszone vor, vom Vanadinit ist nur ein Fundpunkt im äußersten Osten des Bleiberger Reviers bekannt geworden.

Wie Molybdän ist Vanadium ein Spurenelement bituminöser Gesteine. Vanadium ist nach SCHROLL (1984) stets in der Tonfraktion, insbesondere im Carditaschiefer mit Gehalten von rd. 90 ppm vertreten. Die sulfidischen Pb-Zn-Erze enthalten Spuren an Vanadium (max. 15 ppm).

Im Vergleich zu Bleiberg sind Vanadiummineralisationen in den Bergbaurevieren des Hochobirs, Nordstamm der Karawanken, weitaus häufiger.

6.3. Paläogeographie und Fazies

Im Bereich der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth unterlagern das altpaläozoische Gailtakristallin (Quarzphyllite, Serizitschiefer, Grünschiefer) und im W das tektonisch eingeschuppte Nötscher Karbon die permischen und triadischen Abfolgen. Über diesen paläozoischen Gesteinen transgredieren die klastischen Abfolgen des Permoskyths.

Die fazielle Heterogenität des tieferen Anis (flachmarine Karbonate, Evaporite, Deltaschüttungen) mit einem ausgeprägten Relief, wird im höheren Anis durch den Aufbau einer stabilen Karbonatplattform ausgeglichen. Hier treten auch die ersten Pb-Zn-Vererzungen auf, die jedoch ausschließlich an den Nordrand der Gailtaler Alpen gebunden sind.

Im höchsten Anis zerfällt diese Karbonatplattform wieder, und es kommt erneut zu einer Faziesdifferenzierung (Riff-, Lagunenbereiche und Gezeitenebenen des Wettersteinkalkes, zeitgleiche Beckensedimente). Gleichzeitig setzt ein Vulkanismus ein, der bis zum Ende des Ladins anhält. Im Cordevol beginnt eine Auffüllung der Becken, die im Laufe des Karn zu einer weitgehenden Nivellierung des Reliefs führt.

Die Riffentwicklung im Ladin/Karn führt infolge verstärkter Absenkung des Untergrundes zunächst zu einem Höhenwachstum der Riffe. Dies wird später durch eine laterale Ausbreitung der Riffe abgelöst. Es entstehen Atolle bzw. Barrier-Riffe, hinter denen sich zunehmend breitere Plattformen ausdehnen.

Am Ende der Wetterstein-Zeit weisen Anhydrit und wiederholte Trockenlegungsphasen auf eine Abschnürung und Verflachung der Lagunen hin. Die nördlich des Riffgürtels gelegene und an eine Hochzone gebundene „Bleiberger-Fazies“ umfaßt die ins Cordevol (Unterkarn) gestellten obersten 60 m des Wettersteinkalkes.

Diese Fazies ist durch zyklisch auftretende Emerionshorizonte und Gezeitenabfolgen charakterisiert, die durch subtidale Abfolgen voneinander getrennt werden. Schwarze Breccien („black pebbles“) und grünliche, mergelige Kalke und Dolomite füllen vielfach Mikrokart-Hohlräume bzw. liegen einem Erosionsrelief auf. Diese Karbonate sowie Caliche-Krusten und -Pisolithe („weiße Dolomite“) belegen die wiederholten Trockenlegungen.

Im Jul setzt die Sedimentation der Raibler Schichten mit einer 3-maligen (z. T. 4-maligen) zyklischen Wechselfolge aus klastischen und karbonatisch-evaporitischen Sedimenten ein. Meeresspiegelschwankungen werden als Verursacher dieser zyklischen Wechsellegerung angesehen. Im ausgehenden Karn baut sich wiederum eine stabile Karbonatplattform auf, es kommt der über 1000 m mächtige Hauptdolomit zur Ablagerung.

6.4. Stratigraphie und Form der Pb-Zn-Vererzungen

Der Bergbau Bleiberg-Kreuth konzentrierte sich über Jahrhunderte auf die klassischen Vererzungen im Wettersteinkalk – 1200 km Strecken und rund 3 Mill. t gewonnenes Pb- und Zn-Metall sprechen für die Ergiebigkeit dieses vererzten Schichtgliedes.

Die Forschungstätigkeit der letzten Jahrzehnte und insbesondere der letzten Jahre hat ergeben, daß in der Abfolge von Bleiberg und Randbereichen, sechs eigenständig vererzte Horizonte auftreten können (Abb. 43), die sich stratigraphisch vom Liegenden ins Hangende auf folgende Schichtglieder verteilen:

- In dolomitischen Anteilen des „Alpinen Muschelkalkes“.
- In Dolomiten der sog. „Maxerbänke“ im Liegenden des Bleiberger „Erzkalkes“.
- In Dolomiten der zyklisch auftretenden „Edlen Flächen“ des Wettersteinkalkes und ihrer kalkigen Umgebung.
- In Dolomiten aller drei Raibler Karbonatabfolgen.

Die Ausbildung der genannten Vererzungen ist überwiegend:

- Schichtgebunden.
- Gebunden an quergreifende Störungen, die, sofern es die Tektonik erlaubt, mit dem schichtgebundenen Typus in Verbindung steht.
- Resedimente (Erzsande und Erzbreccien), die als Umlagerungsprodukte als Karsterze angesprochen werden können.
- Erze, die zufolge diagenetischer Prozesse großräumige, stockförmige Erzkörper bilden.

Bereits MOHS (1807) schilderte Aufschlußbefunde über die Lagerstätte Bleiberg mit der Feststellung (auszugsweise Zitat):

„Ich glaube nicht, daß es nach dem Bisherigen möglich ist, die lagerartige Natur dieser sonderbaren Erzlagerstätte zu erkennen. Ich nehme daher an, daß in dem Erzberge mehrere übereinander liegende Schichten vorkommen, welche, da sie sich vorzüglich durch ihren Erzgehalt als besondere Lagerstätten auszeichnen, als wahre Lager zu betrachten sind, indem nicht nur die auf denselben brechenden Fossilien von völlig gleichzeitiger Entstehung zeugen, sondern sie selbst auch genau zwischen den unhaltigen Gebirgsschichten inne liegen ...“.

130 Jahre später war es HOLLER (1957), der als erster die Feinstratigraphie der mitteltriadischen Sedimentabfolge erkannte und diese Erkenntnisse für den Bergbau mit Erfolg nutzen konnte. „Durch bloße Beleuchtung einer bestimmten Schichtbank in der Grube, dieselbe auf Grund gewisser gegebener Merkmale zu identifizieren und in die ein für allemal festgelegte Stratigraphie des Erzkalkes einzurichten“, das war die grundlegende Erkenntnis der räumlichen Konstanz der erzführenden Lager innerhalb eines definierbaren Sedimentstapels.

Die Explorationspraxis der letzten Jahrzehnte hat gezeigt, daß „durch bloßes Beleuchten“ die Erzhöflichkeit gewisser Lager von Erfolg gekrönt war. Jeder Reviersteiger, jeder Geologe wußte, daß in „seiner“ Grube das Lager „X“ erzhöflich, und bei Verfolgung dieses, der Erfolg sich einstellen mußte. Innerhalb des 60 m mächtigen Erzkalkes ist von E nach W eine, im stratigraphischen Sinne aufsteigende Tendenz der Erzführung vorhanden.

KOSTELKA (1972) versuchte, diese Tendenz überregional, modellhaft darzustellen. Seine Vorstellung war, beginnend vom Bergbau Mezica, in dem Erzführungen 800 m unter dem Raibler Schiefer bekannt waren, über Bleiberg zur Jauken, wo Erzführungen in hangenden Raibler Schichten bekannt waren, eine stratigraphisch aufsteigende Tendenz zu postulieren. CERNY & HAGEMEISTER (1986) konnten nachweisen, daß diese Modellvorstellung nicht haltbar ist.

Sedimentologische Bearbeitungen ergaben (CERNY & HAGEMEISTER, 1986; MÖBUS, 1988), daß Erzführungen im westlichen Drauzug an stratigraphische Äquivalente des Wettersteinkalkes (Jaukenkalk) gebunden sind; Vererzungen in hangenden Raibler Schichten sind metallogenetisch getrennt zu betrachten.

Der Bleiberger Erzkalk hat ein generelles Einfallen von SW (Ostreviere: 18–20°, Westreviere 45–50°). Die isoliert auftretenden schichtigen Erzkörper (Querschnitt: 60–100 m²) fallen im Osten der Lagerstätte in SE-Richtung (Antoni-Richtung), sodaß eine asymmetrische V-Form gegeben ist (Abb. 42).

Bei Rückformung der heutigen tektonischen Situation und Aufklappen der Schichten in die Horizontale entsteht eine bogenförmige Struktur von „Erzrinnen“, die in verschiedenen Ebenen (entsprechend der stratigraphischen Position) auftreten. Schichtige Erze des Carditaniveaus, im Westen der Lagerstätte, zeigen bei dieser paläogeographischen Rekonstruktion eine SW-Richtung. Die in den letzten Jahren explorierte Schwellenfazies am S-Rand der Lagerstätte (Kalkscholle, Riedhard- und Josefischolle) erscheint wie eine „Inselgirlande“, parallel zur oben genannten bogenförmigen Struktur. Die Richtung der Erzführung ist SW; die Schüttungsrichtung von umgelagerten Erzbreccien, die den Südrand der Schwellenfazies begleiten, ist ebenfalls SW.

Die paläogeographische Rekonstruktion der Lagerstätte wird dadurch erschwert, daß tektonische Teileinheiten besonders im W der Lagerstätte als tektonische Aufschiebungen vorliegen. Diese Teileinheiten, die vielfach auch in NW-Richtung zerschert sind, entsprechen nicht immer Fazieseinheiten.

Abb. 45 zeigt die stratigraphische Position der Erzführungen in E-W-Richtung, in Abb. 46 ist die paläogeographische Modellvorstellung in N-S-Richtung dargestellt, wie sie sich aus den Explorationsergebnissen der letzten Jahre ableiten läßt (CERNY & KOSTELKA, 1987).

Über die Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth wurden in den letzten Jahrzehnten über 300 wissenschaftliche Arbeiten publiziert. Im Vorstehenden wurde versucht, aus der Sicht des Explorationsgeologen einen Überblick über die Lagerstättenverhältnisse zu geben.

6.5. Lagerstättenkundliche Erkenntnisse der letzten 10 Jahre

Die Unregelmäßigkeit der vererzten Bereiche und die großen Schwankungen im Metallgehalt waren über Jahrhunderte Sorge von Gewerken und Bergleuten. Andererseits verdankt die Lagerstätte gerade der Unregelmäßigkeit und der Vielfalt und Vielzahl der Erzkörper ihre überaus lange Nutzungsdauer.

Aus der Sicht des Verfassers (CERNY & KOSTELKA, 1987) wird über den heutigen Kenntnisstand folgendes Resümé gezogen:

Obwohl der Bergbau seit rd. 700 Jahren betrieben wird, gelang es erst in den Jahren ab 1951, im Westen der Lagerstätte einen bis dato unbekannten Vererzungstypus aufzufinden und zu erschließen. Es war dies die „Kalkscholle“, ein stockförmiger Erzkörper mit einer Kubatur von rd. 2 Mill. Kubikmeter, der von Dolomitgesteinen aufgebaut wird. Zinkbetonte Erze treten als Netzwerk und Breccien, bereichsweise als derbe Zinkblendetefelsen auf. Neu waren auch schichtige Erze des Carditaniveaus. Die reichen Erze im Westen der Lagerstätte waren die Grundlage für eine Produktionssteigerung und boten die Möglichkeit, einen hoch technisierten Bergbau einzurichten.

Die Neuergebnisse gaben Anlaß für umfangreiche Studien in den vergangenen 2 bis 3 Dezennien. Über diese Zeit blieb die Kalkscholle Studienobjekt intensiver Forschungstätigkeit. Mögliche tektonische Fortsetzung einer Kalkschollenvererzung, die man zu finden hoffte, blieben versagt. Durch integrierte geologische Studien gelang es in den letzten Jahren, eine völlig neue paläogeographische Struktur am Südrand der bestehenden Lagerstätte aufzufinden zu machen. Sedimentologische, geochemische und isotopische Untersuchungen trugen wesentlich zum Erkennen dieser neuen Struktur bei. Dieser Struktur ist der Neufund der sog. „Josefischolle“, ferner die neuerschlossenen Teile der „Riedhartscholle“ sowie die seit 2 Jahrzehnten in Abbau befindliche „Kalkscholle“ zuzuordnen. Nach heutigem Kenntnisstand beinhaltet diese geologische Struktur 8 Mill. Tonnen Erz, wobei die noch unverritzte „Josefischolle“ 3 Mill. Tonnen beinhalten dürfte.

Im paläogeographischen Sinn handelt es sich hier um eine Schwellenfazies, die südlich der Bleiberger Lagunenfazies auftritt.

Die Bleiberger Lagunafazies hat eine zyklisch aufgebaute Sedimentabfolge. In ihr treten isolierte metallreiche Schichtvererzungen auf.

Die vorgelagerte Schwellenfazies mit dem Neufund der Josefischolle ist durch diagenetische Dolomite gekennzeichnet. Diese Schwellenfazies unterscheidet sich deutlich von der Lagunafazies. Sie gehorcht nicht den Gesetzmäßigkeiten der zyklisch aufgebauten lagunaren Abfolge.

Bedingt durch die komplizierte alpine Tektonik war es schwierig, den Ablagerungsraum zu rekonstruieren.

Weitere Unterschiede zwischen Lagunafazies und

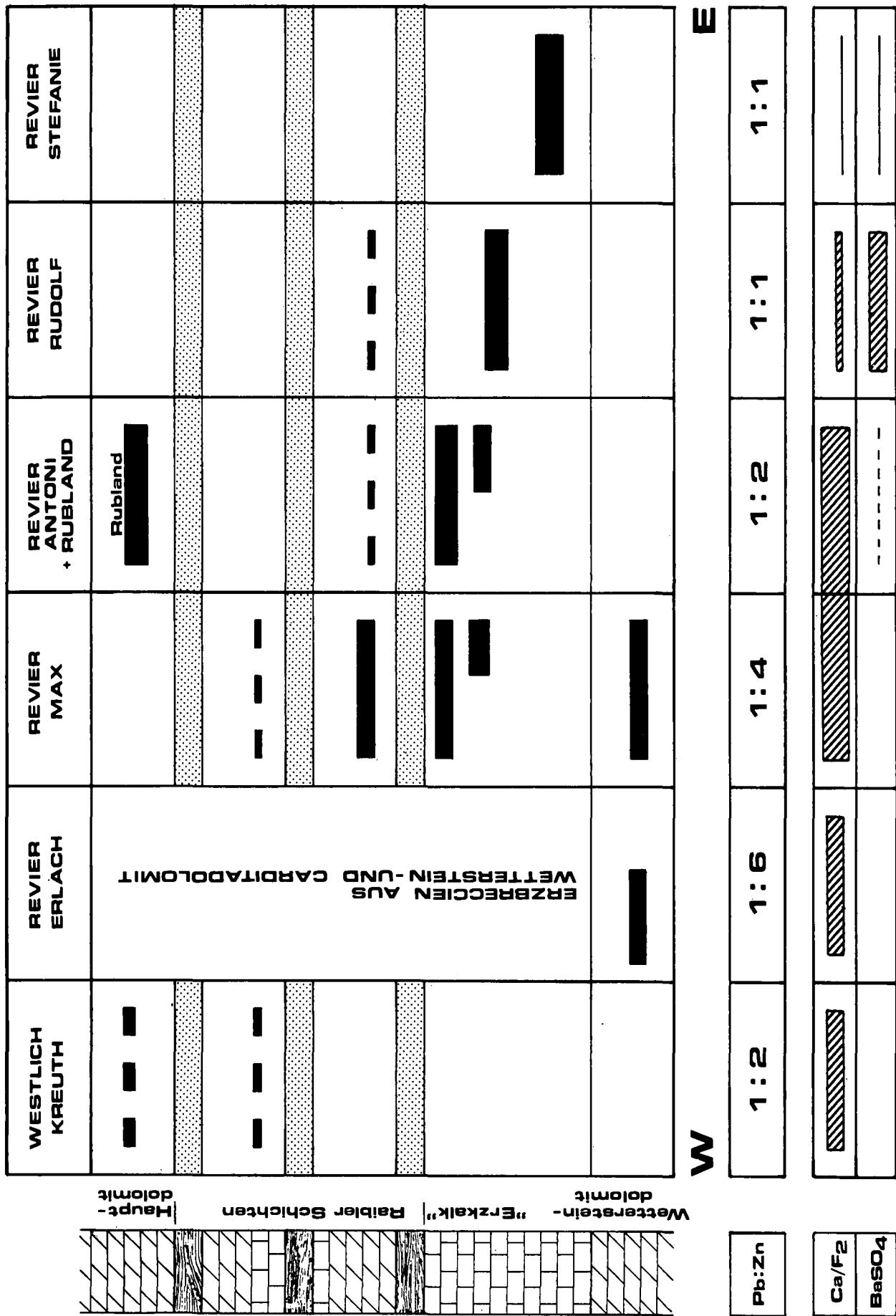
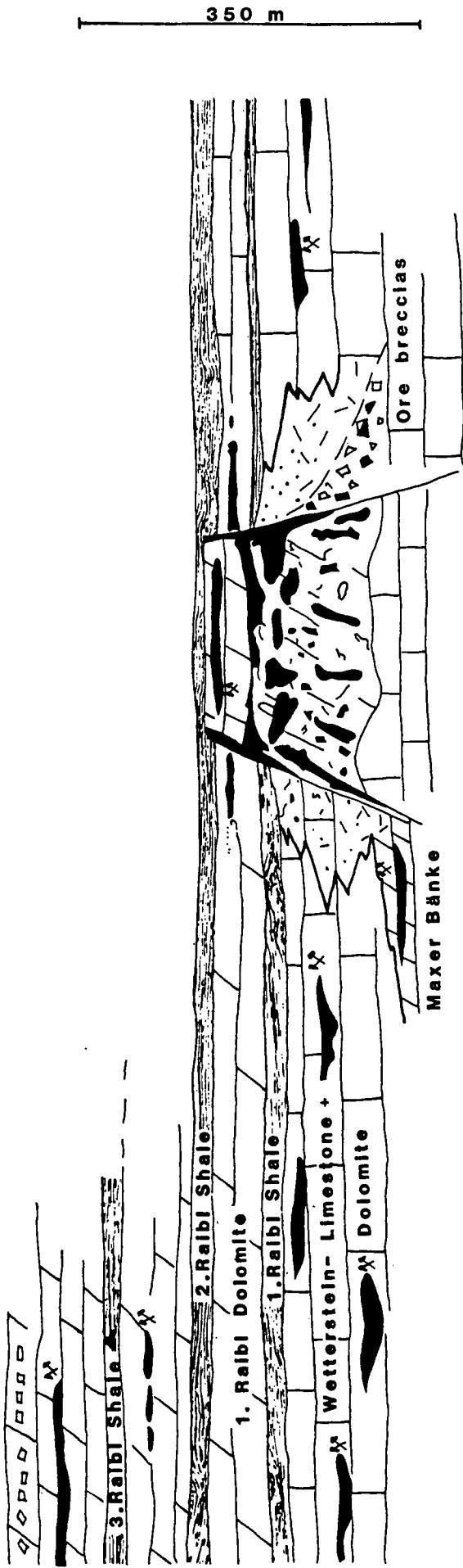


Abb. 45.
Verteilung (E-W) der Pb-Zn-(Ba,F)-Vererzung im Bergbau Bleiberg-Kreuth.

S



N

- Cyclic and partly evaporitic "Bleiberg special facies" lagoonal environment**
- Stratiform Pb-Zn mineralisations of "Bleiberg- typ"**
- high Germanium- content in sphalerite**
- low Germanium- content in sphalerite**
- Pb:Zn = 1:1**
- Pb:Zn = 1:10**
- "Crest-facies"
Dolomite block**
- Ore breccias**
- disseminated and massive sphalerite ores**
- Brecciation zone
with reworked ores**

Abb. 46.
Paläogeographischer Schnitt (N-S) durch die Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (westliche Reviere).

Schwellenfazies treten bei den Gehalten von Blei, Zink, Strontium und Mangan auf.

Die Metallverteilung in der lagunaren Bleiberger Fazies hat ein Pb : Zn-Verhältnis von rd. 1 : 1.

Die südlich vorgelagerten Großraumvererzungen der Schwellenfazies sind generell zinkbetont. Sie haben ein Pb : Zn-Verhältnis von 1 : 6 bis 1 : 10 (vgl. Abb. 46).

Diese Verlagerung der Metallverhältnisse wird durch diagenetische Mobilisationsprozesse, insbesondere durch die Dolomitierung erklärt. Diese diagenetischen Prozesse bewirken eine Mangananreicherung in der Schwellenfazies. Die Strontiumgehalte hingegen nehmen von der Lagune gegen die Schwelle ab. Ein sehr wesentliches Kennzeichen der Mobilisation ist, daß die sehr hohen Germaniumgehalte von Zinkblenden in der Lagunafazies gegen die Schwellenfazies beträchtlich abnehmen.

Die Überlagerung des „Bleiberger Erzkalkes“ mit seiner N-S-gerichteten faziellen Differenzierung bilden die Raibler- oder Cardita-Schichten.

Von wirtschaftlicher Bedeutung ist die liegendste Raibler Karbonatabfolge. In der „Carditascholle“, im Westen der Lagerstätte gelegen, treten massive bis zu 5 m mächtige schichtgebundene Vererzungen auf, die einen Lagerstätteneinhalt von >2 Mill. t aufweisen und seit über 20 Jahren gebaut werden. Faziesstudien haben ergeben, daß die Erzführung im Carditadolomit von der Paläomorphologie der unterlagernden „Bleiberger Fazies“ abhängig ist.

Carditadolomite, die über der Schwellenfazies liegen, sind in der Mächtigkeit stark reduziert und Träger massiver Schichtvererzungen. Carditadolomite, die hingegen über die Lagunafazies des Wettersteinkalkes liegen, sind nur gelegentlich mineralisiert bzw. vererzt.

Der Nachweis, daß sich auch über der Schwellenfazies der „Josefischolle“ Carditaerze befinden, gelang erst unlängst.

Einen völlig neuen Erztyp, der im Zuge der forcierten Suchtätigkeit der letzten Jahre aufgefunden wurde, stellen Resedimentbreccien dar.

Auf Grund des Paläoreliefs südlich der Schwelle, bedingt durch intratriadische Tektonik, kam es zu ausgedehnten Gleitungen im Sedimentationsraum. Diese Gleitmassen, die mehrere hundert Millionen Tonnen Brecciengestein umfassen, sind erzführend. Die Erze, die als Erzbreccien vorliegen, stammen aus der

Schwellenfazies und dem überlagernden Carditaniveau. Die Geometrie der erzführenden Schuttströme zu erfassen, verlangt angewandte paläogeographische Arbeitsweisen.

Als Beispiel wird die heutige geologische Situation im Revier Erlach – dem westlichsten Hoffnungsgebiet des Bergbaus – angeführt. Die Explorationsarbeiten der letzten Jahre haben gezeigt, daß das klassische Bleiberger Sedimentprofil in diesem westlichen Raum nicht mehr zutrifft. Über den Maxer-Bänken (üblicherweise 200 m liegend des 1. Raibler Schiefertones liegend), baut sich ein Breccienkörper auf, der bis an die Basis des Hauptdolomits reicht. Eine somit 350 m mächtige Schichtfolge wird durch Breccien ersetzt, die aus unterschiedlichsten Gesteinskomponenten der primären Bleiberger Abfolge bestehen. Überwiegend sind es Komponenten des Wetterstein-Dolomits, -Kalkes und der karbonatischen Carditaabfolge. Die Matrix der Breccienkomponenten sind Schiefer, die mineralogisch den Raibler Schiefertonen zugerechnet werden können. Aufgrund der Komponentenzusammensetzung läßt sich abschätzen, daß das Breccienereignis zur Zeit der Ablagerung der hangenden Raibler Schichten erfolgt sein muß. Komponenten von Hauptdolomit wurden in diesem Breccienpaket noch nirgends beobachtet. Das Ausmaß des Breccienareals beträgt heute ca. 1,5 km in streichender Erstreckung. Innerhalb dieses Breccienareals treten Schuttströme auf, die von massiv vererzten Komponenten aufgebaut sind. Die vielfach kantigen Erzkomponenten (0–1 m) bestehen aus derber Zinkblende und Bleiglanz, sie können nach ihrer Erztextur stratigraphisch dem Primären Erztyp der Schwellenfazies des Wettersteindolomits und den schichtigen Erztypus des Carditaniveaus zugeordnet werden.

Auf Grund von Analogieschlüssen aus der „Kalkscholle“ und der „Josefischolle“ zeigen die Resedimentiertere Schüttungsrichtungen NE-SW. Die Explorationsstrategie für die Breccienminerale ist auf diese Schüttungsrichtung abgestellt, um entsprechende primäre Stammvererzungen aufzuspüren. Die massiv vererzten Breccienkomponenten zeigen eine geochemische Eigenheit: die Zinkblenden haben den 4–5-fachen Gehalt an Germanium. Dieser hohe Ge-Gehalt wird so erklärt, daß Erzbreccien, eingepackt in schiefrige Matrix von Lösungsumsätze verschont blieben. Der primäre Spuren elementgehalt blieb somit erhalten.

7. Strategie der Aufsuchung von Pb-Zn-Erzen im alpinen Raum

7.1. Allgemeines

BURGER, technischer Vorstand der BBU, äußerte vor 14 Jahren anlässlich eines BBU-Bergbaukolloquiums die nachfolgend zitierten Worte:

„Obgleich die heutige Industrie ohne den Hintergrund von Wissenschaft und Forschung undenkbar wäre, ist ihre gegenseitige Beziehung seit jeher durch ein gewisses Spannungsverhältnis charakterisiert.“

Die reine Forschung hat an sich zum Ziel, neue Erkenntnisse zu gewinnen bzw. kausale Zusammenhänge zwischen bestehenden Tatsachen aufzufinden. Sie geht somit vom bekannten Gebiet der bestehenden Wissenschaft aus und sucht auf gegebenem Weg unbekannte Ziele. Die von der Industrie

angestrebte Forschung kennt im Gegensatz dazu ihr Ziel und sucht den Weg, um dorthin zu gelangen. In einem Fall wird das Gebiet der Wissenschaft erweitert, im anderen wird versucht, Wissen wirtschaftlich nutzbar zu machen. Die bergbau betreibende Industrie zählt wohl zu den ältesten Sparten – dennoch ist ihre Beziehung zur Wissenschaft wesentlich stärker ausgeprägt als in den meisten anderen Bereichen. Das hat vor allem seinen Grund darin, daß der Arbeitsbereich dieser Industrie gleichzeitig das praktisch einzige Betätigungsgebiet für die einschlägigen Forschungsgebiete darstellt, da nur ein Bergbau es ermöglicht, auch das Innere der Erdoberfläche eingehend zu erkunden. Gleichzeitig stellt die fortwährende Suche nach neuen Erzvorräten jedes Bergbauunternehmen vor die Aufgabe, ein optimales und auch wissenschaftlich fundiertes Suchprogramm zu erstellen.“

Eine wirtschaftliche Nutzung von Minerallagerstätten im alpinen Raum ist praktisch niemals ohne vorangegangene umfangreiche Vorarbeiten möglich. Wirtschaftlich interessante Mineralvorkommen liegen in den seltensten Fällen offen zutage, sondern müssen in einem oft langwierigen, risikoreichen und kostspieligen Prozeß aufgesucht und zugänglich gemacht werden. Dieser Prozeß des Aufsuchens und Zugänglichmachens läuft üblicherweise in mehreren Stufen ab:

- Prospektion (Aufsuchung).
- Exploration (Erkundung von vermuteten Lagerstätten, Schurftätigkeit).
- Aufschließung (Erschließung).

Für das Auffinden bzw. Erschließen karbonatgebundener Pb-Zn-Lagerstätten im alpinen Raum, insbesondere im Bergbau Bleiberg-Kreuth haben sich folgende Schritte als unerlässlich herausgestellt:

- Prospektion.
- Exploration (Hoffnungsbau).
- Aus- und Vorrichtung.
- Abbau.

Im deutschen bergmännischen Sprachgebrauch ist nach KOSTELKA (1967) kein treffenderer Ausdruck für die Suchtätigkeit nach Erzen bekannt als die in Bleiberg übliche Bezeichnung Hoffnungsbau. In diesem Wort drückt sich all die Unsicherheit über Erfolg oder Mißerfolg beim Aufsuchen der Erze aus. In der absätzigen und kompliziert gebauten Lagerstätte war es bei allem Fingerspitzengefühl und bergmännisch-geologischer Fachkenntnis äußerst unsicher, ob z. B. die Unterfahrung eines Erzkörpers erfolgreich war oder ob der Vortrieb ins Taube ging.

Seit Jahrzehnten werden wissenschaftliche Methoden in die Erzsuche einbezogen, um die Erzsuche gezielter und somit kostengünstiger zu gestalten. Die Frage „was bringt die Anwendung geowissenschaftlicher Methoden für die Erzsuche“ steht immer im Vordergrund.

Wenn heute weltweit modernste metallogenetische Modelle vor allem mit isotopischen Methoden erarbeitet werden (z. B. Entwässerung von Becken, Wanderung von brines, Metallbezug aus Metasedimenten) so steht der Geochemiker und Geologe im alpinen Raum vor der Tatsache, daß er in vielen Fällen die möglichen source rocks gar nicht kennen kann und somit die Deutung dieser mit modernen Methoden erarbeiteten Ergebnisse durch die schwierigen tektonischen Gegebenheiten meist unsicher bleiben wird. Der Explorationsgeologe, der ein Aufklärungsziel anstrebt, wünscht sich wissenschaftliche Ergebnisse als Basis, um die Kosten der Aufschließungsarbeiten vertreten zu können.

In einem sich in Betrieb befindlichen Bergbau bestätigen wissenschaftliche Methoden mitunter erst im Nachhinein die Ergebnisse der Exploration. Demnach sind sie langfristig gesehen zielführend. Reihen man die Ergebnisse dieser über Jahre durchgeföhrten Untersuchungen aneinander, so ermöglichen sie, mosaikartig zusammengefügt eine Modellvorstellung, die die Entscheidung erleichtert, ob ein Vorkommen exploriert werden soll oder nicht.

7.2. Sedimentologie und Gesteinsgeochemie – Indikatoren für Pb-Zn-Erzführungen

Im Wettersteinkalk der Draukalkalpen und der Nordtiroler Kalkalpen treten innerhalb einer lagunaren Fazies Hochzonen auf (Bleiberger Sonderfazies nach HOLLER, 1936), die durch zyklische Sedimentation von sub- inter- supratidalen Karbonaten gekennzeichnet sind. Lang anhaltende Emersionsphasen sind typisch. Dieser Sachverhalt wurde durch sedimentologische und geochemische Arbeitsweisen erforscht.

Pb-Zn-(F,Ba-)Mineralisationen treten ausschließlich in Sedimenten dieser Bleiberger Sonderfazies auf (Beispiele: Bergbau Mezica, Hochobir, Windisch Bleiberg, Bleiberg-Kreuth, Radnig bei Hermagor, Jauken, Lafatsch, Reviere um Nassereith). Mineralvorkommen, die außerhalb dieser Sonderfazies auftreten und allenfalls beschürt wurden, erreichten nie eine bergwirtschaftliche Bedeutung.

Die Kenntnis der Fazies innerhalb dieser Sonderfazies ist maßgebend für die Interpretation großräumiger Vererzungen (Typus Kalkscholle, Josefischolle im Bergbau Bleiberg-Kreuth). Die Überlegung, daß z. B. die Bleiberger Lagune (Sonderfazies) gegen Süden von einer dolomitisierten Schwellenfazies begrenzt wird, ist auf sedimentologische Arbeiten zurückzuföhren. Die Mächtigkeit der Bleiberger „Flächen“ sowie die Abstände der einzelnen Flächen zueinander nimmt gegen die Schwelle hin kontinuierlich ab. In der Schwellenfazies sind keine Flächen bekannt.

Es wurde versucht, die Bleiberger Modellvorstellungen auf den Bergbau Mezica zu übertragen. Im Revier Graben, das einem südlich vorgelagerten Schwellenbereich angehört, wurden unlängst bauwürdige, zinkbentone Erze exploriert.

Die Voraussetzungen, großräumige Vererzungen auch am Südrand des Hochobir und der Jauken zu finden, sind aufgrund sedimentologischer Kriterien gut. Im Bereich der Nordtiroler Kalkalpen fehlen diesbezügliche Voruntersuchungen.

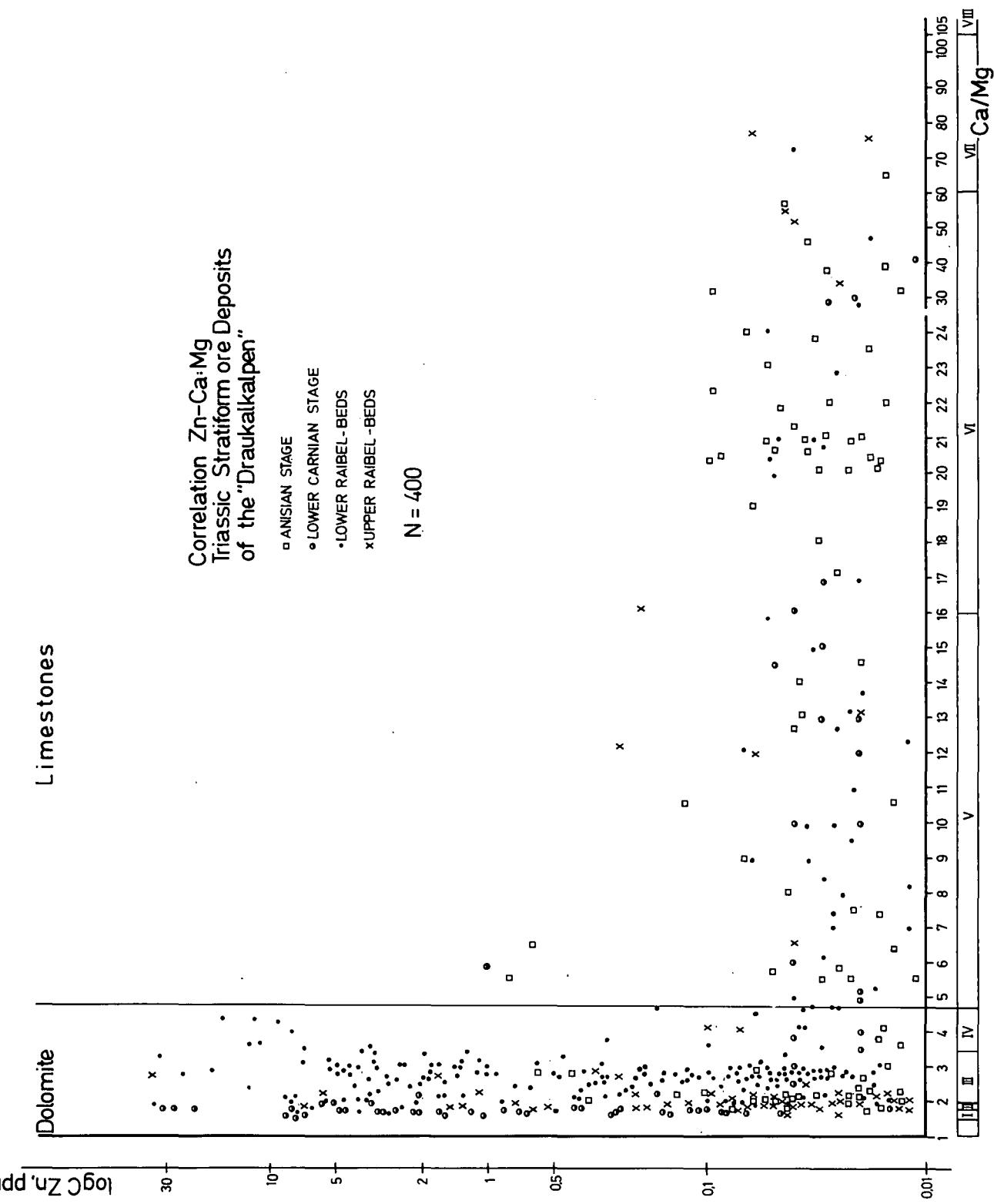
Die den Wettersteinkalk überlagernden Raibler (Cardita-) Schichten sind nach heutigem Kenntnisstand nur dann erzföhrend, wenn sie direkt über der Schwellenfazies lagern, somit mächtigkeitsreduziert sind und in dolomitischer Fazies vorliegen. Diese Voraussetzungen sind zur Zeit nur in der Lagerstätte Bleiberg-Kreuth gegeben. In den Karawanken, den Nordtiroler Kalkalpen und Teilen der Gailtaler Alpen sind die Karbonate der Raibler Schichten in lagunarer Kalkfazies ausgebildet.

Geochemische Untersuchungen alleine bringen ohne Miteinbezug geologischer, tektonischer und sedimentologisch-fazieller Untersuchungen nur bedingte Aussagen. Geochemie von Karbonatgesteinen ist letztendlich ein Abbild von faziellen und diagenetischen Bedingungen im Ablagerungsraum.

Veränderungen im geochemischen Haushalt von Karbonatgesteinen können sehr wohl Hinweise auf Erzführungen geben.

Die Karbonatfazies ist maßgebend für das Auftreten von Zn(Pb)-Vererzungen. Abb. 47 zeigt, daß alle schichtigen und stockförmigen Mineralisationen im Raum Bleiberg (anisische und karnische Stufe) eine strenge Bindung an die Dolomifazies haben. Diskordante Vererzungen durchschlagen lagunare Kalke, stehen jedoch meist mit schichtigen Erzen in Verbindung.

Abb. 47.
Streudiagramm Zn : Ca/Mg.
Bindung des Zinks an die dolomiti-
sche Fazies.



Neben Pb und Zn gibt Mn gute Hinweise für nahende Erzkörper. Routinemäßige Untersuchungen auf Mn im Bergbau Bleiberg-Kreuth haben ergeben, daß Mn, in reinen Karbonaten vorliegend, einen Hof und Pb-Zn-Erze bildet.

Die Mn-Gehalte steigen im Hof von Erzkörpern um rd. eine 10er-Potenz an (30 zu 600 ppm). Diese geochemische Feststellung trifft vor allem bei großräumigen Erzkörpern (Kalkscholle, Josefischolle) dolomitischer Ausbildung zu, ist aber auch bei schichtigen Erzkörpern (liegend und hangend der Erzführung) zutreffend. Die Mn-Gehalte in Zinkblenden sind in der Regel weitaus geringer als im umgebenden dolomitisierten Karbonat. Die genetische Interpretation der Mn-Anreicherung erfolgt durch sedimentpetrographische Arbeitsweisen (z. B. Kathodenlumineszenz; siehe Kap. Diagenese der Sonderfazies).

Strontium ist in der Sonderfazies durch eine markante Abreicherung gekennzeichnet. Die Abreicherung ist durch die diagenetischen Bedingungen zu verstehen. Einerseits kommt es lokal zur Anreicherung von Sr-Mineralen im Bereich hypersalinaler Faziesbedingungen, andererseits zur Abreicherung, bedingt durch Dolomitierung etc. Gegenüber Sedimentationsräumen außerhalb der Sonderfazies, wo Sr-Gehalte von mehreren 100 ppm, vorhanden sind, sind Sr-Gehalte im erzhöflichen Sedimentstapel von rd. 30 bis 70 ppm als indirekte Indikatoren für Erzhöflichkeit zu bezeichnen.

Direkte Indikatoren für Erzführung können Na und Cl sein. Untersuchungen von WOLTER & SCHNEIDER (1985) zeigen, daß im Vererbungsbereich lösliche Salze in der Größenordnung von 2000 ppm (Na, Cl) vorhanden sind, die von brines abzuleiten sind. Da die löslichen Salze die elektrische Leitfähigkeit der Bergwässer beeinflussen, kann in erzhöflichen Schichtgliedern die Leitfähigkeit der Wässer als proximity indicator verwendet werden. Als Höufigkeitsanzeiger gilt auch Fluor (siehe Kap. Geochemie der Gangarten).

7.3. Erzgeochemie-Indikatoren für die Explorationswürdigkeit

Isotopengeochemische und erzgeochemische Daten können für die montangeologische Beurteilung von Pb-Zn-Vorkommen im alpinen Raum ein wesentliches Hilfsmittel sein. Als präexistente Quelle für das Blei ökonomisch bedeutender Blei-Zinklagerstätten in der Trias der Draukalpen und der Nordtiroler Kalkalpen gilt Gesteinsblei, welches aus altpaläozoischen metamorphen Gesteinen sowie aus permischen und triadischen Klastika abzuleiten ist. Viele kleinere Pb-Zn-Vererzungen, vor allem aus der Trias der Karawanken (z. B. Windisch Bleiberg, Petzen, Remschenig) und der Nördlichen Kalkalpen zeigen vom Bleiberger Typus abweichende Erzbleie, meist verbunden mit geringen Änderungen im Chemismus der Vererzungen.

Die montangeologische Beurteilung solcher Vorkommen, in Verbindung mit isotopischen Untersuchungen haben gezeigt, daß diese Erzvorkommen durchwegs wirtschaftlich uninteressante Metallinhalte aufweisen (CERNY et al., 1982; SCHROLL, 1983). Abb. 48 zeigt einige im Streufeld liegende, unwirtschaftliche Pb-Zn-Vorkommen.

Untersuchungen an Zinkblenden haben ergeben, daß das Ga/Ge-Verhältnis gewisse Aussagen über Größe

und Inhalt einer Lagerstätte geben kann. Das Ga/Ge-Verhältnis zeigt innerhalb schichtgebundener Pb-Zn-Lagerstätten relativ gleichmäßige Verteilungen. Änderungen im Ga/Ge-Verhältnis weisen meist auf Remobilisationen hin. Davon betroffen sind z.B. die großräumigen metallreichen Vererzungen (Kalkscholle, Josefischolle) in der Lagerstätte Bleiberg-Kreuth, die auf Stoffwanderungen zurückzuführen sind. Änderungen im Ga/Ge-Verhältnis ergeben sich jedoch auch bei unwirtschaftlichen Vorkommen, z. B. in den Karawanken. Aus Abb. 49 gehen die Unterschiede zwischen schichtigen Erzführungen und remobilisierten Vorkommen aufgrund des Ga/Ge-Verhältnisses hervor.

Jüngste an Bleiberger Vererzungen durchgeführte Untersuchungen (1988/89) haben gezeigt, daß die Ge-Gehalte in Zinkblenden bei schichtigen Vererzungen keine gleichmäßige Verteilung haben. Das Ausklingen einer schichtigen Vererzung ist durch eine rapide Abnahme von Ge gekennzeichnet. Obwohl noch keine genetische Interpretation dieses geochemischen Verhaltens vorliegt, können sehr effizient explorationsbezogene Parameter daraus abgeleitet werden.

Sehr maßgebend bei der Bewertung von vorerkundeten (Bohrungen etc.) Mineralisationen ist auch der Fe-Gehalt der Zinkblende. Fe geht bei der Mobilisation von Zinkblenden in Abhängigkeit vom geochemischen Haushalt der umgebenden Gesteine weitgehend verloren, d. h. Zinkblende ändert ihre Farbe von braun zu weißlich. Eine Faustregel der alten Bleiberger Bergleute besagt: „aus einer hellen Blende ist noch nie was Gescheites geworden“.

7.4. Geophysikalische Messungen als untertägige Explorationshilfe

Die Schwierigkeiten, Pb-Zn-Erze in karbonatgebundenen Lagerstätten vom Typus Bleiberg mit geophysikalischen Methoden aufzuspüren, zeigt JANSCHERK (1975) auf. Zur „direkten“ Erfassung von Pb-Zn-Vererzungen in der Grube hat sich die „Radiowellen-Schattenmethode (RWS)“ seit den frühen 70er Jahren in zunehmendem Maß bewährt.

Der zu untersuchende Gesteinskomplex wird mit Radiowellen durchstrahlt. Erz absorbiert mehr Wellenenergie als das Nebengestein und verursacht so einen „Radiowellen-Schatten“. Die meßtechnischen Grundlagen sowie die seit 1982 erzielten Erfolge bei der Erzsuche im Bergbau Bleiberg-Kreuth wurden von NICKEL & CERNY (1989) publiziert. Seit 1982 wird in Kooperation zwischen Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover und der Bleiberger Bergwerksunion diese Radiowellen-Schattenmethode bei der untertägigen Erzsuche eingesetzt. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, daß Pb-Zn-Erze, die unregelmäßig im geologischen Raum verteilt sind (z. B. Flächenvererzungen in der Bleiberger Sonderfazies) von Bohrlöchern aus erkundet werden können.

Mit der RWS-Methode kann in jedem zu untersuchenden Gesteinskomplex die Anwesenheit und Lage von Einlagerungen (Störkörpern) auf der Fläche zwischen zwei Bohrlöchern angegeben werden, wenn die elektrischen Kenngrößen der Einlagerungen (elektrische Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante) sich meßbar von denen des Nebengesteins unterscheidet. Bei der Minimum-Meßentfernung von ca. 50 m können

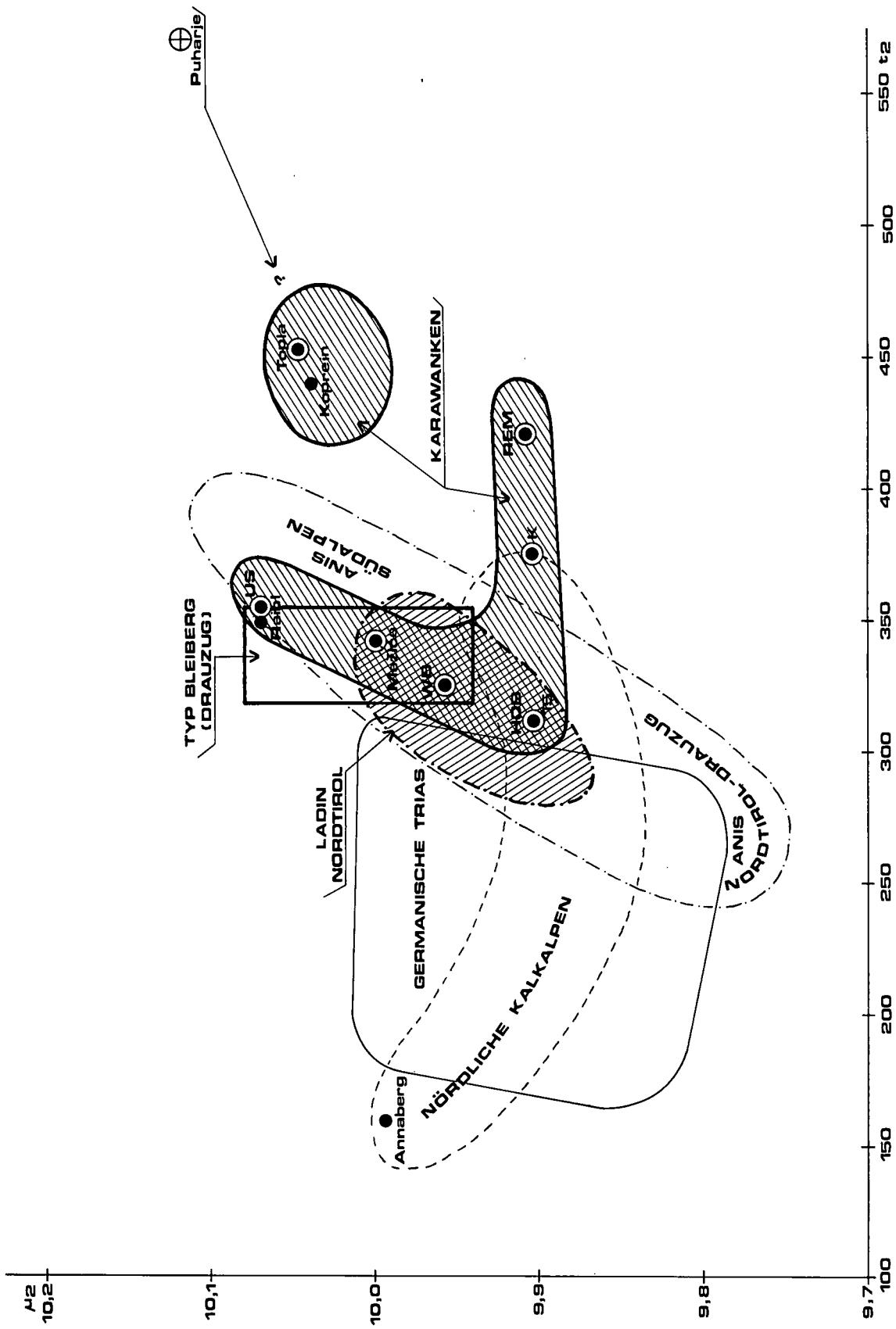


Abb. 48.
 T₂- μ_2 -Diagramm (nach dem Modell STACEV/KRAMMERS, 1975) von Bleien aus der Trias.
 Man beachte die drei Streufelder für Bleie aus den Karawanken. Bleie vom Typ Bleiberg: US = Unterschäffler Alm; WB = Windisch Bleiberg. Abweichende Bleie aus Vererzungen mit Ag-Cu-Führung (HOB15 = Kotschnig, K = Hochbör, REM = Remschnig) Topa mit extremem B-Typ der t₂-Modellalter. Dazu das altpaläozoische Blei von Koprein und Blei aus der permischen Lagerstätte von Puharje-Sostanj (Slowenien) mit μ_2 -Werten über 10 und t₂-Modellaltern des B-Typs.

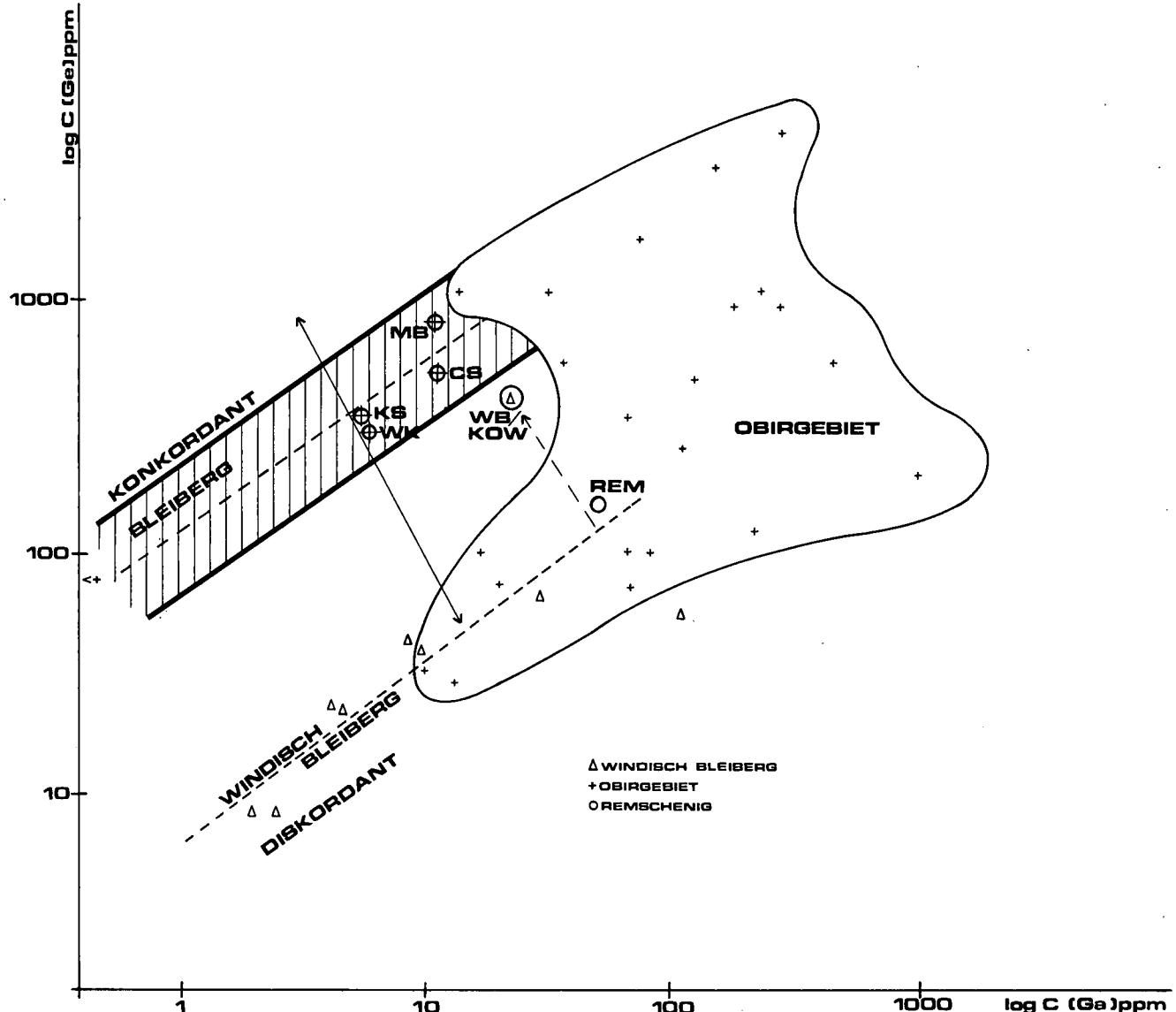


Abb. 49.

Ga/Ge in Sphaleriten.

Die konkordanten Vererzungen von Bleiberg zeigen ein relativ enges Feld (Mittelwerte für MB = Maxer Bank-Lagervererzung, Wk = Erzkalkvererzung, KS = Kalkschollenvererzung, CS = Erste Carditalagervererzung). Die Zinkblenden von Windisch-Bleiberg weichen vom Feld Bleiberg mit Ausnahme der Probe WB/KOW erheblich ab. Zinkblenden diskordanter Mineralisationen der Erzkalkvererzung von Bleiberg können in den Bereich der Ga/Ge-Verteilung von Windisch-Bleiberg fallen. Die Zinkblenden des Obirgebietes zeigen ein weit streuendes Feld der Ga/Ge-Werte.

noch Einlagerungen mit weniger als 0,5 m Mächtigkeit aufgefunden werden. Die RWS-Methode hat da ihre Grenzen, wo die elektrische Leitfähigkeit der Bergwässer 300 Mikrosiemens pro Zentimeter deutlich überschreitet und wo bei mehreren Einlagerungen auf der Untersuchungsfläche diese meßtechnisch nicht mehr aufgelöst werden können.

Im geologisch interessanten bzw. erzhöffigen Gebiet werden im Abstand von 100 m (max. 180–200 m) parallele Bohrlöcher abgestoßen (Länge je nach Erfordernis). Mit der Sendeantenne in Bohrloch 1 und der Empfangsantenne in Bohrloch 2 wird die Fläche zwischen den Bohrlöchern mit Radiowellen durchstrahlt. Die z. B. an Punkt A fixierte Sendeantenne strahlt eine konstante Leistung ab. Die Empfangsantenne wird in 2 m-Schritten ins Bohrlochtiefste bewegt, und dabei die empfangene Feldstärke registriert. Die Meßkurve weist für die Antennenpositionen ein Minimum, den Radiowellen-

schatten auf, wo das Erz zwischen Sende- und Empfangsantenne liegt.

Durch Messungen mit drei fixen Sendeantennenpositionen und fünf Frequenzen zwischen 10 und 30 MHz kann die Position auf der Meßfläche angegeben werden, an der die gesuchte Vererzung die Fläche durchdringt.

Die Methode verlangt eine enge Zusammenarbeit zwischen Geologen und Geophysikern – eine geologische Vermutung kann mit dieser RWS-Methode sehr rasch realisiert oder entkräftet werden. So konnten z. B. bei der Erschließung des Stefanie-Tiefbaues (im Osten der Grube Bleiberg) das erhoffte Niedersetzen der Erze vom 12. auf den 13. Lauf (70 m Laufabstand) auf sehr effiziente Weise mit der RWS-Methode vorherkundet werden.

Die Suche und Erkundung von karbonatgebundenen Pb-Zn-Vererzungen erfordert sehr viel Fingerspitzenge-

fühl. Von der Idee bis zur Realisierung bedarf es der Anwendung einer Vielzahl geowissenschaftlicher Methoden, die in Summe den Erfolg bringen, den der Bergbaubetrieb braucht, um Erze bei gegebenen wirtschaftlichen Voraussetzungen abbauen zu können.

Dank

Prof. Dr. L. KOSTELKA hat mich 1985 angeregt, die vorliegende Arbeit – eine Zusammenschau karbonatgebundener Pb-Zn-Lagerstätten im alpinen Raum – in Angriff zu nehmen. Das Studium der umfangreichen Literatur bewog mich, bestärkt durch Anregungen von Univ.-Prof. Dr. H. HOLZER, diesen Lagerstättentyp umfassender darzustellen und den außeralpinen Raum in diese Arbeit miteinzubeziehen. Für die zahlreichen Anregungen und die kritische Durchsicht der Arbeit danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. H. HOLZER und Herrn Univ.-Prof. Dr. E. SCHROLL. Der Bleiberger Bergwerks-Union danke ich für die Erlaubnis, werkseigene Daten veröffentlichen zu dürfen.

Literatur

- AMSTUTZ, G. C. & FONTBOTÉ, L.: Observations of the Genesis of Strata-bound Pb-Zn-(F,Ba-)Deposits in Carbonate Rocks. – Int. Conf. on Mississippi Valley Type Lead-Zinc Deposits, Proc. Vol. Univ. Missouri-Rolla, 536–545, 8 Fig., Missouri 1983.
- AKANDE, S. O. & ZENTELLI, M.: Genesis of the Lead-Zinc Mineralisation of Gays River, Nova Scotia, Canada. – In: KIS-VARSANYI, G. (Ed.): Inst. Conf. on Mississippi Valley Type Lead-Zinc Deposits, 546–557, 19 fig., Rolla 1983.
- ASSERETO, R., BRIGO, L., BRUSCA, C., OMENETTO, P. & ZUFFARDI, P.: Italian ore mineral deposits related to emersion surfaces – a summary. – Mineral. Deposita, **11**, 170–179, Berlin 1976.
- ASSERETO, R., BRUSCA, C., GAETANI, M. & JADOU, F.: The Pb-Zn Mineralisation in the Triassic of the Dolomites: Geological history and genetic interpretation. – L'Industria Mineraria, **231**, 1–34, 23 fig., Milano 1977.
- BÄCKER, H.: Lagesrättenbildung an divergierenden Platten-grenzen. – Erzmetall, **35/2**, 91–97, 6 Abb., Weinheim 1982.
- BALZER, B.: On the distribution of iron and manganese at the sediment/water interface: Thermodynamic versus Kinetic Control. – Geochem. et Cosmochim. Acta, **46**, 1153–1162, 1982.
- BAUER, F. K.: Zur Fazies und Tektonik des Nordstammes der Ostkarawanken von der Petzen bis zum Obir. – Jb. Geol. B.-A., **113**, 189–246, Wien 1970.
- BAUER, F. K.: Zur Geologie der westlichen Karawanken und zum Verlauf des periadriatischen Lineamentes. – Jb. Geol. B.-A., **127/3**, 289–297, 2 Abb., Wien 1984.
- BAUER, F. K. & SCHERMANN, O.: Das periadriatische Lineament in den Karawanken. – Jb. Geol. B.-A., **127/3**, 229–305, Wien 1985.
- BECHSTÄDT, Th.: Zyklotherme im hangenden Wettersteinkalk von Bleiberg-Kreuth (Kärnten, Österreich). – Festschrift Heißel, Veröff. d. Univ. Innsbruck, **86**, 25–55, Innsbruck 1973.
- BECHSTÄDT, Th.: Lead-Zinc ores dependent on cyclic sedimentation (Wetterstein-Limestone of Bleiberg-Kreuth, Carinthia, Austria). – Mineral. Deposita, **10**, 234–248, Berlin – Heidelberg (Springer) 1975.
- BECHSTÄDT, Th.: Zyklische Sedimentation im erzführenden Wettersteinkalk von Bleiberg-Kreuth (Kärnten, Österreich). – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **149**, 73–95, Stuttgart 1975.
- BECHSTÄDT, Th.: Faziesanalyse permischer und triadischer Sedimente des Drauzuges als Hinweis auf eine großräumige Lateralverschiebung innerhalb des Ostalpins. – Jahrb. Geol. B.-A., **121/1**, 1–121, 17 Abb., Wien 1978.
- BECHSTÄDT, Th.: The lead-zinc deposit of Bleiberg-Kreuth (Carinthia, Austria): Palinspastic situation, paleogeography and ore mineralization. – Proceed. 3rd ISMIDA (Leoben 1977), Verh. Geol. B.-A., **1978/3**, 221–235, Wien 1979.
- BECHSTÄDT, Th., BRANDNER, R., MOSTLER, H. & SCHMIDT, R.: Aborted rifting in the Triassic of the Eastern and Southern Alps. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **156/2**, 157–178, 6 Fig., Stuttgart 1978.
- BECHSTÄDT, Th., BRANDNER, R. & MOSTLER, H.: Das Frühstadium der alpinen Geosynklinalentwicklung im Westlichen Drauzug. – Geol. Rdsch., **65**, 616–648, Stuttgart 1976.
- BEHR, H.-J. & HORN, E. E.: Unterscheidungskriterien für die Mineralisationen des variskischen und post-variskischen Zyklus, die aus der Analyse fluider Einschlüsse gewinnbar sind. – In: Postvariskische Gangmineralisation in Mitteleuropa, 255–269, Weinheim (Chemie) 1984.
- BEMMELEN, VAN, R. W.: Beitrag zur Geologie der Gailtaler Alpen (Kärnten, Österreich). – Jb. Geol. B.-A., **100/2**, 179–212, Wien 1957.
- BITTNER, A.: Zur Stellung der Raibler Schichten. – Verh. Geol. R.-A., 59–70, Wien 1885.
- BONI, M.: Les gisements de type Mississippi Valley du Sud-Ouest de la Sardaigne (Italie): une synthèse. – Chron. rech. min., **479**, 7–34, 12 fig., 3 tab., Paris 1985.
- BONI, M. & IANNACE, A.: The “geodic dolomite” of the Iglesiente region (SW Sardinia). – 8th IASD Regional Meeting of Sedimentology, Abstracts, p. 112, Tunis 1987.
- BOUHLEL, S.: Visit of Bou Jabeur Barite-Fluorite Pb-Zn Ore Deposits. – Excursion Guidebook of 8th Regional Meeting of Sedimentology (IAS), Tunis, 1987.
- BRANDNER, R.: Meeresspiegelschwankungen und Tektonik in der Trias der NW-Tethys. – Jb. Geol. B.-A., **126/4**, 435–475, 25 Abb., Wien 1984.
- BRIGO, L., DULSKI, P., MÖLLER, P., SCHNEIDER, H.-J. & WOLTER, R.: Strata-Bound Mineralizations in the Carnic Alps/Italy. – In: BOISSONNAS, J. & OMENETTO, P. (Ed.): Mineral Deposits within the European Community, 485–498, 4 fig., Berlin – Heidelberg (Springer) 1988.
- BRIGO, L., KOSTELKA, L., OMENETTO, P., SCHNEIDER, H.-J., SCHROLL, E., SCHULZ, O. & STRUCL, I.: Comparative Reflections on Four Alpinen Pb-Zn Deposits. – In: KLEMM, D. & SCHNEIDER, H.-J. (Eds.): Time and Strata-Bound Ore Deposits, 273–291, 4 fig., Berlin – Heidelberg (Springer) 1977.
- BRIGO, L. & OMENETTO, P.: Le mineralizzazioni piombo-zincifere della zona di Raibl: Nuovi aspetti giacimentologici. – L'Ind. Mineraria, **27**, 49–56, Faenza 1976.
- BRUNLECHNER, A.: Die Entstehung und Bildungsfolge der Bleiberger Erze. – Jb. d. Naturhist. Landesmuseums v. Kärnten, **25**, 61–96, Klagenfurt 1899.
- BRUSCA, C., GAETANI, M., JADOU, F. & VIEL, G.: Palaeogeografia Ladino-Carnica e Metallogenesis del Sudalpino. – Mem. Soc. Geol. It., **22**, 65–82, Roma 1981.
- CAIA, J.: Paleogeographical and sedimentological controls of copper, lead and zinc mineralisations in the Lower Cretaceous sandstones of Africa. – Econ. Geol. **71/2**, 409–422, 1976.
- CANAVAL, R.: Der Blei- und Galmeibergbau Jauken bei Dellach im Drautal. – Berg- u. Hüttenmänn. Jb. **79/2**, 1931, 1–7, Wien 1931.
- CARDICH-LOARTE, L. A. & SCHROLL, E.: Zur Geochemie des Strontiums in den Blei-Zink-Erzmineralisationen vom Typ Bleiberg-Kreuth und die Beziehung zur Erzgenese. – Proc. 2nd ISMIDA, Bled 1971, Geol. Razpr. Poroc., **15**, 337–342, Ljubljana 1972.
- CARDICH-LOARTE, L. & SCHROLL, E.: Die Verteilung und Korrelation einiger Elemente in einem Erzkalkprofil der Bleiberger Fazies (Bleiberg/Kärnten – Rudolfschacht). – Tscherm. Min. Petr. Mitt., **20**, 59–70, 1 Abb., Wien 1973.
- CHAREF, A. & SHEPPARD, S. M. F.: The Malines Cambrian Carbonate – Shale hosted Pb-Zn Deposit, France: Thermometric and Isotopic (H_2O) Evidence for Pulsating Hydrothermal Mineralization. – Mineral. Deposita, **23**, 86–95, 8 Fig., Heidelberg (Springer) 1988.
- CERNY, I.: Bericht über die Profilaufnahme „Bleiwände“ Steinfeld und „Kolm“ bei Dellach (Oberes Drautal, Kärnten). – Unveröff. BBU-Bericht, 17 S., 10 Abb., 1974.

- CERNY, I.: Zur Fazies- und Blei/Zink-Verteilung im „Anis“ der Karawanken. – Carinthia II, **167./87.**, 59–78, Klagenfurt 1977.
- CERNY, I.: Geochemie „anisischer“ Sedimentgesteine in den Nordkarawanken. – Carinthia II, **168./88.**, 55–70, Klagenfurt 1978.
- CERNY, I.: Grundlegende geologische Untersuchungen in Bereichen, die unter den bisher bekannten erzführenden Schichten des Bergbaues Bleiberg-Kreuth und Grenzgebieten liegen. – Unveröff. Bericht, Lagerstättenforschungsprojekt d. Geol. B.-A., 1979.
- CERNY, I.: Endbericht 1980 zum Forschungsthema „Integrierte Lagerstättenforschung Bleiberg“. – Unveröff. Bericht, Lagerstättenforschungsprojekt d. Geol. B.-A., 1980.
- CERNY, I.: Geochemie und Sedimentologie der Raibler Schichten im Raum Förolach (Gailtal, Kärnten). – Carinthia II, **172./92.**, 63–76, 7 Abb., 4 Tab., Klagenfurt 1982.
- CERNY, I.: Fazies und Pb-Zn-Vererzung in den Hangenden Raibler Schichten der Draukalkalpen. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **28**, 109–120, 2 Abb., 3 Tab., 1 Beil., Wien 1982.
- CERNY, I.: Pb-Zn-Erzmobilisationen in Dolomitgesteinen der Draukalkalpen (Kärnten, Österreich). – Schriftr. Erdwiss. Komm. Österr. Akad. Wiss., **6**, 31–38, 2 Abb., Wien 1983.
- CERNY, I.: Pb-Zn-Vererzung in den Nordtiroler Kalkalpen. – Unveröff. Bericht, Lagerstättenforschungsprojekt d. Geol. B.-A., 1984.
- CERNY, I.: Gibt es Kennzeichen für das Auftreten von Pb-Zn-Vererzung in der Mitteltrias der Draukalkalpen? – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **6**, 231–233, Wien 1985.
- CERNY, I. & HAGEMEISTER, A.: Fluoritmineralisationen in mitteltiassischen Karbonatgesteinen am Jauken (Gailtaler Alpen/Kärnten, Österreich). – Carinthia II, **176./96.**, 407–417, 4 Abb., Klagenfurt 1986.
- CERNY, I. & KOSTELKA, L.: The development of the geological Groundwork as basis for ore prospecting at Bleiberg-Kreuth, Austria. – In: JANCOVIC, S. (Ed.): Mineral Deposits of the Tethian Eurasian metallogenetic belt between the Alps and the Pamirs (Selected Examples), UNESCO/IGCP Proj. 169 „Geotectonic Evolution and Metallogeny of Mediterranean and SW Asia“, 62–68, 2 fig., Belgrade 1987.
- CERNY, I., SCHERER, J. & SCHROLL, E.: Blei-Zink-Verteilungsmodell in stillliegenden Blei-Zink-Revieren der Karawanken. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **2**, 15–22, 5 Abb., 2 Tab., Wien 1982.
- CLAR, E.: Über die Blei-Zinklagerstätte St. Veit bei Imst (Nordtirol). – Jb. Geol. B.-A., **79**, 333–356, Wien 1929.
- COLBERTALDO, D., DI: Il giacimento piombo-zincifero di Raibl in Friuli (Italia). – Mem. presented 18th Sess. Intern. Geol. Congr., p. 149, London 1948.
- CROWSON, P.: Minerals Handbook 1986–87 – Statistics and Analyses of the world's Mineral Industry. – 331 S., Hampshire (Stockton Press) 1986.
- DEFFEYES, K. S., LUCIA, F. J. & WEYL, P. K.: Dolomitization of Recent and Plio-Pleistocene sediments by marine evaporite waters on Bonaire, Netherlands Antilles. – In: PRAY, L. C. & MURRAY, R. C.: (Eds.): Dolomitization and Limestone Diagenesis: a Symposium. – Soc. Econ. Paleontologists, Mineralogists, Spec. Publ., **13**, 17–88, 1965.
- DROVENIK, M.: The origin of Slovenian ore deposits. – Geologija, **23/1**, 1–157, 91 Abb., Ljubljana 1980.
- DZULYNSKI, S. & SASS-GUSTKIEWICZ, M.: Dominant ore-forming processes in the Cracow-Silesian and Eastern Alpine Zinc-Lead deposits. – Proceedings of the Fifth Quadrennial IA-GOD Symposium, 415–429, Stuttgart (Schweizerbarth) 1980.
- EL AREF, M. & AMSTUTZ, G. C.: Lead-Zinc deposits along the Red Sea Coast of Egypt (new observations and genetic models on the occurrences of Um Gheig, Wizr, Essel and Zug El Bohar). – Monogr. Ser. Mineral Deposits, **21**, 103 p., Stuttgart (Borntraeger) 1983.
- EL AREF, M. M.: Strata Bound and Stratiform Iron Sulfides, Sulfur, and Galena in the Miocene Evaporites, Ranga, Red Sea, Egypt (with special Emphasis on their Diagenetic Crystallization Rhythmites). – In: WAUSCHKUHN, A. et al.: Syngensis and Epigenesis in the Formation of Mineral Deposits. – 457–467, 9 fig., Berlin – Heidelberg (Springer) 1984.
- EL AREF, M. M. & AWADALAH, F. & AHMED, S.: Karst landform and related sediments in the Miocene rocks of the Red Sea coastal zone, Egypt. – Geologische Rundschau, **75/3**, 781–790, 4 Fig., Stuttgart 1986.
- EPPENSTEINER, W.: Die schwarzen Breccien der Bleiberger Fazies. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., **14/15.**, 205–228, 1 Abb., Wien 1965.
- EPPENSTEINER, W.: Studien über Sedimentation und Diagenese des oberen Wettersteinkalkes in Bleiberg-Kreuth (Kärnten). – Diss.- Univ. Wien, 89 S., Wien 1970.
- FONTBOTÉ, L. & AMSTUTZ, G. C.: Facies and Sequence Analysis of Diagenetic Crystallization Rhythmites in Strata-Bound Pb-Zn-(Ba-F)-Deposits in the Triassic of Central and Southern Europe. – In: SCHNEIDER, H.-J. (Ed.): Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe, 347–358, 6 fig., Berlin – Heidelberg (Springer) 1983.
- FONTBOTÉ, L., AMSTUTZ, G. C. & SAMANIEGO, A.: Zur faziellen Stellung und zum diagenetischen Kristallisierungsprozeß von Erzmineralien in schichtgebundenen Zn-Pb-Lagerstätten (am Beispiel von San Vicente, im zentralen Ostperu). – Proc. 7. Geowiss. Lateinamerika Koll., Heidelberg 1980, Zentralbl. Geol. Paläont. I, 465–477, 1981.
- FONTBOTÉ, J. M., FONTBOTÉ, L. & AMSTUTZ, G. C.: Observations on the Setting of the Strata-Bound F-(Pb-Zn)Deposits in the Triassic of the Alpujarrides (Betic Cordillera, Southern Spain). – In: SCHNEIDER, H.-J. (Ed.): Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe. – 249–258, 5 Fig., Berlin – Heidelberg (Springer) 1983.
- FRIEDRICH, O. M.: Zur Erzlagerstättenkarte der Ostalpen. – Radex Rundschau, **7/8**, 371–407, 1 Beil., Radenthein 1953.
- FRIEDRICH, O. M.: Radnig, eine sedimentäre Blei-Zinklagerstätte in den südlichen Kalkalpen. – Archiv f. Lagerst.-forsch. i.d. Ostalpen, **2**, 121–164, 32 Abb., Leoben 1964.
- FRIEDRICH, O. M.: Lucken bei Lofer – eine sedimentäre Zn-Pb-Lagerstätte in den Nördlichen Kalkalpen. – Archiv f. Lagerst.-forsch. i.d. Ostalpen, **5**, 56–79, 24 Abb., Leoben 1967.
- FRISCH, W.: Die Alpen im Westmediterranen Orogen – eine plattentektonische Rekonstruktion. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **24**, 263–275, Wien 1977.
- FRUTH, I. & MAUSCHER, A.: Spurenelemente und Schwefel-Isotope in Zinkblenden der Blei-Zink-Lagerstätte Gorno. – Mineral. Deposita, **1**, 238–250, Berlin 1966.
- FUCHS, Y.: Les Minéralisations des Milieux Carbonatés de la Plateforme Epicontinentale. – Mém. Soc. Geol. It., **22**, 35–51, 7 fig., 1981.
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G.: Sedimente und Sedimentgesteine, II. – 726 S., 326 Abb., 66 Tab., Stuttgart (Schweizerbarth) 1970.
- GEYER, G.: Ein Beitrag zur Stratigraphie und Tektonik der Gailtaler Alpen in Kärnten. – Jb. d. k. k. Geol. R.-A., Bd. **47/2**, 295–364, Wien 1897.
- GEYER, G.: Geologische Aufnahmen im Weißenbachtale, Kreuzengraben und in der Spitzriegelkette (Oberkärnten). – Verh. Geol. R.-A., **1901**, 113–139, Wien 1901.
- GÖTZINGER, M.: Mineralisationen in den Gutensteiner Schichten (Anis) in Ostösterreich. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **6**, 183–192, 6 Abb., 3 Tab., Wien 1985.
- GÖTZINGER, M. & PAK, E.: Zur Schwefelisotopenverteilung in Sulfid- und Sulfatmineralen triadischer Gesteine der Kalkalpen, Österreich. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **29**, 191–198, 1 Abb., Wien 1983.
- GÖTZINGER, M. & WEINKE, H. H.: Spurenelementgehalte und Entstehung von Fluoritmineralisationen in den Gutensteiner Schichten (Anis-Mitteltrias), Nördliche Kalkalpen, Österreich. – Tscherm. Min. Petr. Mitt., **33**, 101–119, 8 Abb., Wien 1984.

- GROTHOJANN, H.: Die Korrelation von Faziesdifferenzierung im erzhöfigen Muschelkalk (Mitteltrias) der Ostalpen. – Berliner geowiss. Abh., **3**, 1–70, 34 Abb., 5 Taf., 10 Tab., Berlin 1978.
- GRUSZCYK, H.: The genesis of the Silesian–Cracow deposit of lead-zinc ores. – In: BROWN, J. S. (Ed.): Genesis of stratiform lead-zinc-barite-fluorite deposits. – Econ. Geol. Monogr., **3**, 169–1877, 1967.
- GSTREIN, P.: Über mögliche Umlagerungen von Fahlerz devonischer Schwazer Dolomite wie auch in der angrenzenden Schwazer Trias. – In: PETRASCHECK, W. E. (Ed.): Ore Mobilization in the Alps and SE-Europe, Schriftenreihe der Erdwissenschaftlichen Komm. Österr. Akad. Wiss., Vol. **6**, 65–74, Wien – New York (Springer) 1983.
- GUILBERT, J. H. & PARK, Ch. F. Jr.: The Geology of Ore Deposits. – 985 S., New York (Freeman and Company) 1986.
- GWOŁDZ, W. & KREBS, W.: Manganese halo surrounding Manganous ore deposit, Germany. – Trans. Instn. Min. Metall (Sect. B: Appl. Earth Sci.), **86**, 73–77, 2 fig., 1977.
- HAGEMEISTER, A.: Zyklische Sedimentation auf einer stabilen Karbonatplattform: Die Raibler Schichten (Karn) des Drauzuges (Österreich). – Unveröff. Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br., 185 S., 39 Abb., 12 Taf., Freiburg 1986.
- HAGENGUTH, G.: Geochemische und fazielle Untersuchungen an den Maxerbänken im Pb-Zn-Bergbau von Bleiberg-Kreuth/Kärnten. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., Sh. **1**, 110 S., 46 Abb., 1 Taf., Wien 1984.
- HAGENGUTH, G., POBER, E., GÖTZINGER, M. A., & LEIN, R.: Beiträge zur Geologie, Mineralogie und Geochemie der Pb/Zn-Vererzungen Annaberg und Schwarzenberg (Niederösterreich). – Jahrb. Geol. B.-A., **125**/1–2, 155–218, 21 Abb., 10 Tab., Wien 1982.
- HARANCZYK, C.: Metallogenetic evolution of the Silesia–Cracow region. – In: PAWLOWSKA, J., CHIDESTER, A. H. & WEDOW, H. (Eds.): Research of the genesis of zinc-lead deposits of Upper Silesia, Poland. – Prace geol. Inst., **95**, 109–132, 6 Abb., 5 Tab., 8 Taf., Warschau 1979.
- HARSCH, W.: Zur Sedimentologie und Paläogeographie der Raibler Schichten (Ober-Trias) im Westteil der Nördlichen Kalkalpen. – Z. Dt. Geol. Ges., **121**, 253–272, Hannover 1970.
- HASLINGER, E.: Geologisch-lagerstättenkundliche Untersuchungen von 7 Erzvorkommen im weiteren Raum des südlichen Salzkammergutes. – Diss. Phil. Fak., Univ. Wien, 147 S., Wien 1962.
- HARRIS, P. M., KENDALL, C. G. & LERCHE, I.: Carbonate cementation – a brief review. – S. E. P. M. Spec. Publ., **36**, 79–95, Tulsa 1985.
- HEGEMANN, F.: Die Herkunft des Mo, V, As und Cr im Wulfenit der alpinen Blei-Zinklagerstätten. – Heidelberger Beitr. Miner. Petrogr., **1**, 690–715, Heidelberg 1949.
- HEGEMANN, F.: Über extrusiv-sedimentäre Erzlagerstätten der Ostalpen. II. Teil: Blei-Zinklagerstätten. – Erzmetall, **13**, 79–84, 122–127, Stuttgart 1960.
- HEIN, U. F.: Zur Geochemie des Fluors in alpinen Pb-Zn-Lagerstätten. – Arch. f. Lagerst.forsch., Geol. B.-A., **6**, 195–199, 5 Abb., Wien 1985.
- HEIN, U.: Zur Geochemie des Fluors im Nebengestein und Spurenelementfraktionierung in Fluoriten der kalkalpinen Pb-Zn-Lagerstätten. – Berliner geowiss. Abh. A81, 119 S., 56 Abb., 22 Tab., 1 Taf., Berlin 1986.
- HEISSLITNER, O.: Bericht über die Nordtiroler Pb-Zn-Erzbergbaue in der Trias. – Gutachten der Bleiberger Bergwerks-Union, 64 S., Klagenfurt 1933.
- HITZMANN, H.W. & LARGE, D.: A review and classification of the Irish carbonate-hosted base metal deposits. – In: ANDREW, C. J. et al. (Eds.): Geology and Genesis of Mineral Deposits in Ireland, 217–238, 7 fig., Irish Assoc. for Econ. geology (Dublin) 1986.
- HOLLER, H.: Die Tektonik der Bleiberger Lagerstätte. – Carinthia II, Sh. **7**, 1–87, Klagenfurt 1936.
- HOLLER, H.: Die Beschreibung des Bergbaues Eisenkappel. – BBU-interner Bericht, 1938.
- HOLLER, H.: Bericht über die montangeologische Untersuchung des Bergbaues Bleiwände bei Steinfeld (Kärnten). – Unveröff. BBU-Bericht, Klagenfurt 1948.
- HOLLER, H.: Zur Frage des Niedersetzens der Mitterberger Blei-Zink-Vererzung (Kreuzen). – BHM **95/5**, 89–92, 1 Abb., Wien 1950.
- HOLLER, H.: Die Stratigraphie der karnischen und norischen Stufe in den östlichen Gailtaler Alpen. – BGH, **96/4**, 69–75, 1 Abb., Wien (Springer) 1951.
- HOLLER, H.: Der Blei-Zink-Bergbau Bleiberg, seine Entwicklung, Geologie und Tektonik. – Carinthia II, **143**, 35–46, Klagenfurt 1953.
- HOLLER, H.: Zur Stratigraphie des Ladin im östlichen Drauzug und in den Nordkarawanken. – Carinthia II, **70** (150), Heft 2, 63–75, 3 Abb., Klagenfurt 1960.
- HOLLER, H.: Ergebnisse der zweiten Aufschlußperiode (1938–1941) beim Blei-Zink-Erzbergbau Eisenkappel in Kärnten (Hochobir, östliche Karawanken). – Carinthia II, **167/87**, 31–52, 6 Abb., Klagenfurt 1977.
- HOLLER, H.: Geologisch-tektonische Aufnahmen westlich der Bleiberger Lagerstätte. – Carinthia II, **33**, Sh., 97 S., 7 Karten, 5 Profilblätter, Klagenfurt 1977.
- HSÜ, K. J.: A nonsteady State Model for Dolomite, Evaporite, and Ore Genesis. – In: WAUSCHKUHN, A. et al. (Eds.): Syngensis and Epigenesis in the Formation of Mineral Deposits, 275–286, 4 fig., Berlin – Heidelberg (Springer) 1984.
- HSÜ, K. J. & SIEGENTHALER, C.: Preliminary experiments on hydrodynamic movement induced by evaporation and their bearing on the dolomite problem. – Sedimentology **12**, 11–25, 1969.
- ILAVSKY, J.: Stratiforme Erze in den Westkarpaten und ihre gegenseitigen Korrelationen. – Verh. Geol. B.-A., **3**, 393–402, Wien 1979.
- ISSER, M. v.: Mitteilungen über einige alte Erzbergbaue im Nordtiroler Kalkalpenzuge. – Österr. Zeitschrift f. Berg- und Hüttenwesen, **15**, 36. Jg., 187–328, Wien 1888.
- JANKOVIC, S.: Wirtschaftsgeologie der Erze. – 347 S., Wien – New York (Springer) 1967.
- JANSCHEK, H.: Erforschung integrierter geophysikalischer Methoden zur Exploration von Blei-Zinklagerstätten vom Typ Bleiberg. – BHM, **120**, 10, 484–486, 4 Abb., Wien – New York (Springer) 1975.
- JERZ, H.: Zur Paläogeographie der Raibler Schichten in den Westlichen Nordalpen. – Verh. Geol. B.-A., Sh. G, 171–183, Wien 1965.
- JERZ, H.: Untersuchungen über Stoffbestand, Bildungsbedingungen und Paläogeographie der Raibler Schichten zwischen Lech und Inn (Nördliche Kalkalpen). – Geologica Bavaria, **56**, 3–102, München 1966.
- KANAKI, F.: Die Minerale Bleibergs (Kärnten). – Carinthia II, **82/162**, 7–84, Klagenfurt 1972.
- KANTOR, J.: Pb-Zn-ores in the Westkarpathian Triassic and the distribution of their sulfur isotopes. – In: KLEMM, D. D. & SCHNEIDER, H.-J. (Eds.): Time and strata-bound ore deposits, 294–304, 5 Abb., Berlin (Springer) 1977.
- KAPPEL, E. & SCHROLL, E.: Ablauf und Bildungstemperatur der Blei-Zink-Vererzungen von Bleiberg-Kreuth, Kärnten. – Carinthia II, **172**, **92**, 49–62, Klagenfurt 1982.
- KESSLER, F.: Fazieszyklen und Subsidenz auf einem evaporitischen Scheit. Die Raibler Schichten Westtirols und Südbayerns (Alpine Trias, Karn, Nördliche Kalkalpen). – Unveröff. Diss. Univ. Freiburg, 140 S., Freiburg 1985.
- KLAU, W. & LARGE, D. E.: Submarine exhalative Cu-Pb-Zn deposits – A discussion of their classification and metallogenesis. – Geol. Jb., **D40**, 13–58, 5 Fig., 4 Tab., Hannover 1980.
- KLAU, W. & MOSTLER, H.: Alpine Middle and Upper Triassic Pb-Zn Deposits. – In: KISVARSAJNY, G. (ed.): Int. Conf. on Mississippi Valley Type Lead-Zinc Deposits, 113–128, 18 fig., Rolla 1983.

- KLAU, W. & MOSTLER, H.: Zn-Pb-F-Mineralization in Middle Permian of Tregiovo (Province of Bozen/Trient, Italy). – In: SCHNEIDER, H.-J. (Ed.): Mineral Deposits of the Alps, Proceedings of the IV. ISMIDA, Berchtesgaden. – 70–80, 6 fig., Berlin (Springer) 1983.
- KOSTELKA, L.: Bericht über geologische Aufnahmen, Revier Unterschäffler, Oberschäffler und Muill. – Unpubl. Bericht BBU, Juli 1939.
- KOSTELKA, L.: Windisch-Bleiberg. – Carinthia II, **70 (150)**, H. 2, 75–85, 2 Taf., 3 Beil., Klagenfurt 1960.
- KOSTELKA, L.: Kontrolle der Wirtschaftlichkeit der geologischen Bearbeitung im österreichischen Blei-Zinkerz-Bergbau. – BHM, **112/6**, 166–172, 3 Abb., Wien – New York (Springer) 1967.
- KOSTELKA, L.: Introduction to the Lead-Zinc Deposits of Bleiberg-Kreuth (Kärnten, Austria). – Sedimentology of parts of Central Europe, Guide-book XIIIth int. Sediment. Congress, 1971.
- KOSTELKA, L.: Die Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth in Zeit und Raum. – Veröff. Naturhist. Museum Wien, H. F. **6**, 8–14, Wien 1972.
- KOSTELKA, L., CERNY, I & SCHROLL, E.: Coordination of diagnostic features in ore occurrences of base metals in dolomites and limestones (Final report of IGCP-Project 6). – Schriftenreihe erdwiss. Komm. d. Österr. Akad. Wiss., **8**, 283–298, 1 Fig., Wien 1986.
- KOSTELKA, L. & SIEGL, W.: Der triadische Geosynklinalmechanismus und die Blei-Zink-Vererzung in den Drau-Kalkalpen. – Symp. 1966, Int. Giamenti Minerali delle Alpi, 127–134, 4 Abb., Trento 1966.
- KÖPPEL, V.: Summary of lead isotope data from ore deposits of the Eastern and Southern Alps, in Mineral Deposits of the Alps. – In: SCHNEIDER, H.-J. (Ed.): Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe, 162–168, Berlin – Heidelberg (Springer) 1983.
- KÖPPEL, V. & KOSTELKA, L.: The isotopic compositon of ore lead from Bleiberg, Austria. – Vortrag und Preprint, Symp. Delft, 1976.
- KÖPPEL, V. & SCHROLL, E.: Bleiisotopen-Zusammensetzung von Bleierzen aus dem Mesozoikum der Ostalpen. – Verh. Geol. B.-A., **1978/3**, 403–409, Wien 1979.
- KÖPPEL, V. & SCHROLL, E.: Herkunft des Pb der triassischen Pb-Zn-Vererzungen in den Ost- und Südalpen; Resultate bleiisotopengeochimischer Untersuchungen. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **6**, 215–222, 7 Abb., 8 TAb., Wien 1985.
- KÖPPEL, V. & SCHROLL, E.: Pb-isotope evidence for the origin of lead in strata-bound Pb-Zn deposits in Triassic carbonates of the Eastern and Southern Alps. – Mineral. Deposita, **23**, 96–103, 7 Fig., Berlin – Heidelberg – New York (Springer) 1988.
- KRAINER, K.: Beitrag zur Mikrofazies, Geochemie und Paläogeographie der Raibler Schichten der östlichen Gailtaler Alpen (Raum Bleiberg – Rubland) und des Karwendel (Raum Lafatsch/Tirol). – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **6**, 129–142, Wien 1985.
- KRANZ, J. R.: Geochemische Charakteristik des erzhöflichen Oberen Wettersteinkalkes (alpine Mitteltrias) der Ostalpen. – Unveröff. Diss. FU Berlin, 219 S., Berlin 1974.
- KRANZ, J. R.: Stratiforme und diskordante Zink-Blei-Anomalien im erzhöflichen Wettersteinkalk (alpine Mitteltrias). – Mineral. Deposita, **11**, 6–23, 6 Abb., Berlin (Springer) 1976.
- KRANZ, J. R.: Strontium – ein Fazies-Diagenese-Indikator im Oberen Wettersteinkalk (Mittel-Trias) der Ostalpen. – Geol. Rdsch., **65/2**, 593–615, Stuttgart 1976.
- KRAUS, O.: Geologische Spezialuntersuchungen im westlichen Bereich des Heiterwand-Gebietes (Lechtaler Alpen). – Unveröff. Diplomarbeit, Techn. Hochschule München, 96 S., 33 Abb., 17 Taf., München 1965.
- KRAUS, O.: Die Raibler Schichten des Drauzuges (Südliche Kalkalpen). – Jb. Geol. B.-A., **112**, 81–152, Wien 1969.
- KRAUS, O. & SCHMIDT-THOMÉ, P.: Faziesentwicklung in der alpinen Trias des Heiterwand-Gebietes (östliche Lechtaler Alpen, Tirol). – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **1967**, 117–127, 1967.
- LARGE, D. E.: Geological parameters associated with sediment-hosted, submarine exhalative Pb-Zn-deposits: an empirical model for mineral exploration. – Geol. Jb., **D40**, 59–129, 18 Fig., 11 Tab., Hannover 1980.
- LAUBSCHER, M.: Das Alpen-Dinariden-Problem und die Palinspastik der südlichen Tethys. – Geol. Rdsch., **60**, 813–833, Stuttgart 1971.
- LEIN, R.: Das Mesozoikum der Nördlichen Kalkalpen als Beispiel eines gerichteten Sedimentations-Verlaufes infolge fortschreitender Krustenausdünnung. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **6**, 117–128, 4 Abb., Wien 1985.
- MARTIN, J. M., TORRES-RUIZ, J., VELLILLA, H. & HACH-ALI, P. F.: Paleokarstic Lead-(Zinc)-fluorite Deposits in shallowing upward Sequences in the Triassic of the Alpujarrides (Betic Cordillera, Southern Spain). – In: WAUSCHKUHN (ed.): Syngensis and Epigenesis in the formation of Mineral Deposits, 438–447, Berlin – Heidelberg (Springer) 1984.
- MAUCHER, A.: Zur alpinen Metallogenese in den bayerischen Kalkalpen zwischen Loisach und Salzach. – Tscherm. Min. Petr. Mitt., **4**, 454–463, Wien 1954.
- MAUCHER, A.: Die Deutung des primären Stoffbestandes der Kalkalpen Pb-Zn-Lagerstätten als syngenetisch-sedimentäre Bildungen. – Berg- u. Hüttenm. Mh., **9**, 226–229, Wien 1957.
- MEIXNER, H.: Die Minerale Kärntens, Teil 1. – Carinthia II, **21**, Sh., 147 S., Klagenfurt 1957..
- MINČEVA-STEFANOVA, J.: Geological Position and Mineralogy of the Polymetallic Deposits in the Western Balkan Mountains confined to Triassic Sediments. – Schriftenreihe der Erdwiss. Kommission, Österr. Akad Wiss., **3**, 111–123, 13 Fig., Wien (Springer) 1978.
- MOHS, F.: Die Villacher Alpe und die dieselbe zunächst umgebenden Gegenden; eine geognostische Skizze. – Ephemeren der Berg- und Hüttenkunde (C. E. Freih. v. Moll), 3 Bd., 2. Lieferung, 161–228, Nürnberg 1807.
- MÜLLER, P.-J.: Zur Geologie des Raumes zwischen Reißkofel und Jauken, unter besonderer Berücksichtigung der Mikrofazies mitteltriadischer Becken- und Plattformsedimente (Westliche Gailtaler Alpen, Kärnten). – Unveröff. Diss. Univ. Innsbruck, 134 S., Innsbruck 1977.
- NICKEL, H. & CERNY, I.: Untertägige Erzsuche: Effektiver durch Radiowellen. – Erzmetall, **42/1**, 23–29, 9 Abb., Weinheim 1989.
- NIEĆ, M.: Model of formation of Cracovian-Silesian Type Zinc-Lead deposit at Boleslaw, near Olkusz, Poland. – Proceedings of the Fifth Quadrennial IAGOD Symposium, 445–457, Stuttgart (Schweizerbarth) 1980.
- NIEDERMAYER, G., SUMMESBERGER, H. & SCHERIAU-NIEDERMAYER, E.: Über zwei Coelestinvorkommen in der Mitteltrias der Gailtaler Alpen. – Ann. Naturhistor. Mus. Wien, **70**, 1–7, Wien 1975.
- NIEDERMAYER, G.: Kupfer-Vererzungen in der Permotrias der Gailtaler Alpen. – Der Karinthin, **86**, 332–337, Klagenfurt 1982.
- OMENETTO, P.: Significant Ore Fabric Relationships in the Lead, Zinc, Fluorite and Barite Deposits of the Triassic Province (Italian Southern Alps). – Annales de la Société Géologique de Belgique, **102**, 519–529, 1 fig., 1 tab., Bruxelles 1979.
- ORGEVAL, J., GIOT, D., KAROUI, J., MONTHEL, J. & SAHLI, R.: Le gisement de Zn-Pb de Bou Grine (Atlas Tunisiens). Description et historique de la découverte. – Chron. rech. min., **482**, 5–32, 15 fig., 1 tabl., 12 ph., 1986.
- OSMAN, A. & PIESTRZYŃSKI, A.: Mechanism of sulfide mineralization through successive metasomatic replacement stages of zoned host dolomite in Cracow-Silesian Zn-Pb deposits

- (Mississippi Valley type), Pomorzany Mine, Poland. – Mineral. Deposita, **24**, 56–61, 5 fig., Berlin – Heidelberg (Springer) 1989.
- OTT, E.: Die Kalkalgen-Chronologie der alpine Mitteltrias in Angleichung an die Ammoniten-Chronologie. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **141**, 81–115, Stuttgart 1972.
- PARK, W. C. & AMSTUTZ, G. C.: Primary „Cut and Fill“ Channels and Gravitational Diagenetic Features. – Mineral. Deposita, **3**, 66–80, 14 fig., Berlin (Springer) 1968.
- PAWLOWSKA, J. & WEDOW, H.: Strata-bound Zinc-Lead deposits of the Upper Silesian region, Poland – a review of some recent research. – Proceedings of Fifth Quadrennial IAGOD Symposium, 467–486, Stuttgart (Schweizerbart) 1980.
- PELISSENIER, M.: Metallogenetic significance of J-lead. In: G. KISVARSANYI et al. (Eds.): Internat. Conf. Mississippi Valley Type Lead-Zone Deposits, Univ. Missouri-Rolla, 216–226, Rolla, Miss., 1983.
- PERSCHA, J.: Das Blei & Galmei Bergwerk auf der Jauken in Oberkärnten. – Carinthia, 215–220, Klagenfurt 1873.
- PETRASCHECK, W.: Die alpine Metallogenese. – Jb. Geol. B.-A., **90**, 129–149, Wien 1945.
- PETRASCHECK, W. E.: Die Gesichtspunkte für eine hydrothermale Entstehung der kalklapinen Blei-Zink-Lagerstätten. – Berg- und Hüttenm. Mh., **9**, 229–233, Wien 1957.
- PETRASCHECK, W. E.: Alpine Metallogenesis and Plate Tectonics – still a problematic Correlation. – Fourth IAGOD, Varna, vol. II, 504–508, Varna 1974.
- PHOLIADIS, D.: Beitrag zur Geochemie der Bleiberger Fazies und der Carditaschiefer. – Unveröff. Diss., Univ. Wien, 159 S., 47 Abb., Wien 1984.
- PHOLIADIS, D.: Zur Geochemie der Raibler Schiefer. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **6**, 153–155, 1 Abb., Wien 1985.
- PILGER, A. & SCHÖNENBERG, R.: Der erste Fund mitteltriadischer Tuffe in den Gailtaler Alpen (Kärnten). – Z. dt. geol. Ges., **110**, 205–215, Hannover 1958.
- PIMMINGER, M., GRASSERBAUER, M., SCHROLL, E. & CERNY, I.: Anwendung der Ionenstrahlmikroanalyse zur geochemischen Charakterisierung von Zinkblenden. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **6**, 209–214, 5 Abb., 1 Tab., Wien 1985.
- POHL, W.: Evaporite-related Metalliferous Mineralization. – BHM, **132**, **12**, 575–576, 2 Fig., Wien (Springer) 1987.
- RENTZSCH, J.: Zur Entstehung der Blei-Zink-Kupfer-Lagerstätten in triassischen Karbonatgesteinen des Nordwestbalcons. – Freib. Forsch.-H., C166, 1–102, 48 Abb., 5 Tab., Berlin 1963.
- RICHTER, D. K. & ZINKERNAGEL, U.: Zur Anwendung der Kathodenlumineszenz in der Karbonatpetrographie. – Geol. Rdsch., **70**/3, 1276–1302, Stuttgart 1981.
- RIEDEL, D.: Ore structures and genesis of the lead-zinc deposit Tynagh, Ireland. – Geol. Rundschau, **69**/2, 361–383, 20 Fig., Stuttgart 1980.
- RUSSEL, M. J.: Downward-excavating hydrothermal cells and Irish-type ore deposits: importance of an underlying thick Caledonian prism. – Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B: Appl. Earth Sci.), **87**, B168–171, 1978.
- SARNTHEIN, M.: Sedimentologische Profilreihen aus den mitteltriadischen Karbonatgesteinen der Kalkalpen nördlich und südlich von Innsbruck. – Verh. Geol. B.-A., **1**/**2**, 119–162, Wien 1965.
- SAWKINS, F. J.: Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. – 325 S., 173 Fig., Berlin – Heidelberg – New York (Springer) 1984.
- SCHERIAU-NIEDERMAYR, E.: Geologie und geochemische Verteilung von Blei und Zink, in den östlichen Gailtaler Alpen (Graslitzen-Kobesnock), Kärnten, Österreich. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., **17**, 51–72, 6 Abb., 1 Taf., Wien 1967.
- SCHERIAU-NIEDERMAYR, E.: Mitterberg-Tschekeknock, Beispiel einer störungsgebundenen Blei-Zink-Vererzung im Drauzug. – Mitt. d. Geol. Ges. in Wien, **66**–**67**. Bd., 159–163, 2 Abb., Wien 1975.
- SCHLAGER, W., & SCHÖLLNBERGER, W.: Das Prinzip stratigraphischer Wendeln in der Schichtfolge der Nördlichen Kalkalpen. – Mitt. Geol. Ges. Wien, **66**/**67**, 165–193, Wien 1974.
- SCHMIDT, S. Th. & AMSTUTZ, G. C.: Mineralogical Investigations of strata bound Pb-Zn-Ba Occurrences in the Triassic of the Central Alps (Switzerland). – In: SCHNEIDER, H.-J.: Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe, Proceedings of the ISMIDA 1981, 117–127, 5 fig., Berlin – Heidelberg (Springer) 1983.
- SCHNEIDER, H.-J.: Neue Ergebnisse zur Stoffkonzentration und Stoffwanderung in Blei-Zink-Lagerstätten der Nördlichen Kalkalpen. – In: Fortschr. Mineralogie, **32**, 26–30, 1953.
- SCHNEIDER, H.-J.: Lagerstättenkundliche Untersuchungen am oberen Wettersteinkalk der bayrischen Kalkalpen östlich der Loisach. – Unveröff. Diss. Univ. München, 131 S., München 1953.
- SCHNEIDER, H.-J.: Die sedimentäre Bildung von Flußpat im Oberen Wettersteinkalk der Nördlichen Kalkalpen. – Abh. Bayr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., N. F. **66**, München 1954.
- SCHNEIDER, H.-J.: Facies differentiation and controlling factors for the depositional lead-zinc concentration in the Ladinian Geosyncline of the Eastern Alps. – In: AMSTUTZ, G. C. (Ed.): Sedimentology and Ore Genesis, Dev. in Sedimentol., **2**, 29–45, Amsterdam (Elsevier) 1964.
- SCHNEIDER, H.-J.: The influence of connate water on ore mobilization of lead-zinc deposits in carbonate sediments. – Convegno Sulla Rimobilizzazione dei Minerali Metallici e Non Metallici, 119 S., Cagliari 1969.
- SCHNEIDERHÖHN, H.: Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde. – 858 S., 264 Abb., Jena (Gustav Fischer) 1941.
- SCHNEIDERHÖHN, H.: Erzlagerstätten. Kurzvorlesung. – 3. Aufl., 375 S., 62 Abb., Jena (Gustav Fischer) 1955.
- SCHROLL, E.: Über Minerale und Spurenelemente, Vererzung und Entstehung der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth/Kärnten in Österreich. – Mitt. Österr. Mineral. Ges., Sh. **2**, 60 S., Wien 1953.
- SCHROLL, E.: Mineralparagenese und Mineralisation der Bleiberg-Kreuth Blei-Zink-Lagerstätte. – Carinthia II, 47–53, Klagenfurt 1953.
- SCHROLL, E.: Ein Beitrag zur geochemischen Analyse ostalpiner Blei-Zink-Erze, Teil I – Mitt. Österr. Mineral. Ges., Sh. **3**, 85 S., Wien 1954.
- SCHROLL, E.: Beitrag zur Geochemie des Bariums in karbonatischen Gesteinen und klastischen Sedimenten der ostalpinen Trias. – Tschermaks Min. Petr. Mitt., **15**, 258–278, Wien 1971.
- SCHROLL, E.: Beitrag der Geochemie zur Kenntnis der Lagerstätten der Ostalpen. – Proceed. 3rd ISMIDA (Leoben 1977), 287–296, 1 Tab. und Verh. Geol. B.-A., **1978**/**3**, 461–470, 3 Abb., 1 Tab., Wien 1979.
- SCHROLL, E.: Geochemical Characterization of the Bleiberg Type and Other Carbonate Hosted Lead-Zinc Mineralizations. – Proceedings of the IV. ISMIDA Berchtesgaden, 189–197, 7 fig., Berlin (Springer) 1983.
- SCHROLL, E.: Mineralisation der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten). – Aufschluß, **35**, 339–350, 7 Abb., Heidelberg 1984.
- SCHROLL, E.: Blei-Zink-Lagerstätten in Sedimenten. – Arch. f. Lagerst.forsch., Geol. B.-A., **6**, 157–165, 5 Abb., 2 Tab., Wien 1985.
- SCHROLL, E.: Geochemische Parameter der Blei-Zink-Vererzung in Karbonatgesteinen und anderen Sedimenten. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **6**, 167–178, Wien 1985.
- SCHROLL, E. & PAK, E.: Schwefelisotopen-Zusammensetzung von Baryten aus den Ost- und Südalpen. – Tscherm. Min. Petr. Mitt., **27**, 79–91, Wien 1980.
- SCHROLL, E., SCHULZ, O. & PAK, E.: Sulfur isotope distribution in the Pb-Zn-deposit Bleiberg (Carinthia, Austria). – Mineral. Deposita, **18**, 17–25, Berlin 1983.
- SCHROLL, E. & WEDEPOHL, K. H.: Schwefelisotopenuntersuchungen an einigen Sulfid- und Sulfatmineralen der Blei-Zinklagerstätte Bleiberg-Kreuth, Kärnten. – Tscherm. Min. Petr. Mitt., **17**, 286–290, Wien 1972.

- SCHULZ, O.: Gefügekundlich-tektonische Analyse des Blei-Zink-Bergbaugeschichtes Lafatsch (Karwendelgebirge, Tirol). – BHM, **99/5**, 85–95, 7 Abb., Wien 1954.
- SCHULZ, O.: Montangeologische Aufnahmen des Pb-Zn-Grubenrevieres Vomperloch, Karwendelgebirge, Tirol. – BHM, **100/9**, 259–269, 8 Abb., Wien 1965.
- SCHULZ, O.: Die Pb-Zn-Vererzung der Raibler Schichten im Bergbau Bleiberg-Kreuth (Grube Max) als Beispiel submariner Lagerstättenbildung. – Carinthia II, **22**. Sh., 1–93, Klagenfurt 1960.
- SCHULZ, O.: Sedimentäre Barytgefüge im Wettersteinkalk der Gailtaler Alpen. – Tscherm. Min. Petr. Mitt., **12/1**, 1–16, 8 Abb., Wien 1966.
- SCHULZ, O.: Die synsedimentäre Mineralparagenese im oberen Wettersteinkalk der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten) – Tscherm. Min. Petr. Mitt., **12/2–3**, 230–289, 16 Abb., Wien 1968.
- SCHULZ, O.: Die diskordanten Erzgänge vom „Typus Bleiberg“, syngenetische Bildungen. – Symp. Intern. sui Giamenti Minerari delle Alpi, 149–161, Trento 1966.
- SCHULZ, O.: Unterwasserbeobachtungen im sublitoralen Solfatarenfeld von Vulcano (Äolische Inseln, Italien). – Mineral. Deposita, **5**, 315–319, Berlin 1970.
- SCHULZ, O.: Wirtschaftlich bedeutende Zinkanreicherung in syndiagenetischer submariner Deformationsbreccie. – Tscherm. Min. Petr. Mitt., **20**, 280–295, 5 Abb., Wien 1973.
- SCHULZ, O.: Resedimentbreccien und ihre möglichen Zusammenhänge mit Pb-Zn-Konzentrationen in mitteltriadischen Sedimenten der Gailtaler Alpen (Kärnten). – Tscherm. Min. Petr. Mitt., **22**, 130–157, 5 Abb., Wien 1975.
- SCHULZ, O.: Die Pb-Zn-Erzlagerstätte Lafatsch–Vomperloch (Karwendelgebirge, Tirol). – Veröff. Museum Ferdinandeum, **61**, 55–103, 24 Abb., Innsbruck 1981.
- SCHULZ, O.: 30 Jahre Pb-Zn-Forschung in den triadischen Karbonatgesteinen der Ostalpen. – Sitzber. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., Abt. I, **192/5–10**, 239–266, Wien 1983.
- SCHULZ, O.: Ausgewählte Gefügebefunde in der kalkalpinen Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Gailtaler Alpen, Kärnten). – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **6**, 91–99, 6 Abb., Wien 1985.
- SCHULZ, O. & SCHROLL, E.: Die Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth. – Verh. Geol. B.-A., **1977/3**, 375–386, 1 Abb., Wien 1977.
- SCHULER, G.: Lithofazielle, sedimentologische und paläogeographische Untersuchungen in den Raibler Schichten zwischen Inn und Salzach (Nördliche Kalkalpen). – Erlanger Geol. Abh., **71**, 1–60, Erlangen 1968.
- SCHWEIZER, V.: Geochemie-Untersuchungen zur Erzreicherung in der Bleiglanzbank des süddeutschen Gipskeuper (Km 1, Karn). – Oberrhein. geol. Abh., **28**, 55–71, Karlsruhe 1979.
- SECRIST, M.: Zinc Deposits of East Tennessee. – State of Tennessee, Division of Geology, Bulletin **31**, 165, 25 fig., Nashville 1924.
- SEIDL, K.: Ausmaß und Bedeutung sekundärer Lösungsabsätze, Diskussionsbemerkung. – BHM, **102/2**, 249–250, Wien 1957.
- SIDEROPoulos, L.: Zn-Pb-Vererzungen in Breccienzonen triadischer Karbonatgesteine der Nordtiroler Kalkalpen (zwischen Telfs, Biberwier, Nassereith und Imst). – Veröff. Mus. Ferdinandeum, **63**, 115–133, Innsbruck 1983.
- SIEGL, W.: Die Oberkarnische Blei-Zinkvererzung im Rublandverbindungsstollen nördlich von Kreuth. – BHM, **120**, 471–474, 7 Abb., Wien 19075.
- SORDIAN, H.: Zur Geologie des Gebietes Rosegg – Föderlach – Bogenfeld – Egg am Faakersee – Ledenenzen – Mallenitzen – Schlatten – St. Jakob – Mühlbach – Rosegg (Kärnten, Österreich). – Mitt. Ges. Geol. u. Bergbaustud., **12**, 85–103, 1 Abb., Wien 1961.
- SRBIK, R. VON: Überblick des Bergbaues von Tirol und Vorarlberg in Vergangenheit und Gegenwart. – Ber. naturw. med. Ver. Innsbruck, **41**, 115–227, Innsbruck 1929.
- STIER, K.: Bericht über die Erzvorkommen von St. Veith (mit 1 geologischen Aufnahme 1 : 50.000). – Gutachten der Bleiberger Bergwerks-Union, 7 S., Klagenfurt 1942.
- STRUCL, I.: Die Entstehungsbedingungen der Karbonatgesteine und Blei-Zinkvererzungen in den Anisschichten von Topla. – Geologija, **17**, 383–399, Ljubljana 1974.
- STRUCL, I.: Die schichtgebundenen Blei-Zinklagerstätten Jugoslawiens. – Mitt. österr. geol. Ges., **74/75**, 307–322, 4 Abb., Wien 1981.
- STRUCL, I.: Geological and geochemical characteristics of ore and host rock of lead-zinc ores of the Mesiža ore deposit. – Geologija, Razprave in Poročila, **27**, 215–327, 19 Fig., 12 Tab., Ljubljana 1984.
- SUSSMANN, O.: Zur Kenntnis einiger Blei- und Zinkerzvorkommen der alpinen Trias bei Dellach im Oberdrautal. – Jahrbuch d. k. k. Geol. Reichsanst., **51/2**, 265–299, 5 Fig., Wien 1901.
- TAUPITZ, K. Chr.: Die Blei-Zink- und Schwefellagerstätten der Nördlichen Kalkalpen westlich der Loisach. – Unveröff. Diss. Bergak. Clausthal, 120 S., Clausthal-Zellerfeld 1954.
- TORNQUIST, A.: Die Blei-Zinkerzlagerstätte von Bleiberg-Kreuth in Kärnten. – 106 S., 29 Abb., 1 Taf., 1 Karte, Wien (Springer) 1927.
- TUFAR, W., GUNDLACH, H. & MARCHIG, V.: Zur Erzparagenese rezenter Sulfid-Vorkommen aus dem südlichen Pazifik. – Mitt. österr. geol. Ges., **77**, 185–245, 54 Abb., 2 Tab., Wien 1984.
- TUFAR, W., TUFAR, E. & LANGE, J.: Ore paragenesis of recent hydrothermal deposits at the Cocos-Hazca plate boundary (Galapagos Rift) at 85° 51' and 85° 55' W: Complex massive sulfide mineralizations, non-sulfidic mineralizations and mineralized basalts. – Geol. Rdschau, **75/3**, 829–861, Stuttgart 1986.
- VASSILEFF, L. & POPOV, A.: Formations minérales et zones métallogéniques de la Tunisie. – Geologica Blacanica, **7/4**, 43–56, 3 Fig., Sofia 1977.
- VEIZER, B.: Chemical diagenesis of carbonates: Theory and application of trace element technique. – In: ARTHUR et al. (Eds.): Stable isotopes in sedimentary geology. – SEPM Short course, **10**, 3–1–3–100, 1983.
- WALTHER, H. W.: Zur Bildung von Erz- und Minerallagerstätten in der Trias von Mitteleuropa. – Geol. Rdsch., **71**, 835–855, 3 Abb., 2 Tab., Stuttgart 1982.
- WARCH, A.: Perm und Trias der nördlichen Gailtaler Alpen. – Carinthia II, **35**. Sh., 1–111, Klagenfurt 1979.
- WEBER, L.: The Barite Deposits of the Eastern Alps (Austria): Genesis and economic importance. – In: JANCOVIC, S. (Ed.): Mineral Deposits of the tethian Eurasian metallogenetic belt between the Alps and the Pamirs (Selected Examples), UNESCO/IGCP Proj. 169 „Geotectonic Evolution and Metallogeny of Mediterranean and SW Asia“. – 69–80, 1 fig., Belgrade 1987.
- WETZENSTEIN, W.: Die Blei-Zinklagerstätte St. Veit an der Heiterwand/Tirol (östliche Lechtaler Alpen) und ihr geologischer Rahmen. – Unveröff. Diplomarbeit Freie Univ. Berlin, 93 S., 33 Taf., Berlin 1966.
- WETZENSTEIN, W.: Die Mineralparagenesen der Blei-Zinkerzlagerstätte, St. Veit (Heiterwandgebiet, östliche Lechtaler Alpen, Tirol). – Verh. Geol. B.-A., **2**, 288–298, Wien 1972.
- WIEBOLS, J.: Bericht über die Bemusterung der Blei-Zinkgrube Bleiwände–Steinfeld im Drautal (Kärnten). – Unveröff. Bericht, BBU-Archiv, Reichsanst. f. Bodenforsch., Wien 1943.
- WOLTER, R. & SCHNEIDER, H.-J.: Sideritlike in Erz und Nebengestein der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **6**, 201–208, 9 Abb., 1 Tab., Wien 1985.

WÖHRMANN, S. v.: Die Fauna der sogenannten Cardita- und Raibler Schichten in den Nordtiroler und bayrischen Alpen.
– Jb. k. k. Geol. R.-A., **39**, 181–258, Wien 1889.

WÖHRMANN, S. v.: Die Raibler Schichten nebst kritischer Zusammenstellung ihrer Fauna. – Jb. k. k. Geol. R.-A., **43**, 617–768, Wien 1893.

ZELLER, M.: Tektonik, Gewinnungsschläge und Vererzung im Blei-Zinkbergbau Raibl (Cave del Predil), Italien. – Unveröff. Diss. Freie Univ. Berlin, 114 S., Berlin 1970.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 14. März 1989.