

# Herkunft des Pb der triassischen Pb-Zn-Vererzungen in den Ost- und Südalpen Resultate bleiisotopengeochemischer Untersuchungen

Von VIKTOR KÖPPEL & ERICH SCHROLL\*)

Mit 7 Abbildungen und 8 Tabellen

*Ostalpen  
Südalpen  
Pb-Zn-Lagerstätten  
Pb-Isotopengeochemie*

## Zusammenfassung

Isotopenmessungen von Gesteins- und Erzblei aus den Süd- und Nordalpen sollen zur Klärung der Genese der Pb-Zn-Lagerstätten vom Typ Bleiberg beitragen. Das Erzblei dieses Lagerstättentyps ist weitgehend homogen und für alle gültigen Bleientwicklungsmodelle ist das  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  Alter höher als das stratigraphische Alter der Triassedimente. Das Pb hat sich in einem geochemischen Milieu mit für die mittlere Erdkruste überdurchschnittlichen U/Pb und Th/Pb-Verhältnissen entwickelt. Nach dem gegenwärtigen Stand der Untersuchungen kann das Bleiberg Erzblei von altpaläozoischen Metasedimenten abgeleitet werden, die Anwesenheit einer untergeordneten permischen Komponente kann nicht ausgeschlossen werden, ebenso ist ein Anteil von remobilisiertem paläozoischem Erzblei nicht auszuschließen. Der seltene Fund von Galenit in Geoden aus dem ersten Carditaschiefer besitzt ein Blei, dessen Isotopenzusammensetzung vom Erzblei abweicht, hingegen eine Verwandtschaft zeigt mit dem Blei seines Nebengesteins. Dies beweist, daß die Masse des Erzbleis dem Sedimentationsraum durch ein Ereignis aus ein und derselben Quelle mehrmals zugeführt worden sein muß. Die Gesteinsbleie der Kaltwasser (Aquafredda)-Porphyre und der Vulkanite vom Dobratsch sind nicht als Spender des Erzbleis anzusprechen.

## Summary

Isotopic measurements of leads of rocks and ores from the Southern and Eastern Alps contribute to the classification of the genesis of the Pb-Zn-deposits of the Bleiberg type. The ore lead of this type is isotopically very homogeneous, its  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  model-age is higher than that of the triassic host rocks, and its development occurred in a geochemical environment with U/Pb and Th/Pb ratios higher than those pertaining to the average crust. At the present state of the investigations it appears that the ore lead of Bleiberg can be derived from lower Palaeozoic metasediments. The presence of subordinate amounts of Permian lead and/or from Palaeozoic ore deposits is possible. A rare find of galena occurring in geodes of the first Cardita shale contains a lead that is isotopically different from the ore lead but it was once possibly identical with the rock lead. This demonstrates that the ore-lead was added from one and the same source into the area of sedimentation. However, the rock leads of the porphyry of Kaltwasser (Aquafredda) and of volcanic rocks of the Dobratsch mountain are isotopically not related to the ore lead.

## 1. Einleitung

Bei der genetischen Problematik dieses Vererzungstyps spielt die Frage nach der Herkunft der Metalle eine entscheidende Rolle. Isotopengeochemische Untersuchungen am Erzblei ermöglichen generelle Aussagen über die Herkunft des Bleis, z. B. ob es aus der Oberkruste, der Unterkruste oder dem ozeanischen Mantel stammt. Solche Aussagen sind modellabhängig, da sie von der Annahme ausgehen, daß die heute akzeptierten Pb-Entwicklungsmodelle auch für den ost- und süd-alpinen Krustenbereich gültig sind. Am einfachsten könnte die Prüfung dieser Frage mit Hilfe gut definierter Lagerstätten bekannten Alters geschehen, wie beispielsweise mit vulkanogen-sedimentären, massiven Sulfidvererzungen mit Cu-Zn-Pb in Orogenzonen, deren Blei eine repräsentative Mischung von Bleien verschiedener Herkunft darstellt. Dasselbe kann mit Hilfe des Spurenbleis in Gesteinen unterschiedlichen Ursprungs geschehen. Die Untersuchungen in den Südalpen und auch in den Ostalpen (KÖPPEL & SCHROLL, 1984) haben bereits gezeigt, daß keine Veranlassung besteht, die heute akzeptierten Entwicklungsmodelle der Pb-Isotopenverhältnisse zu modifizieren (STACY & KRAMERS, 1975; CUMMING & RICHARDS, 1975).

Die ökonomisch wichtigen Lagerstätten, wie Bleiberg, Mezica, Raibl, Salafossa, und die zugehörigen Vorfeldvererzungen in den Südalpen und im Drau-Karawankenzug sind durch einen Bleityp extrem homogener Isotopenzusammensetzung gekennzeichnet. In den nördlichen Kalkalpen ist dieser Bleityp nur aus der Graubündner Trias nachgewiesen und in abgeschwächter Form in Nordtirol und im Berchtesgadner Raum. KÖPPEL (1983) hat diesen Bleityp als Unterkrustenblei eingestuft. Ob aus Gesteinen der Granulitfazies oder Sedimenten abzuleiten, charakteristisch 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 syndiagenetischen Pb-Zn-Lagerstätten zu transportieren, stehen zwei Möglichkeiten offen:

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

\*) Anschriften der Verfasser: Prof. Dr. VIKTOR KÖPPEL, Institut für Kristallographie und Petrographie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich; HR Prof. Dr. ERICH SCHROLL, Geotechnisches Institut der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, P.O.B. 8, A-1031 Wien.

- zur Zeit der Mitteltrias waren im Hinterland, oder in relativ geringer Tiefe, Gesteine mit einem entsprechenden Blei Laugungsprozessen ausgesetzt.

Die Verweilzeit des Bleis in diesen Gesteinen muß relativ kurz gewesen sein, um den Zuwachs an radiogenem Blei klein zu halten, oder es muß älteres Erzblei zugemischt worden sein.

## 2. Gesteinsblei

Mit Hilfe von isotopengeochemischen Vergleichen wurden zunächst folgende Gesteine und Erzvorkommen als mögliche Lieferanten getestet:

- Triassische Vulkanite,
- Permische Magmatite,
- Grödener Sandstein,
- Werfener Schichten und mittelkarbonischer Hochwipfelflysch,
- Postmetarmoppe, gangförmige Erzvorkommen der Südalpen,
- Erzblei der Grödener Sandsteine, der Tregiovo Schichten und des Bellerophonkalkes,
- Spurenblei des karbonatischen Nebengesteins von Bleiberg.

### 2.1. Triassische Magmatite

Die Resultate sind in der Tab. 1 angeführt und in Abb. 1 dargestellt. Wie Abb. 1 zeigt, ist und war das

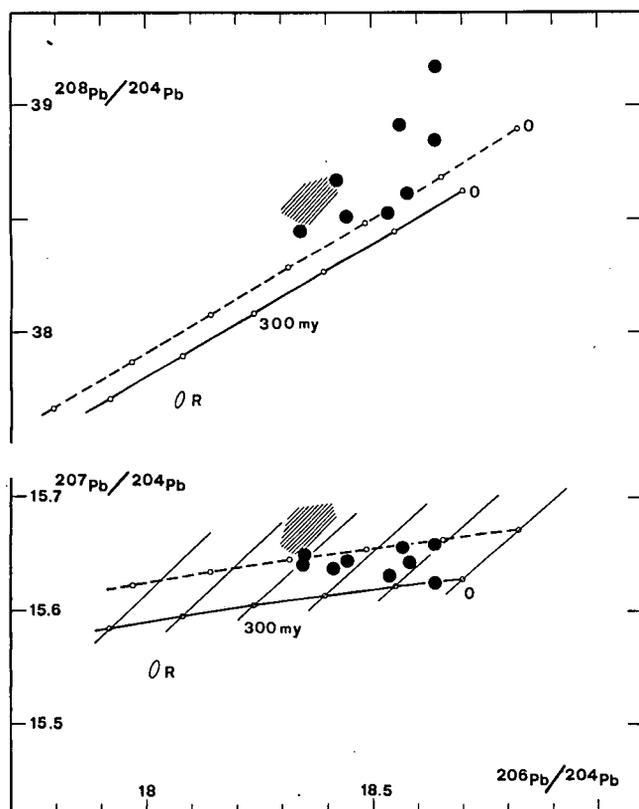


Abb. 1:  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Diagramme. Ausgezogenen Kurven sind die Entwicklungskurven für durchschnittliches Krustenblei nach dem Modell von STACEY & KRAMERS (1975) und die Isochronen dazu im  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Diagramm. Die gestrichelten Kurven sind die Entwicklungskurven für durchschnittliches Krustenblei nach dem Modell von CUMMING & RICHARDS (1975). R = Reproduzierbarkeit (vergl. Tab. 8).

Tabelle 1: Isotopenverhältnisse der Südalpen, Karawanken und des Dobratsch.

Fundort	Material	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Monzonit, Predazzo	Feldspat	18.581	15.643	38.626
Granit, Predazzo	Feldspat	18.440	15.647	38.521
Predazzo SW-Runse	Galenit	18.419	15.631	38.682
Rupagraben, Dobratsch	Feldspat	18.537	15.633	38.530
Rupagraben, Dobratsch	Feldspat	18.640	15.624	38.852
Rio Griessbrunnen	Feldspat	18.347	15.651	38.464
Rio Griessbrunnen	Grundmasse	18.638	15.659	39.174
Kaltwasser	Feldspat	18.341	15.641	38.457
Kaltwasser	Grundmasse	18.567	15.658	38.930
Loiblital	Feldspat	18.358	15.645	38.430

Blei der triassischen Vulkanite nicht identisch mit dem Erzblei. Die  $\mu$ -Werte und W-Werte sind tiefer als jene des Erzbleis. Die Bleie der Feldspäte von Kaltwasser (Aquafredda) bei Tarvis (Italien) und Rio Griebbrunnen haben heute noch niedrigere  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Werte als die Erze. Das bedeutet, daß der triassische Vulkanismus als alleiniger Metallieferant nicht in Frage kommt, er könnte nur einen Teil des Bleis geliefert haben. Es müßten noch weitere Quellen zur Verfügung gestanden haben mit einem Blei, das sich in Milieus mit höheren  $\mu$ - (=  $^{238}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ) und W- (=  $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ ) Werten entwickelt hat. Mischungsprozesse müßten dann zur Isotopenzusammensetzung des Erzbleis geführt haben.

### 2.2. Permische Magmatite

Die Resultate (Tab. 2, Abb. 2) zeigen, daß das Blei der permischen Magmatite des Bozener Quarzporphyrgebietes sowie der Luganeser Prophyre bezüglich der  $\mu$ - und W-Werte dem triassischen Erzblei recht ähnlich sind, aber mit höheren  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen. Eine Herkunft des triassischen Erzbleis aus diesen Gesteinen ist aber nur dann vorstellbar, wenn sie zur Triaszeit Auslaugungsprozessen unterworfen gewesen wären. Denkbar wären solche Prozesse vor allem in permeablen Gesteinen, wie im Grödener Sandstein, vorausgesetzt dieser enthielte vorwiegend Komponenten der permischen Magmatite.

Tabelle 2: Isotopenverhältnisse von Proben aus permischen Magmatiten der Südalpen.

Fundort	Material	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Terlan	Feldspat	18.763	15.673	38.855
Gamper Joch	Feldspat	18.642	15.660	38.837
Gamper Joch	Feldspat	19.437	15.720	39.488
Vilpian	Feldspat	18.424	15.667	38.612
Brixener Granit	Feldspat	18.463	15.662	38.432
Luganeser Prophyrgbiet, Cuasso	Feldspat	18.436	15.680	38.555

### 2.3. Grödener Sandstein

Das Blei von Feldspatkonzentraten aus dem Grödener Sandstein (Tab. 3) zeigt tiefere  $\mu$ -Werte und W-Werte als das triassische Erzblei und das Gesteinsblei der permischen Quarzporphyre. Demnach kann dieser Sandstein in den beprobten Bereichen nur untergeordnete Anteile der permischen Magmatite enthalten. Dieser Befund wird durch sedimentpetrographische Untersuchungen bestätigt (KAHLER, 1959; WOPFNER et al., 1983). Aus Abb. 2 ist ferner ersichtlich, daß das HCl-lösliche Blei des Gesamtgesteins im Vergleich zum

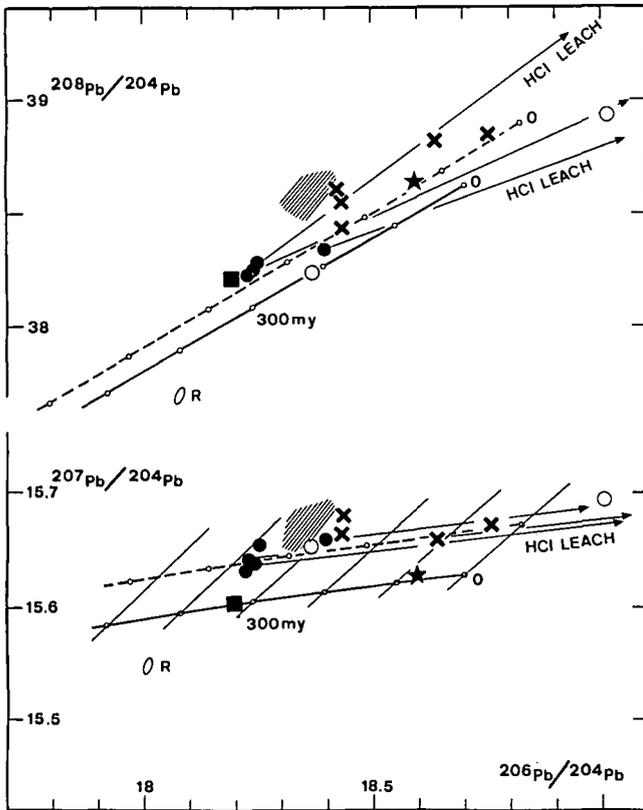


Abb. 2: Vergleich des triassischen Erzbleis (schraffiertes Feld, Tab. 7) mit Blei von

- Feldspäten permischer Magmatite (x, Tab. 2),
- Feldspäten des Grödener Sandsteins (●, Tab. 3),
- Feldspäten aus permischen Sedimenten des Gailtales (○, Tab. 3),
- Feldspäten aus Werfener Schichten am Gailtalsattel (■, Tab. 3),
- Feldspäten aus Hochwipfelflysch, Karbon der Karnischen Alpen (\*, Tab. 3).

Feldspatkonzentrat radiogen ist und daß die Verbindungsgeraden dieser Datenpunkte mit den Datenpunkten der Feldspat-Fractionen nicht durch das Feld der triassischen Erzbleie verlaufen. Durch Auslaugungsprozesse im Grödener Sandstein könnte als höchstens eine Komponente des triassischen Erzbleis bezogen werden. Ähnlich wie im Fall der triassischen Vulkanite müßten noch weitere Komponenten zugemischt worden sein.

Tabelle 3: Isotopenverhältnisse von Proben aus Karbonsedimenten, permischen und triassischen Sedimenten.

Fundort	Material	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
<b>Grödener Sandstein</b>				
Panido	Feldspat	18.251	15.654	38.283
Naraun	Feldspat	18.238	15.641	38.254
Naraun	HCl-Leach, Gesamtgest.	19.128	15.684	39.065
<b>Tisens</b>				
Piccolein	Feldspat	18.221	15.633	38.230
Piccolein	Feldspat	18.236	15.639	38.249
Piccolein	HCl-Leach, Gesamtgest.	19.225	15.682	39.801
<b>Bach Mölten</b>				
	Feldspat	18.398	15.660	38.347
	HCl-Leach, Gesamtgest.	19.289	15.702	39.012
<b>Gailtal, permischer „Grobgnais“</b>				
Gailtalsattel, Werfener	Feldspat	18.192	15.603	38.211
Hochwipfelflysch, Karbon	Feldspat	18.595	15.617	38.648

Anmerkung: Die Isotopenverhältnisse sind für den in-situ-Zerfall von U und Th nicht korrigiert (diese Anmerkung gilt auch für die Tabellen 1, 2 und 5).

## 2.4. Werfener Sandstein, Hochwipfelflysch

Aus je einer Probe dieser Gesteine wurde das Blei einer feldspatreichen Fraktion analysiert. Beide enthalten ein Blei mit deutlich niedrigeren  $\mu$ - und W-Werten, als dem triassischen Erzblei entspricht (Tab. 3, Abb. 2).

## 2.5. Postmetamorphe, gangförmige Erzvorkommen der Südalpen

Das Erzblei dieser Vorkommen weist die größte Ähnlichkeit mit dem triassischen Erzblei (Tab. 4, Abb. 3) nicht nur bezüglich der  $\mu$ - und W-Werte auf, sondern auch die  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - und  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Modellalter überdecken den Modellaltersbereich der triassischen Erzbleie vom Typ Bleiberg.

Es wäre also möglich, durch Mischen von Blei aus verschiedenen gangförmigen Erzvorkommen dieses Typs die Isotopenzusammensetzung des triassischen

Tabelle 4: Isotopenverhältnisse von Galeniten aus postmetamorphen, gangförmigen Erzvorkommen Südtirols.

Fundort	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Deutschhofen	18.677	15.682	39.011
Vallarsa	18.516	15.682	38.770
Rabenstein	18.369	15.664	38.557
Rabenstein	18.371	15.675	38.596
V. Mala, Guizza-Faedo	18.234	15.666	38.504
V. Mala, Guizza-Faedo	18.273	15.690	38.588
Terlan	18.259	15.661	38.465
Vignola	18.293	15.672	38.558
Min. Quadrata	18.130	15.640	38.337
Cinque Valli	18.270	15.657	38.517

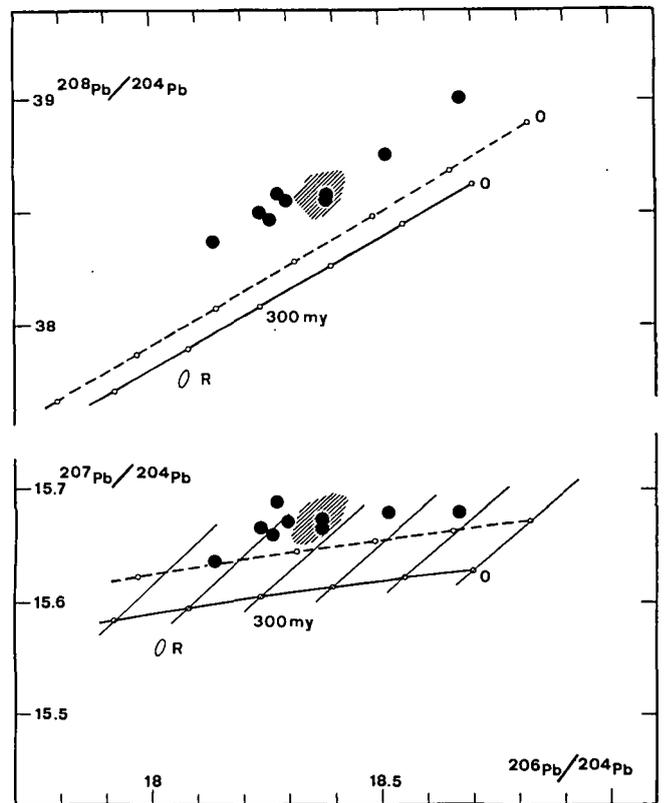


Abb. 3: Vergleich des triassischen Erzbleis (schraffiertes Feld, Tab. 7) mit Erzblei aus postmetamorphen, gangförmigen Vererzungen in Südtirol (Tab. 4).

Erzbleis zu erzeugen. Die Vorstellung aber, daß durch Remobilisierung des Ganginhaltes dieser relativ kleinen Vorkommen, die zudem noch über ein größeres Gebiet zerstreut sind, die großen Erzanreicherungen in den triassischen Karbonatgesteinen erzeugt worden seien, erscheint wenig glaubhaft. Dieser Befund deutet lediglich an, daß das Blei beider Lagerstättentypen letztlich aus derselben Quelle stammt, oder aus Quellen mit sehr ähnlichen geochemischen Entwicklungen.

## 2.6. Erzblei des Grödener Sandsteins, der Tregiovo Schichten und des Bellerophon Kalkes

Wie aus den Resultaten (Tab. 5, Abb. 4) hervorgeht, ist dieses Erzblei isotonenmäßig dem triassischen Erzblei vom Typ Bleiberg recht ähnlich, allerdings könnte keine Bleimischung aus diesen Vorkommen allein das gesamte Feld des triassischen Erzbleis der großen Lagerstätten vollständig abdecken. Vorkommen dieser Art könnten allerdings einen beträchtlichen Teil der heute in der Trias vorliegenden Lagerstätteninhalte geliefert haben. Man müßte dann auf das Modell großräumiger Auslaugungsprozesse in diesen Sedimenten zurückgreifen, die während der Trias abgelaufen sein sollten. Dabei wäre vermutlich aber auch Gesteinsblei ausgelagt worden. Ein Vergleich des Gesteinsbleis der Grödener Sandsteine mit ihrem Erzblei zeigt bezüglich der  $\mu$ - und  $W$ -Werte Unterschiede. Das Erzblei dieser Vorkommen kann also auch wieder nicht allein aus Aulagungsprozessen innerhalb des Grödener Sandstein stammen, sondern es muß eine zusätzliche Quelle an-

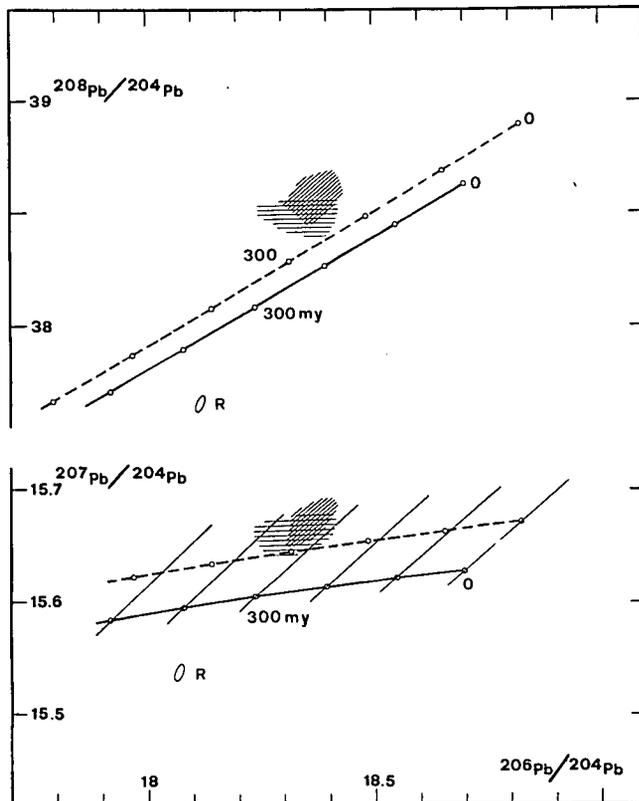


Abb. 4: Vergleich des triassischen Erzbleis (schräg schraffiertes Datenfeld, Tab. 7) mit Pb aus Bleiglanz-Vererzungen des Grödener Sandsteins, der Tregiovo-Schichten und des Bellerophon-Kalkes (horizontal schraffiertes Datenfeld, Tab. 5).

Tabelle 5: Isotopenverhältnisse von Galeniten aus permischen Sedimenten.

Fundort	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
<b>Grödener Sandstein:</b>			
Bletterbach	18.319	15.667	38.481
Bletterbach	18.326	15.659	38.474
St. Ulrich	18.383	15.666	38.424
Bach Verscheid	18.279	15.646	38.454
Mendelzug	18.402	15.670	38.544
Schwarzwaldbach	18.357	15.649	38.498
Bach Moelten	18.386	15.674	38.542
Bach Moelten	18.390	15.681	38.489
Bach Moelten	18.313	15.655	38.495
Bach Moelten	18.397	15.679	38.545
Bach Moelten	18.318	15.652	38.500
Bach Moelten	18.357	15.671	38.555
Tregiovo-Schichten	18.309	15.668	38.533
<b>Bellerophonkalk:</b>			
Doss le Grave	18.246	15.664	38.506
Nonstal	18.279	15.654	38.496

genommen werden. Die etwas höheren  $\mu$ - und  $W$ -Werte des Erzbleis deuten auf eine Komponente im Zusammenhang mit dem nur wenig älteren Vulkanismus hin. Auslaugungsprozesse innerhalb permischer Sedimente und ihrer Erzvorkommen könnten einen Teil des triassischen Erzbleis geliefert haben. Es müßte aber noch eine weitere Pb-Quelle mit höheren  $\mu$ - und  $W$ -Werten vorhanden gewesen sein.

## 2.7. Spurenblei des karbonatischen Nebengesteins von Bleiberg

BECHSTÄDT (1979) äußerte die Ansicht, daß die Metalle der triassischen Lagerstätten aus dem Nebengestein selbst stammen könnten. Bei Lösungsprozessen in Karbonaten werden die Erdalkalien weggeführt, und Blei und Zink bleiben unter geeigneten Bedingungen als Karbonatkomplexe zurück. In reduzierendem Milieu, bei Anwesenheit von Sulfidschwefel, würden dann Metallsulfide ausfallen.

Falls diese Theorie stimmt, müßte während der Periode der Karbonatauflösung eine Identität in der Isotopenzusammensetzung zwischen Gesteinsblei und dem daraus gebildeten Erzblei bestanden haben, oder das Erzblei müßte eine Mischung aus Karbonatblei unterschiedlicher Zusammensetzung sein.

In Tab. 6 sind die Resultate aufgeführt. Wie aus ihr und der Abb. 5 ersichtlich ist, enthalten viele Karbonatproben ein relativ hoch radiogenes Blei mit  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} > 19$ . Im Gegensatz zu Feldspäten mit ihren niedrigen  $\mu$ - und  $W$ -Werten, und einem dementsprechenden geringen Zuwachs der Pb-Isotopenverhältnisse, weisen die meisten Karbonatproben hohe  $\mu$ -Werte auf.

Um die Frage einer isotonenmäßigen Identität des Karbonatbleis mit dem Erzblei zu klären, muß man die gemessenen Isotopenverhältnisse um den Betrag des radiogenen Zuwachs während der vergangenen maximal 230 Mio. J. korrigieren. Neben der Kenntnis der U-, Th- und Pb-Gehalte muß man dabei aber voraussetzen, daß die U-Pb und Th-Pb-Systeme während dieses Zeitraumes geschlossen waren. Ob diese Voraussetzung erfüllt gewesen ist, kann mit Hilfe der Isochronendarstellung in  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} -$

Tabelle 6: Isotopenverhältnisse von Blei des Nebengesteins von Bleiberg.

Fundort	Material	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb
1/79 Wettersteinkalk	HCl-Pb	19.316	15.731	38.576
1/79 Wettersteinkalk	HCl-Pb	19.167	15.735	38.622
1/79 Wettersteinkalk	HCl-Pb	19.102	15.736	38.638
1/79 Wettersteinkalk	HCl-Pb	19.480	15.732	38.479
2/79 1. Raiblerschiefer	HCl-Pb	18.828	15.636	38.870
3/79 1. Raiblerschiefer	HCl-Pb	18.578	15.635	38.732
3/79 1. Raiblerschiefer	HClO <sub>4</sub> -HF-Pb	18.529	15.646	38.597
4/79 2. Raiblerschiefer	HCl-Pb	19.060	15.661	39.664
4/79 2. Raiblerschiefer	HClO <sub>4</sub> -HF-Pb	18.751	15.608	38.806
5/79 2. Carbonatserie	HCl-Pb	62.209	17.821	39.452
6/79 3. Raiblerschiefer	HCl-Pb	18.728	15.638	38.778
6/79 3. Raiblerschiefer	HClO <sub>4</sub> -HF-Pb	18.636	15.660	38.701
7/79 3. Carbonatserie	HCl-Pb	20.024	15.728	38.541
8/79 Maxer Bänke	HCl-Pb	20.919	15.780	38.893

Weingartenbereich

10/79 Wettersteinkalk	HCl-Pb	25.714	16.033	38.551
11/79 Wettersteinkalk	HCl-Pb	22.081	15.778	38.664
12/79 Wettersteinkalk	HCl-Pb	22.571	15.851	38.390
2 Wettersteinkalk	HCl-Pb	21.651	15.808	38.575
1 Wettersteinkalk	HCl-Pb	19.901	15.739	38.529
1 Wettersteinkalk	HCl-Pb	19.810	15.730	38.528
3 Wettersteinkalk	HCl-Pb	19.810	15.730	38.528
Pyrit-Markasit-Konkretion Raiblerschichten	PbS	18.352	15.633	38.424

Anmerkung: Die Isotopenverhältnisse sind für den in-situ-Zerfall von U und Th nicht korrigiert.

<sup>238</sup>U/<sup>204</sup>Pb- und <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb - <sup>235</sup>U/<sup>204</sup>Pb-Diagrammen überprüft werden, aber nur unter noch einer Voraussetzung, daß die Pb-Isotopenverhältnisse zur Zeit der Karbonatbildung homogen waren.

Abb. 5 zeigt, daß dies nicht der Fall gewesen sein kann, oder aber, daß die U-Pb- und Th-Pb-Systeme im Laufe der Zeit stark gestört worden sind. Die Pb-Isotopenverhältnisse allein gestatten aber dennoch Aussa-

Tabelle 7: Isotopenverhältnisse von Erzbleien der größeren Pb-Zn-Lagerstätten der Trias.

Fundort (N)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb
Bleiberg-Kreuth (22)	18.379±.007	15.672±.009	38.556±.033
Mesiza (5)	18.362±.012	15.669±.010	38.556±.025
Salafossa (1)	18.315	15.653	38.531
Raibl (4)	18.386±.006	15.685±.004	38.621±.017
Val Vedra (Gorno) (1)	18.405	15.688	38.659
Lafatsch (1)	18.358	15.660	38.494
Auronzo (2)	18.332±.010	15.676±.010	38.593±.020

Tabelle 8: Bleiisotopenstandard: Common Pb Standard SRM 981 (National Bureau of Standards).

N	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb
30*)	16.886±7	15.426±9	36.495±30
24**)	18.889±5	15.427±6	36.493±25
14***)	16.896±6	15.435±7	36.525±22

$$(\text{standard deviation}) = \pm \sqrt{\frac{(\bar{x} - x)^2}{(N - 1)^2}}$$

\*) Messungen am Tandem Massenspektrometer.

\*\*) Messungen am MS 261, mit Einzelauffänger, von Jänner 1982 bis Juni 1983.

\*\*\*) wie \*\*) von Juli 1983 bis Mai 1984.

Die in den Tabellen 1-7 angeführten Isotopenverhältnisse sind für Fraktionierungseffekte korrigiert worden.

gen über die Identität des Gesteinsbleis mit dem Erzblei. In Abb. 5 sind ausgehend von der Zusammensetzung des Erzbleis zwei Isochronen dargestellt. Die beiden Isochronen begrenzen zwei geochemische Grenzfälle, bei denen die Karbonate entweder Uran nur wäh-

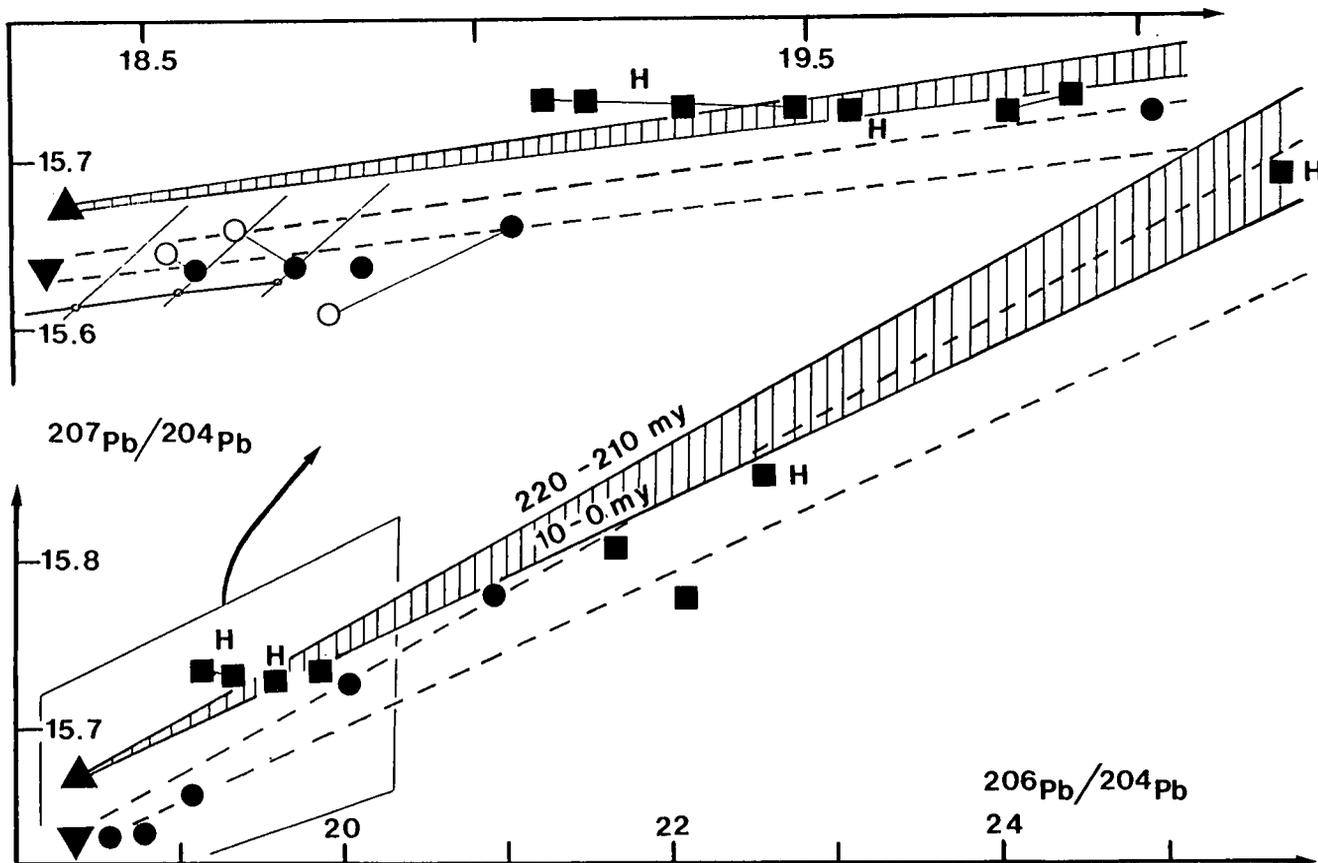


Abb. 5: Vergleich des Erzbleis von Bleiberg mit dem Blei des Nebengesteins (Tab. 6): Wettersteinkalk (HCl-lösliches Pb); Raibler Schichten (HCl-lösliches Pb); Raibler Schichten (HF-HClO<sub>4</sub>-lösliches Blei); H = Proben aus dem Halo-Bereich (vgl. Abb. 6); PbS aus der Pyrit-Markasit-Konkretion aus dem ersten Carditaschiefer.

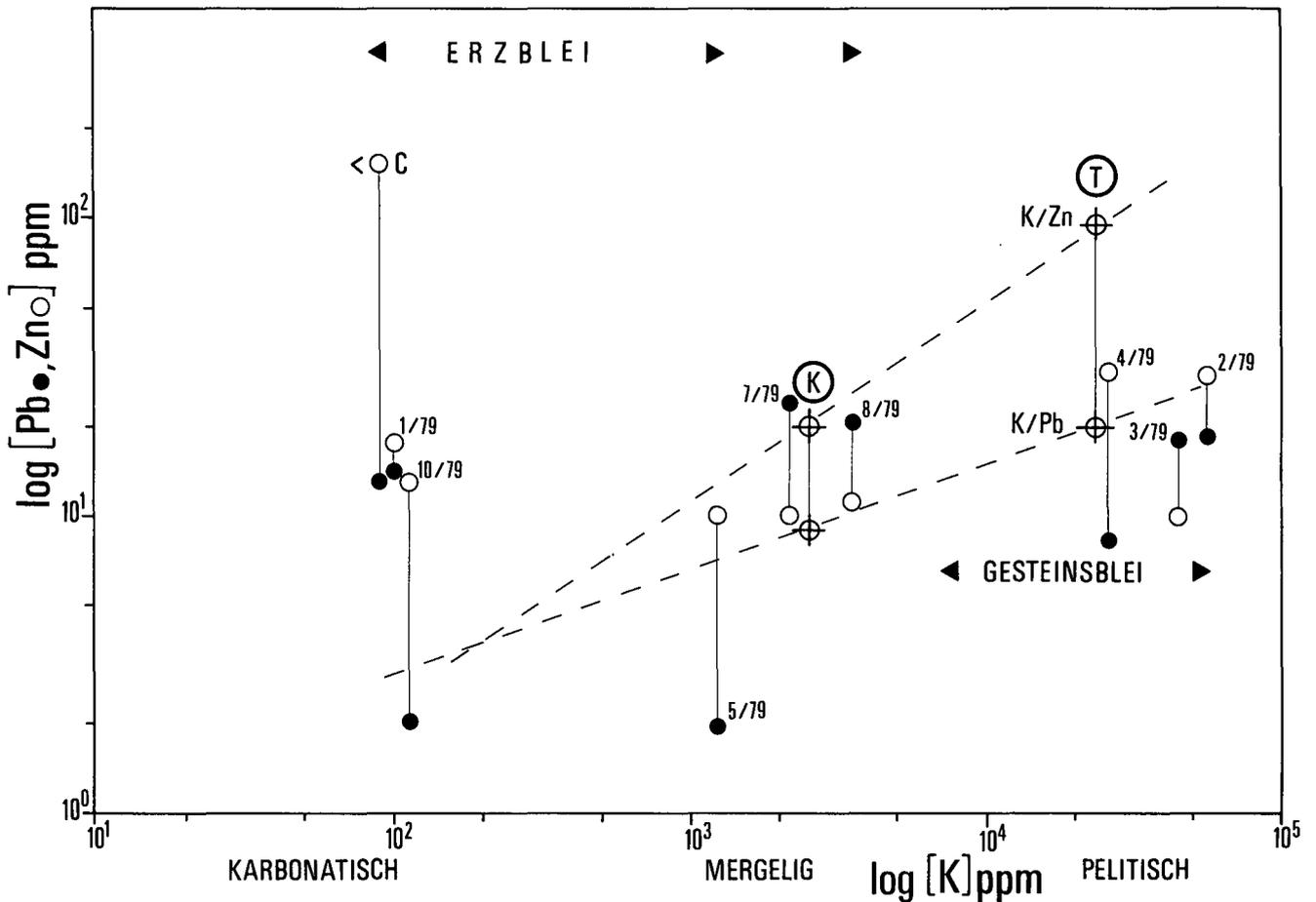


Abb. 6: K-Gehalt [%] gegen Zn und Pb [ppm]. Die Proben mit einer Isotopenzusammensetzung, die dem Gesteinsblei der Carditaschichten entspricht, liegen im Bereich der Clark-Werte. Proben mit Erzblei zeichnen sich durch höhere Gehalte an Pb und Zn (z. T. auch Ba, z. B. Probe 5/79) aus. Clark-Werte für Karbonatgesteine „K“ und Tongesteine „T“ nach TUREKIAN/WEDEPOHL (1961).

rend der ersten 10 Mio. J. oder der letzten 10 Mio. J. enthalten hätten. Sie definieren ein keilförmiges Feld, das alle Datenpunkte von Karbonatblei enthält, dessen Isotopenzusammensetzung einmal mit dem Erzblei identisch gewesen sein könnte. Das U-Pb-System könnte demnach für Uran beliebig offen gewesen sein.

Abb. 5 zeigt, daß nur wenige Datenpunkte in das keilförmige Feld fallen. Eine Antwort auf die Frage, ob diese Proben aus dem Halo der Vererzungen stammen, liefert Abb. 6, welche die Korrelation der Zn- und K-Gehalte sowie der Pb- und K-Gehalte bringt.

Der Kaliumgehalt ist ein Maß für den Illitgehalt als Hauptträger des Buntmetallgehaltes im Tonanteil des Sedimentes. Demnach sind einige Proben überdurchschnittlich reich an Zn und sind daher dem Halo der Vererzungen zuzurechnen (Abb. 6). Die Mehrheit der Proben kommt unterhalb des Keiles zu liegen, und ihr Spurenblei war mit dem Erzblei nicht identisch. Diese Aussage muß nur insofern eingeschränkt werden, als einige Proben zwei verschiedene Komponenten an Blei enthalten: eine HCl-lösliche Komponente im Karbonat, welche die bei der Karbonatdiagenese vorhandene Komponente enthält und eine Komponente der Silikate. Bei den Proben, in denen auch das HF-HClO<sub>4</sub> lösliche Pb gemessen wurde, handelte es sich um sandige Raiblerschichten mit viel Detritus u. a. auch Feldspat. Es stellt sich die Frage, ob sich bei HCl-Auszug wirklich nur das Karbonatblei löst.

Wenn sich auch ein Anteil „Silikatblei“ (eventuell) mitlöst, so würde der Datenpunkt des HCl-löslichen

Blei eine Mischung darstellen. Es wäre möglich, daß bei einem milderen Lösungsprozeß die Isotopenzusammensetzung weitere Karbonatproben in das keilförmige Feld fallen würde.

Einen weiteren wichtigen Hinweis, daß Erzblei mit Gesteinsblei nicht identisch gewesen ist, liefert die Bleiisotopenzusammensetzung eines Bleiglanzes aus einer Pyrit-Markasit-haltigen Konkretion aus dem ersten Carditaschiefer. Wenn die Isochronen durch diesen Datenpunkt gelegt werden, so kommt die Mehrzahl der Karbonatdatenpunkte in ein neues keilförmiges Feld zu liegen, und die Zahl der Datenpunkte oberhalb und unterhalb dieses Feldes wird vergleichbar. Das Blei des Galenites aus der Konkretion kann daher zwanglos als eine Mischung von Gesteinsblei zur Zeit der Diagenese gedeutet werden.

Im Falle des Erzbleies hingegen ergibt nur eine Probe einen Datenpunkt oberhalb des Keiles, nur zwei außerhalb des Halos liegen im Keil und die übrigen unterhalb. Daraus ist zu schließen, daß das Erzblei aus einer anderen Quelle stammen muß. Dieser Befund bedeutet, daß bei einer syndiagenetischen Lagerstättenbildung das Blei zugeführt worden sein muß.

### 3. Mögliche Muttergesteine für das Erzblei

Schichtgebundene massive Sulfidvererzungen (Kieslagerstätten) des Altpaläozoikums in der Grauwacken-

zone und auch im höhermetamorphen Altkristallin des Ostalpins führen ein Erzblei, das dem Erzblei der Lagerstätten vom Typ Bleiberg vergleichbar ist bezüglich der  $\mu$ - und W-Werte (KÖPPEL & SCHROLL, 1983).

Hingegen entsprechen die  $\mu$ - und W-Werte vom Erzblei des Penninikums und der deutschen Plattform eher durchschnittlichen Krustenwerten (Abb. 7).

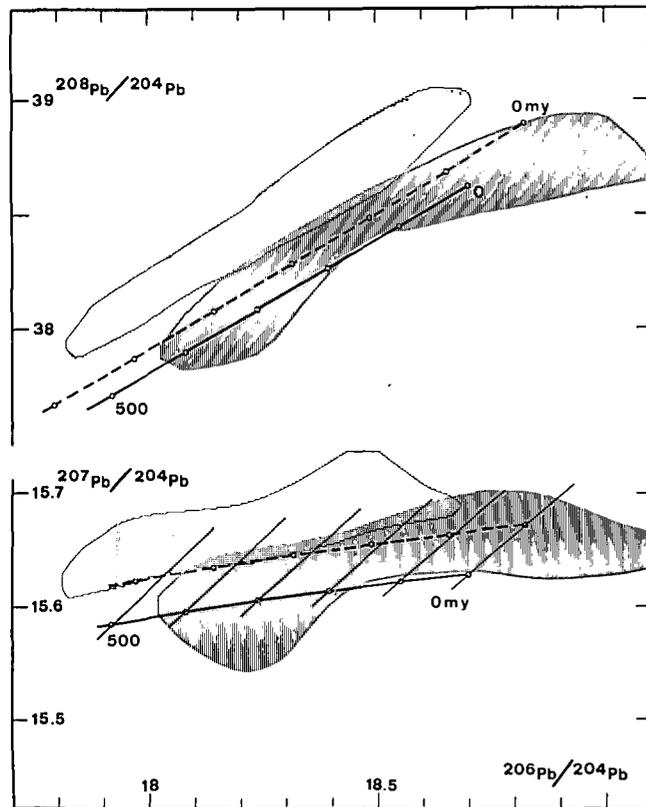


Abb. 7: Horizontal schraffiertes Feld: PbS-führende Vererzungen und Lagerstätten in ostalpinen Einheiten und in den Südalpen. Vertikal schraffiertes Feld: PbS aus Vererzungen und Lagerstätten der penninischen Bereiche der Zentral- und Ostalpen. In diesem Feld liegen ferner u. a. Meggen, Rammelsberg, Schwarzwald, Schlesien-Krakow, Namur, Vendres.

Die Erzbleie der Trias zeigen in den nördlichen Kalkalpen eine stärkere Streuung als in den kalkalpinen Bereichen südlich des Alpenhauptkammes. Während in der Graubündener Trias Pb-Zn-Vererzungen im Anis ein Erzblei aufweisen können, das dem der Südalpen bzw. dem Typ von Bleiberg vergleichbar ist, zeigen die Erzbleie in der Nordtiroler Trias und im Raum Berchtesgaden, wie Lafatsch-Vomp oder Rauschenberg, im  $\mu$ -Wert bereits niedrigere Werte. Im östlichen Teil der Nördlichen Kalkalpen nähert sich dann die Bleiisotopenzusammensetzung der Erzbleie denen der Germanischen Trias.

Im übrigen lassen neuere Untersuchungsergebnisse (noch unveröffentlicht) erkennen, daß im Altpaläozoikum nicht nur Erzbleie, sondern auch Gesteinsbleie vorkommen, von denen das Bleiberger Erzblei abgeleitet werden könnte.

Somit wäre als präexistente Quelle für das Blei der ökonomisch bedeutenden Blei-Zink-Lagerstätten Gesteinsblei aus altpaläozoischen metamorphen Gesteinen und Erzblei aus denselben Epochen zur Diskussion zu stellen. Viele kleinere Pb-Zn-Vererzungen, vor allem aus dem Trias der Karawanken und der Nördlichen Kalkalpen, führen vom Bleiberger Typ abweichende Erzbleie, meist verbunden mit geringen Änderungen im

Chemismus der Vererzung (SCHROLL, 1983). Diese Erzvorkommen haben durchwegs wirtschaftlich uninteressante Metallinhalte (vgl. CERNY et al., 1982).

#### 4. Genetische Schlußfolgerungen

Auch wenn man nicht erwarten darf, daß für das Erzblei von Bleiberg mit Sicherheit das Muttergestein gefunden werden kann, so grenzt das bisherige Datenmaterial den Bereich der Hypothesen der Genese ab.

Der Befund, daß das Gesteinsblei der Carditaschichten, im besonderen der Tonschiefer für die Herkunft des Erzbleies nicht in Frage kommt, schließt nach den derzeitigen Erkenntnissen die stoffliche Herkunft aus dem Verwitterungskreislauf fast zur Gänze aus, auch dann, wenn nicht in Frage zu stellen ist, daß es Metallanreicherungen dieser Art in Sedimenten und auch in der Trias gibt. Die Verwitterung von Graniten mit erhöhten Bleigehalten in den Feldspäten kann über die Zwischenstufe der Bodenbildung zur sedimentogenen Konzentration führen (SAMAMA, 1976).

Ein möglicher Zusammenhang mit magmatogenen Ereignissen, zumindest als Bringer für Vererzungen vom Typ Bleiberg, wird durch andere, neuere Beobachtungen wahrscheinlich gemacht: In den erzführenden Karbonatgesteinsserien der Trias sind vulkanogene Gesteine und deren tuffogene Ablagerungen verbreiteter, als früher angenommen worden ist. So konnte in den grünen Mergeln der Maxer Bänke vulkanogenes Material nachgewiesen werden (HAGENGUTH, 1984). Es ist auch nicht auszuschließen, daß in den Edlen Flächen der Bleiberger Fazies Anteile aus sedimentogen umgewandeltem tuffitischen Material vorliegen, wenn auch Mineralrelikte aus Vulkaniten nicht gefunden werden konnten (PHOLIADIS, unveröffentlicht).

Eingeschränkt wird diese Hypothese nur durch zwei Fakten: Es fehlen heißthermale Elementvergesellschaftungen. Die Zufuhr von Eisen und Mangan ist nicht nachweisbar, Gehalte an Metallen, wie Silber, Kupfer, u. a. ist extrem gering. Nach einer Abschätzung aus den Ga/Ge-Verhältnissen in Sphaleriten könnte die Laugung hydrothermalen Wassers im Gleichgewicht mit Silikaten im Temperaturbereich von höchstens 180°C (>50°C) liegen (MÖLLER et al., 1983 und unveröffentlicht).

Es fehlen im Bergbaubereich nachweisbare Zufuhrkanäle. Ihr Nachweis müßte erst geochemisch und isotopengeochemisch gesichert sein. Nach den bisherigen Erkenntnissen spricht vieles nur für einen Temperaturanstieg während der Diagenese auf etwa 100°C, der Umlagerungsprozesse der Vererzung zur Folge gehabt hat (KAPPEL & SCHROLL, 1982).

Nach dem gegenwärtigen Stand ist eine Herkunft aus niedrigthermalen Lösungen als Auswirkung des Triasvulkanismus zu überlegen.

Im westlichen Teil der Südalpen, in der Ceneri- und der Ivrea-Zone wurde Feldspatblei in Metasedimenten gefunden, dessen Isotopenzusammensetzung ähnlich hohe  $\mu$ - und W-Werte ergibt, wie Blei der paläozoischen, schichtförmigen Lagerstätten, der postmetamorphen Gangvererzungen in den Südalpen und der triassischen Lagerstätten. Diese Resultate geben eine Hinweis, daß die Quelle des Bleis der triassischen Lagerstätten vom Typ Bleiberg möglicherweise in den Metasedimenten des Altkristallins zu suchen ist. Noch nicht

abgeschlossene Untersuchungen im Altkristallin der Ostalpen verstärken diesen Verdacht.

Wenn diese Vermutung richtig ist, dann müßten während der unter- bis mitteltriassischen Zeit Auslaugungsprozesse in solchen Gesteinen stattgefunden haben. Folgende Hypothese wäre denkbar:

Die Auslaugungsprozesse stehen mit einer Zerrungs-tektonik, d. h. mit beginnendem Rifting, im Zusammenhang, wobei die periadriatisch-insubrische Linie eine Rolle gespielt haben könnte. Bruchtektonik ist die Voraussetzung für eine erhöhte Wegsamkeit für chloridreiche Lösungen, die über den Sedimentsockel in den kristallinen Untergrund gelangen können. Der mit dem Rifting gekoppelte erhöhte Wärmefluß begünstigte die Bildung eines geothermischen Systems. Der Wiederaufstieg der metallreichen, chloridischen Lösungen führte zur Ausfällung im Sediment, wobei die Sulfidbildung hauptsächlich frühdiagenetisch durch Schwefelwasserstoff erfolgt, der durch biogene Reduktion aus dem Meerwassersulfat gebildet worden ist. Eine solche Hypothese würde auch erklären, weshalb gerade die großen Lagerstätten in der Nähe der periadriatisch-insubrischen Linie konzentriert sind.

Eine ähnliche Hypothese ist neuerdings für die Lagerstätten des Mississippi Valley Typ (USA) aufgestellt worden, allerdings in Hinblick auf den ausgeprägten J-Typ des Erzbleies, wobei nach dieser Hypothese die Auslaugung des kristallinen Untergrundes durch meteorische Wasser erfolgt sein sollte (PELISSONIER, 1983).

Weitere Untersuchungen, auch des Bleies der vererzten und dolomitisierten Karbonate, sowie neue Beobachtungstatsachen sind noch erforderlich, um das genetische Problem seiner endgültigen Lösung zuzuführen.

#### Dank

Für Diskussionen, Feldbegehungen und Probenmaterial danken wir den Herrn Dr. I. CERNY (Bad Bleiberg), Prof. Dr. L. KOSTELKA (Klagenfurt), Prof. Dr. O. SCHULZ (Innsbruck), Prof. Dr. L. BRIGO (Ferrara), Dr. WOPFNER (Köln) und Dr. I. ŠTRUCL (Mečica).

#### Literatur

- BECHSTÄDT, Th.: The lead-zinc deposit of Bleiberg-Kreuth (Carinthia, Austria): Palinspastic situation, paleogeography and ore mineralization. — *Proceed. 3<sup>rd</sup> ISMIDA (Leoben 1977)*, 46–61, *Verh. Geol. B.-A.* **1978/3**, 221–235, Wien 1979.
- 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, Wien 1982.
- CUMMING, G. L. & RICHARDS, J. R.: Ore lead isotope ratios in a continuously changing Earth. — *Earth Plan. Sc. Lett.*, **28**, 155–171, 1975.
- 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., Wien 1984.
- KAHLER, F.: Sedimentation und Vulkanismus im Perm Kärntens und seiner Nachbarräume. — *Geol. Rdsch.*, **98**, 141–147, 1959.
- KAPPEL, F. & SCHROLL, E.: Ablauf und Bildungstemperatur der Blei-Zink-Vererzung von Bleiberg-Kreuth / Kärnten. — *Carinthia II*, **172/92**, 49–62, Klagenfurt 1982.
- KÖPPEL, V.: Summary of lead isotope data from ore deposits of the Eastern and Southern Alps: Some metallogenetic and geotectonic implications. In: H. J. SCHNEIDER (ed.): *Mineral Deposits of the Alps*, *Proceed. of the IV ISMIDA*, 1981, Berlin – Heidelberg (Springer) 1983.
- KÖPPEL, V. & SCHROLL, E.: Bleiisotope und Remobilisation in Erzlagerstätten. In: W. E. PETRASCHECK (ed.): *The Mobilization in the Alps and in SE-Europe*. — *Österr. Akad. Wiss., Schriftenreihe der Erdwiss. Komm. Österr. Akad. Wiss.*, **6**, 39–52, Wien 1983.
- KÖPPEL, V. & SCHROLL, E.: Lead isotopes of Paleozoic Strata-bound to stratiform galena bearing sulfide deposits of the Eastern Alps (Austria), Implications of their tectonic setting. — *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, **2–3**, 1984.
- PELISSONIER, M.: Metallogenetic significance of J-lead. In: G. KISVARANYI et al. (eds.): *Internat. Conf. Mississippi Valley Type Lead-Zone Deposits Univ. Missouri–Rolla*, 216–226, Rolla, Miss. 1983.
- SAMAMA, J. C.: Comparative review of the genesis of the copper-lead sandstone-type deposits. In: K. H. WOLF (ed.): *Handbook of Strata-Bound and Stratiform ore Deposits*. Vol. II. — 1–20, 1976.
- SCHROLL, E.: Geochemical Characterization of the Bleiberg type and other carbonate hosted lead-zinc Mineralizations. In: H. J. SCHNEIDER (ed.): *Mineral Deposits of the Alps and of the alpine Epoch in Europe*. — 189–197, Berlin (Springer) 1983.
- STACEY, J. S. & KRAMERS, J. D.: Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two stage model. — *Earth. Plan. Sc. Lett.*, **26**, 207–221, 1975.
- TUREKIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. K.: Distribution of the elements in some major unites of the Earth's Crust. — *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **72**, 172–202, 1961.
- WOPFNER, H., GRIESECKE, S., KOCH, J. & FELS, H.: New aspects on metal deposits of the Groeden sandstone (South Tyrol, Italy). In: H. J. SCHNEIDER (ed.): *Mineral Deposits of the Alps and of the alpine Epoch in Europe*. — 60–69, Berlin (Springer) 1983.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 15. August 1984.