

## Stratiforme und diskordante Zink-Blei-Anomalien im erzhöflichen Oberen Wettersteinkalk (alpine Mitteltrias)

J. R. Kranz

Institut für Angewandte Geologie der Freien Universität Berlin

939 samples collected from 18 standard profiles of the ore bearing Upper Ladinian "Wettersteinkalk" and the corresponding "Partnachsichten" and "Arlbergschichten" were analysed with aid of AAS for Ca, Mg, Zn, Pb (Sr, Fe, Mn). Additionally the HCl-insoluble was detected. The zinc and lead distributions in different facies types (i. e. reef, lagunal, reef-margin and basin facies) were investigated. Most of the samples show "normal" minor-element abundances (mean 24 ppm Zn, 1,5 ppm Pb). Approaching the "Raibler Schichten" (Carnian) the lagunal facies contains stratiform zinc and lead anomalies ( $Zn > 150$  ppm,  $Pb > 15$  ppm). This can be explained by increasing heavy metal concentrations during sedimentation and early diagenesis. Furthermore zinc and lead halos in the carbonate host rocks were investigated. The zinc dispersion is mainly related to "collapse breccias" and metasomatic dolomites in the margins of the major ore bodies, and extends a maximum distance of about 10-20 m.

### 1. EINLEITUNG

Im oberen Wettersteinkalk (Ladin-Karn/Trias) der Ostalpen existieren neben den bekannten, heute noch produzierenden Betrieben von Bleiberg-Kreuth (Drau-Kalkalpen), Raibl (Julische Alpen) Mežica (Karawanken) und Gorno (Bergamascher Alpen), eine Vielzahl größerer bis kleinster Pb-Zn-Vorkommen, die in den vergangenen Jahrhunderten fast ausnahmslos beschürft wurden, teilweise auch im Abbau standen, oder noch stehen, und deren intensive Erforschung in den letzten beiden Jahrzehnten eng mit den Namen Schneider (1954, 1964), Maucher (1957), Taupitz (1954), Schulz (1960) u. a. verbunden ist. Abgesehen von partiell unterschiedlichen Auffassungen zur Genese, bestehen - trotz des überwiegend diskordanten, "hydrothermalen" Habitus vieler Erzkörper -

über den schichtgebundenen, teilweise sedimentären Charakter dieser Lagerstätten keine Zweifel mehr.

Die über den gesamten Ostalpenraum verstreuten Lagerstätten und Kleinstvorkommen belegen bereits, daß sich der obere Wettersteinkalk innerhalb der mesozoischen Karbonatfolgen durch regional weitreichende, anomale Zink- und Blei-Gehalte auszeichnet, ohne daß bisher detaillierte Kenntnisse von der Gesamtverteilung dieser beiden Elemente in der ladinischen Karbonatplattform existieren.

Eine systematische Beprobung ladinischer Sedimentprofile begann auf Anregung von Schneider durch die Berliner Arbeitsgruppe: Zeller (1970) in Raibl, Kranz (1970, 1973) in Vorarlberg und Krische (1972) in Gorno. Die Ergebnis-

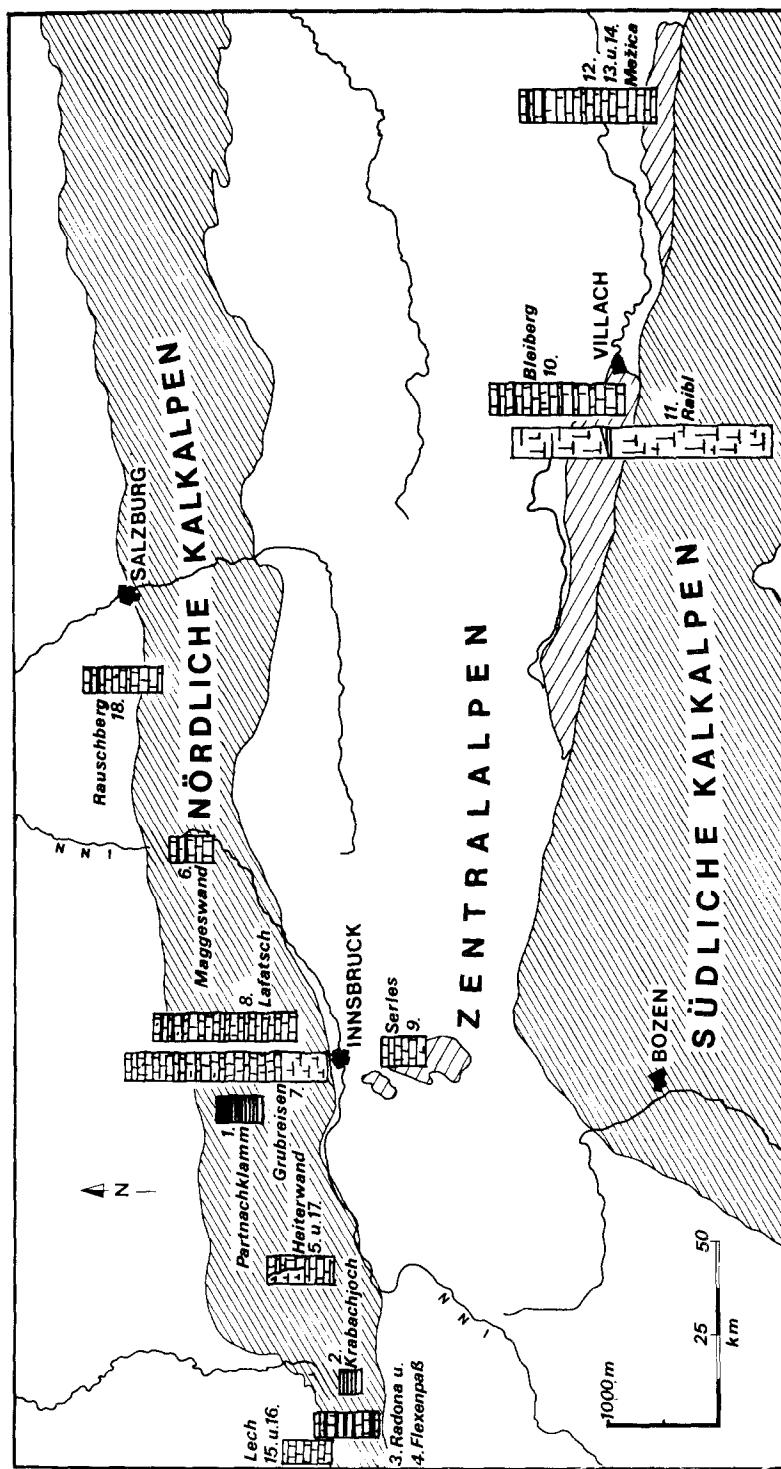


Abb. 1. Übersichtsskizze zum Untersuchungsbereich; Lage der beprobt Standard-Profile

se dieser Arbeiten, deren Analysen mit Hilfe der AAS durchgeführt wurden, bildeten die Basis der vorliegenden Untersuchungen.

Erste systematische Reihenanalysen von triadischen Schichtenfolgen in den Ostalpen verdanken wir Schroll (1967), der drei Profile der karnischen Raibler Schichten untersuchte. Inzwischen liegen auch Spurenelementanalysen zweier Schichtprofile des erzführenden Wettersteinkalkes von Bleiberg-Kreuth vor (Cardich-Loarte & Schroll 1973), wo im Rahmen neuer Prospektierungsarbeiten auch Kostelka & Niedermayr (1973) geochemische Profilaufnahmen durchgeführt haben. Im Bereich der Lagerstätte Mežica hatte E. Grobelšek (1962) mit Hilfe von Dithizon-Analysen eine umfangreiche geochemische Prospektion im Grubengebäude begonnen und mit Erfolg neue Erzkörper nachweisen können.

Auch in anderen Bereichen wurden zunehmend systematische Zink- und Bleianalysen an erzhöflichen Kalk-Dolomit-Profilen durchgeführt: z. B. von Treuil & Fauchere (1970, Jurakalke /S-Frankreich) und Hofmeister et al. (1972, Triaskalke /NW-Deutschland).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt 18 Schichtprofile unterschiedlicher Faziesausbildungen im Bereich der Erzvorkommen und auch in unvererzten Ladin-Serien systematisch beprobt (Probenabstand meist 2-5 Schichtmeter). Fallweise wurde dieses Probenschema durch eine differenzierte Probennahme bestimmter Faziesausbildungen ergänzt. Geographische Lage, fazielle Zuordnung und Mächtigkeit der untersuchten Profile ist Abb. 1 und Tab. 1 zu entnehmen.

Insgesamt kamen 939 Proben zur Untersuchung. Die Fazies der Gesteinsproben wurde bei deren Entnahme makroskopisch angesprochen, wobei nach Tab. 2 insgesamt 19 Faziestypen unterschieden wurden. Die Analysen der Karbonatgesteine erfolgte mit Hil-

fe der AAS im HCl-löslichen Anteil, wobei die Elemente Ca, Mg, Sr, Zn, Pb, Fe und Mn bestimmt wurden. Der HCl-unlösliche Rückstand, der überwiegend dem Tonanteil (+ Quarz, z. T. auch Bitumen) entspricht, wurde gravimetrisch ermittelt. Die Analysendaten wurden mit EDV (am "Großrechenzentrum f. d. Wissenschaft Berlin") ausgewertet.

Im folgenden werden geochemische Anomalien zunächst rein geometrisch und ohne genetische Bedeutung als stratiforme (schichtige) und diskordante Anomalien beschrieben. Die Begriffe "primärer" und "sekundärer Dispersionshof" (Friedrich 1968) sind hier weniger brauchbar, da sie sich von dem herkömmlichen Modell eines (+ einaktiv) gefüllten hydrothermalen Erzganges (mit seiner späteren Verwitterung) ableiten. Demgegenüber werden schichtgebundene Vererzungen während der verschiedenen Diagenesestufen von umfangreichen Lösungsumsetzungen und Stoffverschiebungen begleitet, wodurch auch Spurenelement-Verteilungen und Dispersionsprozesse entscheidend beeinflußt werden.

## 2. DIE UNTERSUCHTEN SEDIMENTE

Untersuchungen zur lithologischen Abgrenzung, Gliederung, Mächtigkeit und Altersstellung des Wettersteinkalkes in den N-Alpen wurden von Sarnthein (1967), Germann (1969) u. a., für den Bereich der S-Alpen von Schulz (1960), Eppensteiner (1970), Bechstädt (1973) u. a. durchgeführt. Erste sedimentpetrographische Profilvergleiche der hangenden Raibler Schichten (Karn) stammen von Schulz (1970).

Nicht in allen Bereichen der Ostalpen werden die ladinischen Sedimente von der markant-charakteristischen Abfolge des Wettersteinkalkes repräsentiert. Gebietsweise kommt es zur Ausbildung einer typischen Mergelfazies der sog. "Partnachsichten" (Partnachklamm/Garmisch), oder einer plattig-gebankten Abfolge mit

Tabelle 1. Verzeichnis der untersuchten Profile

| Bezeichnung      | Lage             | Fazies | Mächtigkeit<br>(m)/(beprobte m) | Stratiforme Zn-Anomalien <sup>a</sup> |   |   |   | Aufschluß       |
|------------------|------------------|--------|---------------------------------|---------------------------------------|---|---|---|-----------------|
|                  |                  |        |                                 | A                                     | B | C | D |                 |
| Partnachklamm    | Wettersteingeb.  | Becken | 400                             | 150                                   | - | - | - | -               |
| Krabachjoch      | Lechtaler Alpen  | Becken | 130                             | -                                     | - | - | + | Steilwand       |
| Radona           | Klostertal       | Rand   | 500                             | 225                                   | + | + | - | Bachtobel       |
| Flexenpaß        | Klostertal       | Rand   | 500                             | 440                                   | + | - | - | Paßstraße       |
| Heiterwand       | Lechtaler Alpen  | Riff   | 580                             | 230                                   | - | + | + | Steilwand       |
| Maggeswand       | Wendelstein/Inn  | Lagune | 300                             | 135                                   | + | - | - | Steinbruch      |
| Grubreisen       | Karwendel        | Lagune | 1860                            | 750                                   | - | - | - | Steilwand       |
| Lafatsch/Stefani | Karwendel        | Lagune | 1200                            | 794                                   | + | + | + | Stollen         |
| Serles           | Stubaijer Alpen  | Lagune | 320                             | 320                                   | - | + | - | Weganriß        |
| Bleiberg/Antoni  | Drauzug          | Lagune | 1100                            | 166                                   | + | + | + | 8. Lauf         |
| Raibl            | Julische Alpen   | Riff   | 2400                            | 1540                                  | - | + | + | 15. u. 17. Lauf |
| Mežica/Moreing   | Karawanken       | Lagune | 1200                            | 263                                   | + | - | - | 7. Lauf         |
| Mežica/Barget    | Karawanken       | Lagune | 1200                            | 50                                    | + | + | + | 10. Lauf        |
| Ursija Gora      | Karawanken       | Lagune | 1200                            | 280                                   | + | + | + | Bohrung         |
| Omeshorn/Lech    | Lechtaler Alpen  | Lagune | 400                             | 250                                   | - | - | - | Bachanriß       |
| Schafalpe/Lech   | Lechtaler Alpen  | Lagune | 400                             | 330                                   | + | + | - | Weganriß        |
| Kratzerkar       | Heiterwand, -"   | Lagune | 900                             | 100                                   | - | - | - | Steilwand       |
| Rauschberg       | Chiemgauer Alpen | Lagune | 700                             | 90                                    | + | + | - | Weganriß        |

<sup>a</sup>Zn-Anomalien: A) im "normalen" Wettersteinkalk;  
C) im "Raibler Grenzjäger";

B) in der "Sonderfazies"  
D) in den Raibler Tonschiefern

Mergeleinschaltungen vom Typ der "Arlbergschichten" (Klostertal/Vorarlberg), die sich mit dem Wettersteinkalk seitlich verzähnen. Der Ab Lagerungsraum der ladinischen Geo synklinale zeigt durch diese Fazies differenzierungen eine charakteristische paläogeographische Gliederung, deren Hauptelemente Riffe, Lagunen- und Beckenbereiche sind (Schneider 1964, Abb. 9). An Hand reliktischer Sedimenttexturen lassen sich im Detailbereich weitere Subfaziestypen unterscheiden.

Als Beckenfazies werden hier die feindetritischen Mergelfolgen der "Partnachschichten" bezeichnet. Es handelt sich vor allem um pelitische Tonmergel und Mergel, sowie in diese Mergelsteine eingeschaltete Mergelkalke und Mergeldolomite. Als Randfazies werden hier die "Arlbergschichten" des Klostertales/Vorarlberg aufgefaßt (im Sinne der "carbonate-platform-margins" von Wilson 1974). In den Profilen dieses Faziesbereiches überwiegen gebankte (z. T. dolomitische) Kalkarenite und -mikrite, in die häufig Mergel und Tonschiefer eingeschaltet sind. Die Profile der Riff - Fazies (Heiterwand/Lechtaler Alpen und Raibl /Julische Alpen) werden durch lithifizierte Reste von Riffbildnern - im Ladin vorwiegend Algen und Schwämme, z. T. auch Korallen (Sarnthein 1967) - und Riffbewohnern (Zweischaler etc.) ausgezeichnet. Die Bildungen der Lagunenfazies nehmen in den untersuchten Profilen den mächtigsten Anteil ein (Profile Lafatsch, Bleiberg, Mežica u. a.). Analog den rezenten Sebkhas lassen sich auch aus der Gezeitenzone des oberladinischen Flachmeeres subtidale, inter- und supratidale Bildungen unterscheiden (Bechstädt 1973). Zyklische Abfolgen dieser Subfaziestypen erreichen im Wettersteingebirge, im Karwendel, im Drauzug und in den Karawanken Mächtigkeiten bis 1000 m. Es überwiegen Kalkarenite und -mikrite (z. T. bituminös), ferner feinschichtige Dolo-

mite, Stromatolithe i. w. S. (hier alle supratidale Bildungen) und sog. "Messerstich"-Kalke bzw. -Dolomite (vgl. Sarnthein 1967).

Für die geochemische Probennahme waren dm- bis m-mächtige Horizonte von grünlichgrauen Mergelkalken (sog. "grüne Mergel") und schichtbeständige, dunkle Brekzien (sog. "schwarze Brekzien") von besonderem Interesse. Diese Bildungen sind in die Kalk-Dolomit-Abfolge der Lagunenfazies des obersten Wettersteinkalkes eingeschaltet und wurden von Schneider (1954) - vor allem unter erzgenetischen Gesichtspunkten - zusammen mit Vorkommen sedimentären Flußspats und feinverteilter, sulfidischer Erzlagen unter dem Begriff "Sonderfazies" zusammengefaßt. Die Genese der "grünen Mergel" hat Eppensteiner (1970) ausführlich diskutiert.

Wenn technisch möglich, wurden außerdem die Horizonte am lithologischen Kontakt Wettersteinkalk/Raibler Schichten und die unteren Raibler Tonschiefer beprobt. Das unmittelbar Liegende der Raibler Schichten ist häufig in Form einer Kiesbank entwickelt ("Raibler Grenzlager"), die obertägig Brauneisenkrusten bildet. In diesem pyritreichen Grenzhorizont kann fallweise Zinkblende und Bleiglanz nachgewiesen werden (Taupitz 1954; Schulz 1970, 1970).

### 3. AUSWERTUNG DER DATEN

Die Zink-Verteilung in den unterschiedenen Faziesbereichen zeigt die Abb. 3. In den Fällen der Randfazies, der Riff- und Lagunenfazies ergeben die Histogramme nahezu übereinstimmende (fast "ideale") lognormale Verteilungen. Zink-Anomalien treten infolge ihres geringen prozentualen Anteils in diesen Diagrammen nicht in Erscheinung. Demgegenüber zeigt das Histogramm der Beckenfazies (Analysendaten der Profile Krabachjoch und Partnachklamm) die Überlagerung zweier Wertekollektive, wobei Zink-

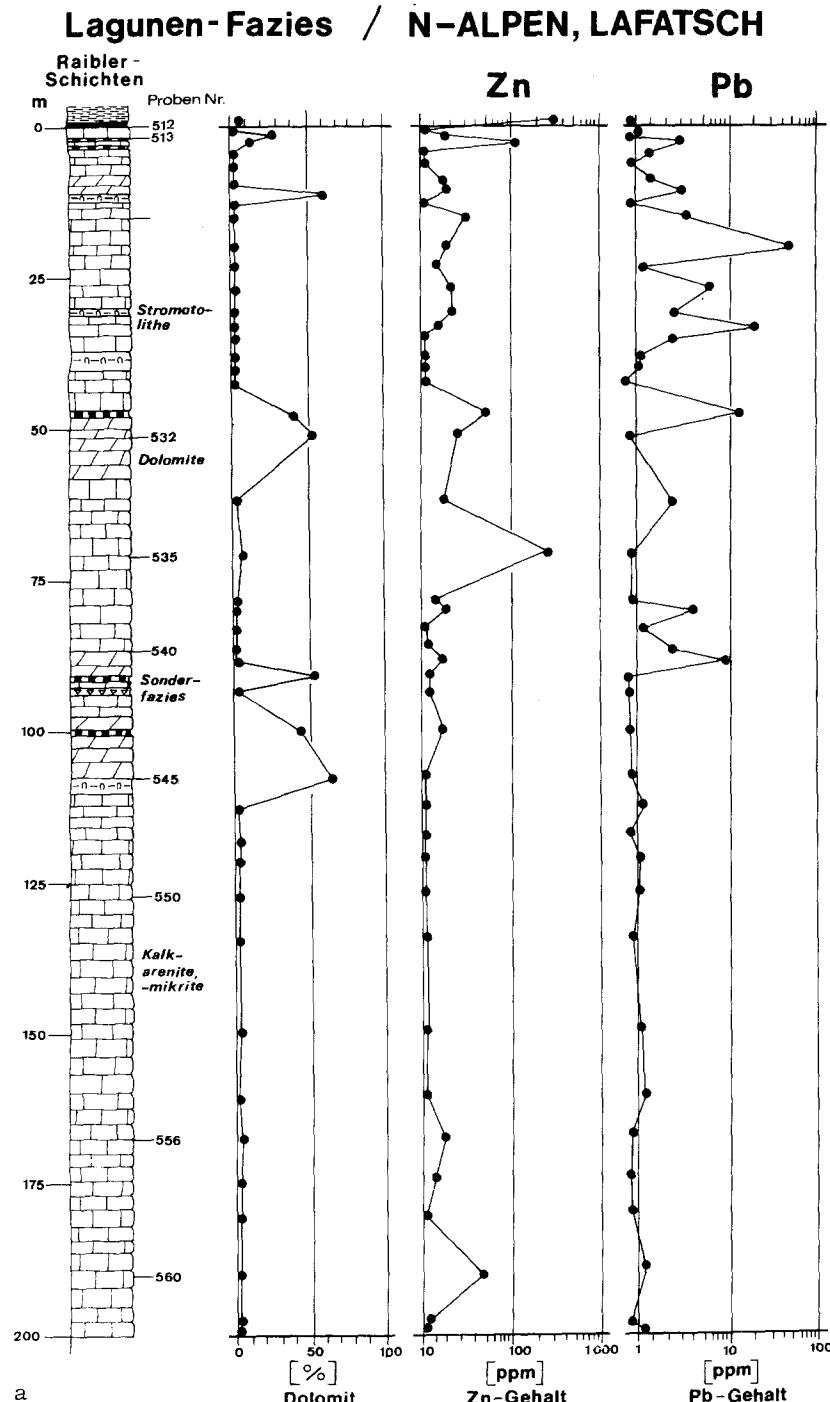


Abb. 2a und 2b. Fazielle und geochemische Entwicklung der Lagunenfazies des oberen Wettersteinkalkes in den N- und SE-Alpen (Profile Lafatsch und Mežica)

Abb. 2b siehe Seite 12

## Lagunen-Fazies / SE-ALPEN, MEŽICA

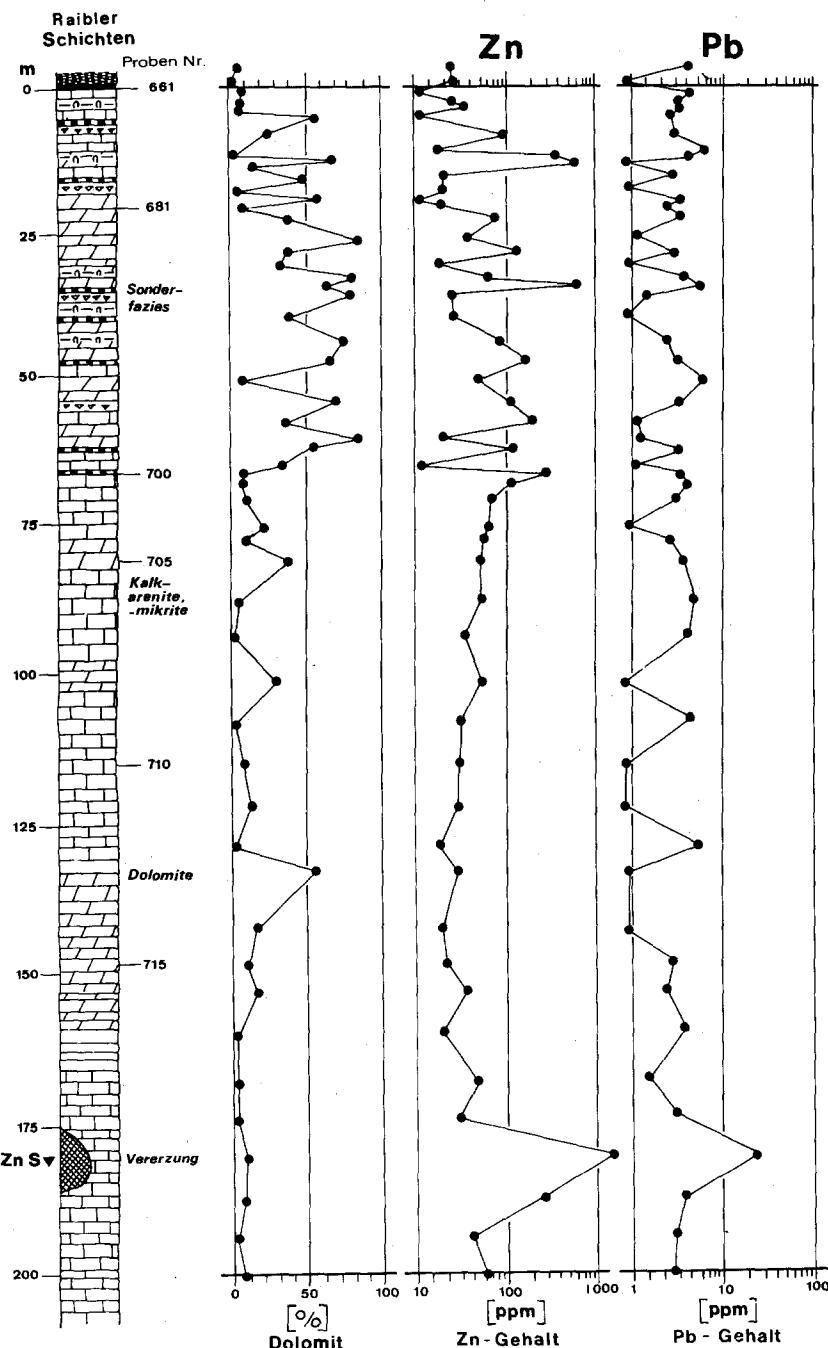


Abb. 2b

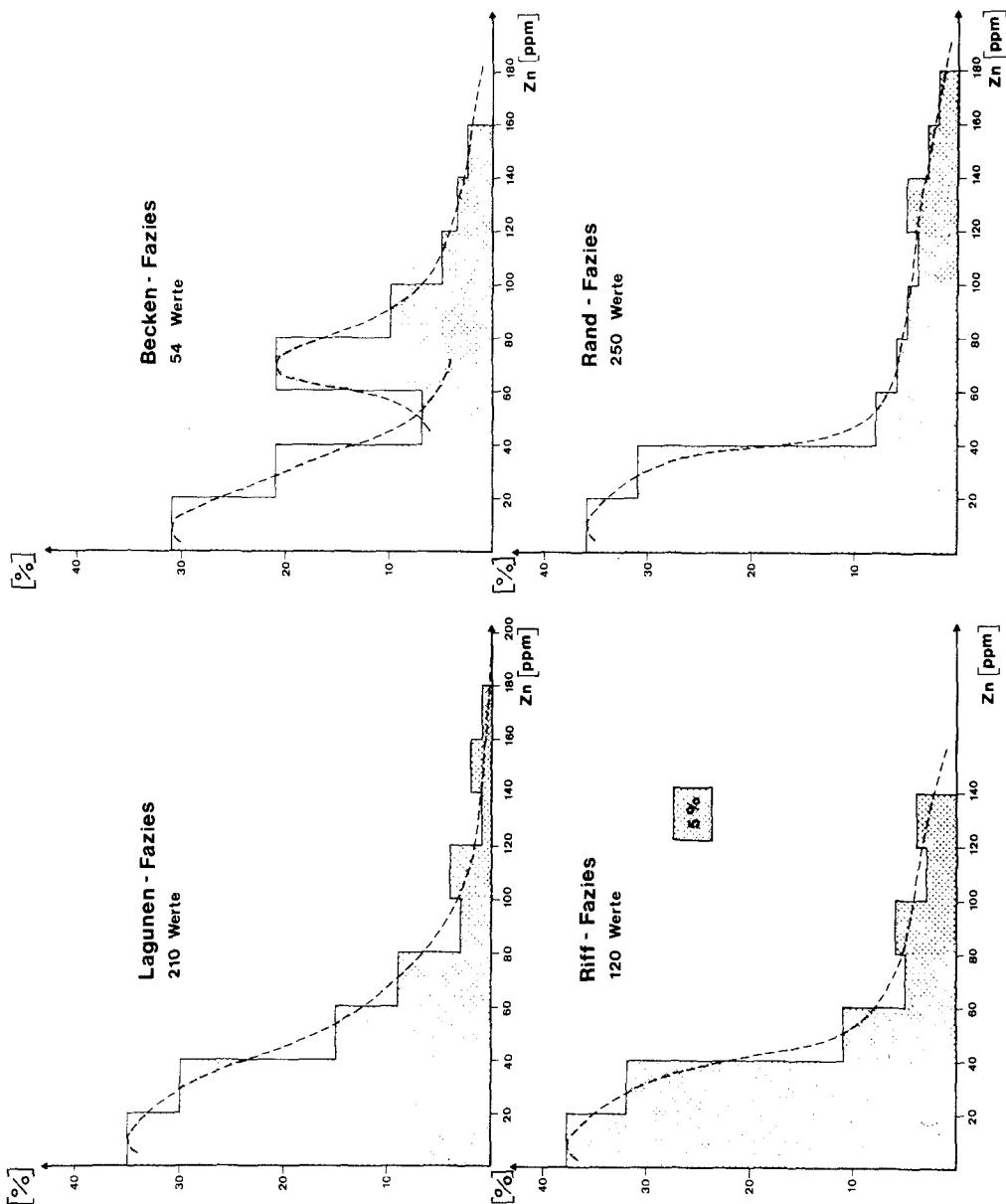


Abb. 3. Zink-Histogramme der vier unterschiedenen Faziesbereiche

Gehalte um 20-30 ppm auf die karbonatische Fazies ("Partnachkalke") der Beckenbereiche zurückgeführt werden können, während die mergelige Fazies ("Partnachschichten" i. e. S.) ein zweites Verteilungsmaximum bei 60-80 ppm Zink besitzt. Entsprechende Verhältnisse zeigen die Summenkurven im logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz (Abb. 4).

Die Summenkurven der Zink-Analysen aus vier paläogeographisch unterschiedlichen Lagerstätten wurden in Abb. 5 zusammengefaßt (Gorno nach Krische 1972, Lech/Vorarlberg nach Kranz 1970). Diese Summenkurven verlaufen nicht mehr geradlinig, sondern lassen sich in meist zwei + gerade Teilstücke zerlegen. Derartige Verteilungen ergeben sich bei geochemischen Unter-

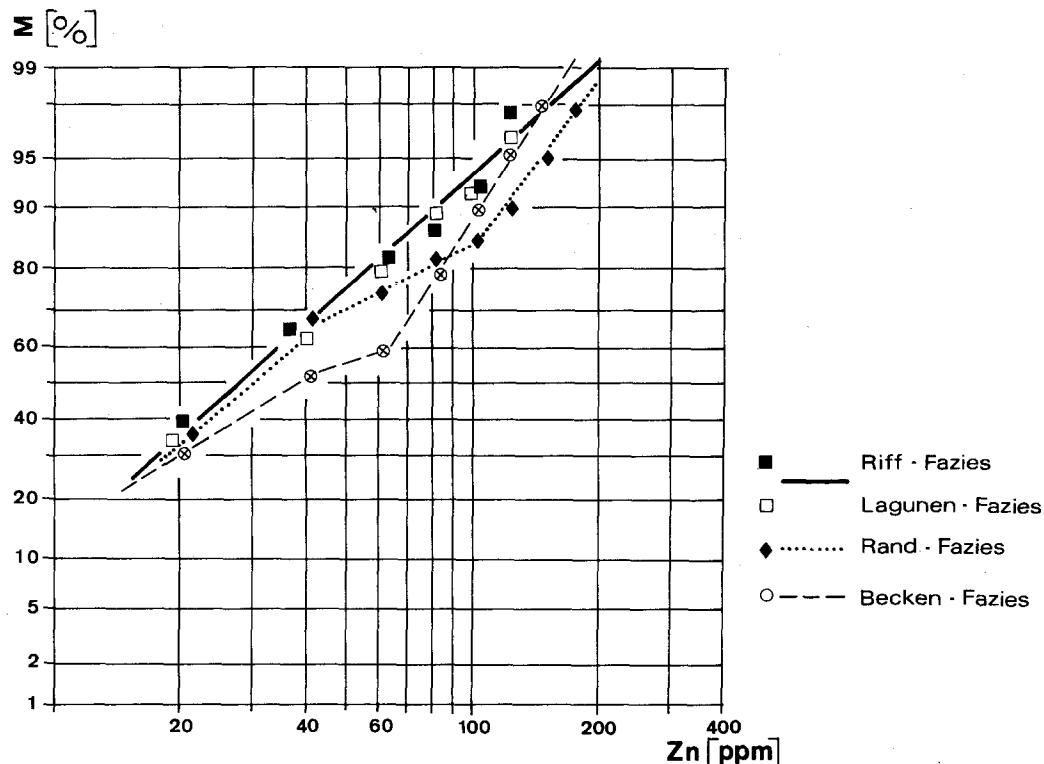


Abb. 4. Zink-Summenkurven der vier unterschiedenen Faziesbereiche

suchungen insbesondere dann, wenn der Anteil der Anomalie-Werte an dem Gesamtkollektiv aller Proben zunimmt (vgl. Lepeltier 1969). Ein Vergleich aller Histogramme und Summenkurven zeigt, daß der Zink-B a c k g r o u n d in den Lagerstättengrenzen nicht erhöht ist; er kann für den Wettersteinkalk allgemein mit 10-150 ppm angegeben werden, wobei diese Wertegruppe auch bei unterschiedlicher Probenannahme meist mehr als 95% aller Daten erfassen dürfte. Werte über 150-200 ppm Zn (Abb. 5) gehören deutlich einem gesonderten Kollektiv erhöhter Zink-Gehalte an, die bereits mit anomalen Anreicherungen zusammenhängen dürften (stratiforme bzw. diskordante Anomalien s. u.). Der Th r e s h o l d - Bereich schließt deshalb Zink-Werte der Größenordnung 100-200 ppm ein. Proben > 200 ppm sind bereits dem A n o m a l i e - Bereich zuzuordnen.

Die Blei-Analysen ergaben im Vergleich zu den Zink-Werten meist um eine Zehnerpotenz geringere Gehalte. Der Background-Bereich der Pb-Werte liegt unter 5 ppm. Blei-Gehalte um 5-8 ppm können bereits dem Threshold zugerechnet werden. Gehalte > 10-15 ppm sind in rein karbonatischen Profilen bereits als Anomalien anzusprechen. In der Ton- und Mergelfazies der Beckenbereiche liegen die Blei-Gehalte etwas höher, so daß hier noch Pb-Werte bis ca. 15 ppm zum Background gezählt werden können.

Die Mittelwerte (arith. Mittel) der Zink- und Blei-Gehalte in den unterschiedenen Faziestypen wurden in Tab. 2 aufgelistet. Während in Tab. 2 A sämtliche Analysendaten eingingen, wurden für Tab. 2B lediglich Zn-Werte < 150 ppm und Pb-Werte < 10 ppm berücksichtigt. Durch diese Eliminie-

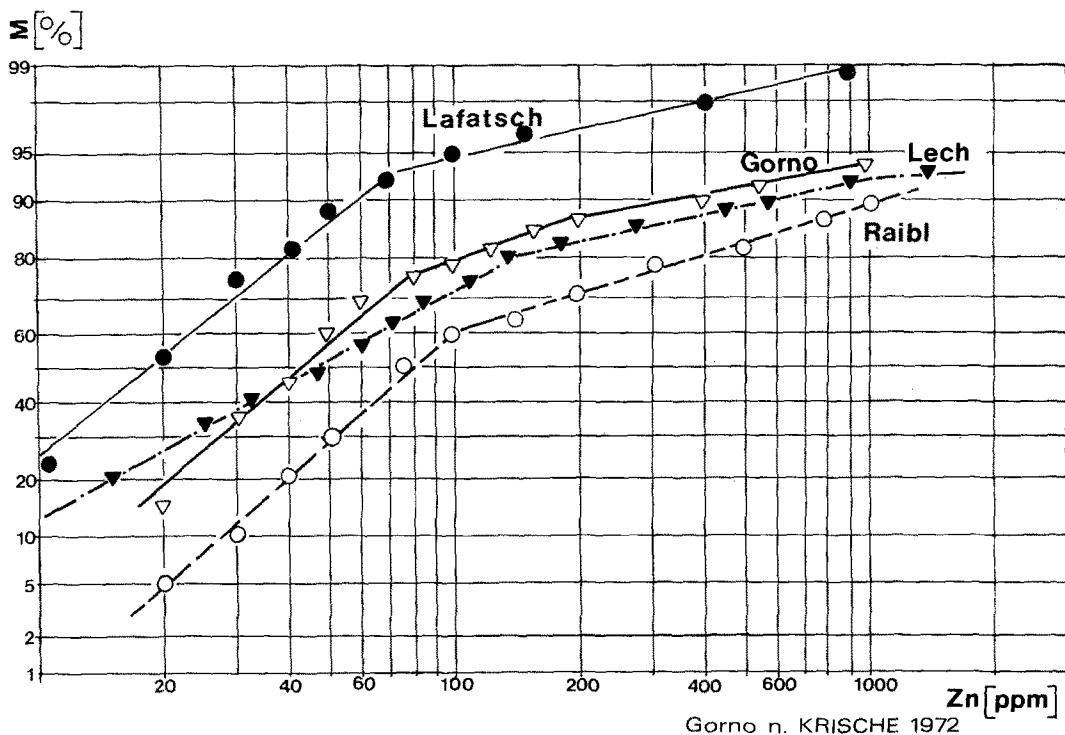


Abb. 5. Zink-Summenkurven aus vier paläogeographisch unterschiedlichen Lagerstätten

nung der Anomalien werden die Mittelwerte untereinander besser vergleichbar und entsprechen eher dem "faziellen Background" der einzelnen Faziesarten. Der Tab. 3 können die Korrelationskoeffizienten von Zink zu den übrigen im Gestein bestimmten Haupt- und Spurenelementen entnommen werden.

#### 4. STRATIFORME ANOMALIEN

In den oberen Abschnitten der untersuchten Schichtprofile, insbesondere in der Lagunenfazies des obersten Wettersteinkalkes, konnten zahlreiche, deutlich über dem Background liegende Zink- und Blei-Gehalte ermittelt werden. Da diese Werte ( $> 200$  ppm Zn und  $> 20$  ppm Pb) über weite Entfernungen - auch weitab von Vererzungsniveaugebunden wiederkehren, können sie als stratiforme Anomalien ange-

sprochen werden, die  $\pm$  syngenetisch mit den Karbonathorizonten des obersten Ladin verbunden sind. Auftreten und Verbreitung dieser Anomalien ist Tab. 1 zu entnehmen. Mit Abb. 2 können hier lediglich zwei charakteristische, "chemostratigraphische" Profile der Lagunenfazies (Lafatsch und Mežica) vorgestellt werden. Wiederkehrende fazielle wie geochemische Merkmale zeigen die Profile Bleiberg und Maggeswand (Kranz 1974).

Die Anomalien sind in den Nord- wie den Südalpen bevorzugt an die grünen Mergelkalke und schwarzen Brekzien der "S o n d e r f a z i e s", sowie an dunkle, bituminöse Kalkarenite und -mikrite gebunden. Allerdings führen nicht alle Horizonte der "Sonderfazies" erhöhte Spurenelement-Gehalte. Außerdem lassen sich erhöhte Zink- und Blei-Gehalte fast durchgehend am Kon-

takt zu den hangenden Raibler Schichten und in den unteren karnischen Horizonten selbst nachweisen. Das sog. "Raibler Grenzlag er" markiert eine, in fast allen hier untersuchten Profilen vertretene, flächenhafte Eisenanreicherung hervorragender Bedeutung, mit der z. T. beträchtliche Zink- (bis 6500 ppm) und Blei-Gehalte (bis 3700 ppm) einhergehen. Das "Raibler Grenzlag er" lässt sich – nahezu unabhängig von der faziellen Ausbildung des obersten Ladin – von den Nordalpen über die Zentralalpen hinweg (hier im Profil Serles/Brenner Mesozoikum) bis in die Drau-Kalkalpen und die Karawanken verfolgen, wo dieses Niveau als pyritführender und Zinkreicher "Grenzolith" des untersten "Cardita-Schiefers" (z. B. im Bergbau Bleiberg-Kreuth) ausgebildet ist. Nach Kostelka & Niedermayr (1975) können in Bleiberg auch die "Cardita-Schiefer" hohe Zink-Gehalte (4000-5000 ppm) führen.

Über die chemische bzw. mineralogische Bindung der erhöhten Zink- und Blei-Werte in den stratiformen Anomalien sind hier nur indirekte Schlüsse möglich, da Zn- und Pb-Gehalte < ca. 600-1000 ppm im Gestein kaum petrographisch identifizierbar sind. Ein wesentlicher Teil dürfte adsorptiv an die Tonminerale (vor allem an Illite) gebunden sein; in den grünen Mergelkalke der "Sonderfazies" wurden im Mittel 9.6% HCl-Unlös. bestimmt (vgl. auch die Korrelationskoeffizienten von Zink/HCl-Unlös. in Tab. 3). Vergleichbare Beobachtungen wurden auch von Hofmeister et al. (1972) aus dem germanischen Trochitenkalk mitgeteilt, in dem die Zink-Gehalte mit den Illit-Anteilen variieren. Bei stark erhöhten Zink- und Blei-Gehalten (> 600-1000 ppm) lassen sich im Gestein meist Zinkblende und Bleiglanz erkennen. Zunächst lediglich mikroskopisch nachweisbare ZnS- und PbS-Körnchen (an Biogenresten und in Stromatactis-Gefügen) können in Zinkblende-Feinschichten mit geopetalen Gefügen und schließlich in dm-mächtige Karbonat-

Zinkblende-Rhythmite (Schneider 1964) übergehen.

Ein geringer Teil der erhöhten Zink- und Blei-Gehalte kann auch im Karbonatgitter gebunden vorliegen. Roberts (1971) diskutiert die Kopräzipitation von Zink und Blei mit den primären Karbonatmineralen (Aragonit kann 0.9-3.0 Gew.-% Zink aufnehmen). In den Sammelkristallisationsphasen der Früh- und Spätdiagenese, insbesondere während der Aragonit-Calcit-Transformation, dürften diese primär kopräzipitierten Schwermetallgehalte wieder mobilisiert, anderweitig gebunden bzw. in den exogenen Kreislauf zurückgeführt werden. In den unterschiedenen Faziestypen des Wettersteinkalkes ließen sich keine eindeutigen Korrelations-Beziehungen Zink / Kalk bzw. Zink/Dolomit feststellen.

## 5. DISKORDANTE ANOMALIEN

Unabhängig vom stratigraphischen Schichtverband existieren diskordante Anomalien, die im unmittelbaren Nebengestein großer Erzkörper auftreten, und bei der Probennahme in den untertägigen Profilen fallweise mit erfaßt wurden. Die erhöhten Zink- und Blei-Gehalte sind bevorzugt an metasomatische Dolomite, tektonische Brekzien und vor allem auch Lösungsbrekzien (sog. "collapse breccias") gebunden. Es handelt sich damit vorwiegend um spätdiagenetisch gebildete Anomalien, die mit den Vererzungen und deren lateralen Lösungsumsetzungen entstanden. Metasomatische Dolomitierung und Zink-Dispersion besitzen in der Nähe der Erzkörper fallweise identische Aureolen, so daß zwischen Zink- und Magnesium-Gehalten z. T. deutliche Korrelationen ( $r = 0.40 - 0.50$ ) festgestellt werden können (z. B. im Lagerstättenebereich von Raibl) – im Gegensatz zu den übrigen hier untersuchten Profilen.

Demgegenüber ergaben Analysen der grobspäten, hellen Dolomite und Calcite häufig (selbst im Bereich der Erzkörper) nur geringe Zink- und Blei-Gehalte.

Tabelle 2 Zink- und Blei-Mittelwerte der unterschiedenen Faziestypen

A: alle Werte

B: Zn &lt; 150 ppm; Pb &lt; 10 ppm

| Faziestyp:                   | Zink<br>(ppm)     | Blei<br>(ppm)       | Anzahl | Zink<br>(ppm) | Blei<br>(ppm) | Anzahl |
|------------------------------|-------------------|---------------------|--------|---------------|---------------|--------|
| Mergel, Tonschiefer          | 242               | 12.5                | 38     | 68.6          | 6.5           | 33     |
| Mergelkalke                  | 62                | 5.1                 | 37     | 30.3          | 2.3           | 35     |
| Mergeldolomite               | 24                | 4.8                 | 40     | 23.7          | 4.8           | 40     |
| Kalkarenite, -mikrite        | 84                | 212.0 <sup>a</sup>  | 342    | 27.2          | 1.5           | 268    |
| Kalkarenite, bitum.          | 771 <sup>a</sup>  | 11.6                | 57     | 25.5          | 1.6           | 49     |
| Dolosparite                  | 1300 <sup>a</sup> | 2650.0 <sup>a</sup> | 57     | 24.4.         | 1.9           | 41     |
| Dolosparite bitum            | 858 <sup>a</sup>  | 44.0                | 36     | 24.3          | 1.3           | 29     |
| Dolomite, feinschichtig      | 116               | 4.1                 | 45     | 24.9          | 1.6           | 44     |
| Stromatolithe                | 113               | 7.2                 | 61     | 31.6          | 1.2           | 48     |
| Messerstichkalke, -dolomite  | 48                | 7.2                 | 46     | 20.9          | 1.4           | 43     |
| Riffkernfazies               | 131               | 9.0                 | 32     | 45.7          | 1.4           | 28     |
| Riffschuttfazies             | 1390 <sup>a</sup> | 14.7                | 16     | 25.4          | 1.3           | 9      |
| Grüne Mergelkalke, -dolomite | 60                | 1.7                 | 30     | 43.9          | 1.4           | 19     |
| Schwarze Brekzie             | 295               | 21.5                | 16     | 76.0          | 1.3           | 7      |
| Dolomitspat (spätdiagenet.)  | 780 <sup>a</sup>  | 59.5                | 16     | 36.1          | 1.9           | 9      |
| Störungs-, Lösungsbrekzien   | 2700 <sup>a</sup> | 679.0 <sup>a</sup>  | 33     | 56.4          | 1.5           | 14     |
| Raibler Grenzlagen           | 1410              | 301.0               | 7      | --            | --            | --     |
| Brauneisenkrusten            | 850               | 48.0                | 11     | --            | --            | --     |
| Raibler Tonschiefer          | 315               | 39.0                | 19     | 58.9          | 5.1           | 14     |

<sup>a</sup>Hohe Werte z. T. durch diskordante Zn-Pb-Anomalien

Tabelle 3. Zink-Korrelationskoeffizienten zum HCl-Unlös., und zu den Elementen Ca, Mg, Sr, Pb, Fe und Mn

| Faziestyp                    | HCl-Unl.<br>$r =$ | Calcium<br>$r =$ | Magnesium<br>$r =$ | Strontrium<br>$r =$ | Blei<br>$r =$ | Eisen<br>$r =$ | Mangan<br>$r =$ |
|------------------------------|-------------------|------------------|--------------------|---------------------|---------------|----------------|-----------------|
| Mergel, Tonschiefer          | 0.12              | - 0.03           | -0.13              | -0.09               | 0.98          | -0.03          | -0.05           |
| Mergelkalke                  | 0.22              | - 0.16           | -0.08              | -0.02               | 0.51          | 0.75           | 0.01            |
| Mergeldolomite               | 0.76              | - 0.71           | -0.23              | 0.65                | 0.75          | 0.75           | 0.71            |
| Kalkarenite, -mikrite        | 0.01              | - 0.05           | 0.04               | -0.04               | 0.01          | 0.10           | 0.06            |
| Kalkarenite, bitum.          | 0.11              | - 0.46           | 0.50               | -0.09               | 0.09          | -0.02          | 0.01            |
| Dolosparite                  | -0.13             | 0.13             | -0.19              | -0.09               | 0.99          | -0.03          | -0.05           |
| Dolosparite, bitum.          | -0.05             | - 0.02           | 0.03               | -0.06               | 0.95          | -0.09          | -0.06           |
| Dolomite, feinschichtig      | 0.28              | - 0.01           | -0.03              | -0.01               | 0.18          | -0.01          | -0.03           |
| Stromatolithe                | 0.19              | 0.09             | -0.13              | -0.08               | 0.72          | -0.03          | -0.03           |
| Messerstichkalke, -dolomite  | -0.05             | - 0.01           | -0.02              | -0.05               | 0.17          | 0.21           | 0.23            |
| Riffkernfazies               | -0.16             | - 0.48           | 0.50               | -0.30               | 0.65          | 0.04           | 0.01            |
| Riffschuttfazies             | -0.19             | - 0.43           | 0.47               | -0.46               | 0.15          | -0.18          | -0.09           |
| Grüne Mergelkalke, -dolomite | 0.53              | - 0.57           | 0.52               | -0.20               | 0.34          | 0.56           | 0.02            |
| Schwarze Brekzie             | 0.13              | 0.32             | -0.37              | -0.24               | 0.91          | 0.54           | -0.03           |
| Dolomitspat (spätdiagenet.)  | 0.22              | - 0.29           | -0.44              | -0.03               | -0.02         | -0.01          | 0.01            |
| Störungs-, Lösungsbrekzien   | -0.08             | 0.08             | -0.49              | -0.19               | 0.99          | -0.04          | 0.05            |
| Raibler Grenzlagen           | -0.57             | 0.49             | 0.05               | 0.02                | 0.93          | -0.27          | -0.38           |
| Brauneisenkrusten            | 0.04              | - 0.12           | 0.23               | 0.04                | 0.79          | -0.43          | -0.14           |
| Raibler Tonschiefer          | 0.25              | - 0.29           | -0.20              | -0.21               | -0.15         | 0.80           | 0.30            |

halte. Demnach scheint mit der letzten Generation dieser "Zentralspäte" und ihrer grobkristallinen Kluftfüllungen auch die spätdiagenetische Erzzufuhr und metasomatische Mobilisation des Nebengesteins abgeschlossen zu sein. Anschließende Rekristallisationen und Kornvergröberungen der Erz- und Gangminerale verließen dann offensichtlich isochemisch und ohne weitere Dispersionsvorgänge ab.

Über die Ausdehnung von Dispersionsbereichen geben Detailprofile in der Umgebung von Erzkörpern Aufschluß. Es zeigt sich hierbei immer wieder (Kranz 1970, Zeller 1970, Krische 1972), daß die Reichweiten der Zink- und Blei-Dispersionsen im karbonatischen Nebengestein der Vererzungen sehr gering sind. Meist werden bereits nach wenigen dm, seltener nach m die Background-Werte erreicht, so daß selbst in Lagerstättenbereichen mit umfangreichem Bergbau das Nebengestein Zn- und Pb-Gehalte aufweist, die auch in unvererzten Profilen vorherrschen. Ähnlich geringe Zink-Dispersionsweiten haben auch Lavery & Barnes (1971) von amerikanischen Pb-Zn-Lagerstätten beschrieben.

Die Abhängigkeit der Zink- und Blei-Gehalte von der Entfernung eines Erzkörpers gibt Abb. 6 wieder. Dieses Profil wurde in einem Stollen beprobt, der  $\pm$  senkrecht eine Vererzungszone (bei 0 m und Punkt 5228) durchfahren hat (Bergbau Mežica, Revier Navršnik, 12. Lauf). Es wird deutlich, daß die Zink-Gehalte mit der Entfernung vom Erzkörper  $\pm$  exponentiell abnehmen, und bereits nach ca. 10-12 m den Background erreichen. Eng begrenzte Maxima, die wie Oszillationen den Background unterbrechen, dürften auf unbedeutende Kluftmineralisationen zurückzuführen sein. Bei bereits primär geringen Gehalten erreicht die Blei-Dispersion - auch wegen der geringeren Migrationsfähigkeit dieses Elements - an diesem Erzkörper nur untergeordnete Bedeutung. Lavery & Barnes (1971) haben die unterschiedlichen Gradienten derartig empirisch

gewonnener Dispersionskurven ausführlich diskutiert.

Die erhöhten Zink- und z. T. Blei-Gehalte der hier untersuchten diskordanten Anomalien dürften teilweise im Karbonatgitter der spätdiagenetischen Gefüge (Lösungsbrekzien) gebunden sein. Bei stark erhöhten Zink-Werten lassen sich feinverteilte Zinkblende-Körnchen z. B. im Dolosparit nachweisen. Außerdem beteiligt sich die Zinkblende neben Kalkspat und Dolomitspat an der Zementation kleiner Hohlräume und an der Füllung mm-feiner Klüfte und Gängchen. Hierbei tritt neben ZnS-Kornzement teilweise auch "Schalenblende-Zement" auf.

## 6. GENETISCHE HINWEISE

Die stratiformen Zink- und Blei-Anomalien in der "Sonderfazies" des obersten Wettersteinkalkes, im "Raibler Grenzlager" sowie in den unteren Raibler Tonschiefern dürften bereits mit der Sedimentation und Frühdiagenese dieser Horizonte entstanden sein. Darauf weist vor allem ihre weitreichende Verbreitung - auch in unvererzten Profilen weitab jeder Lagerstätte - hin. Außerdem geschieht die Lithifizierung von Karbonatgesteinen meist frühzeitig, ohne Druck (Erhaltung der Biogene) und noch bei  $\pm$  exogener Zementation, so daß weitreichende Zink- und Blei-Wanderungen und deren schichtige Akkumulation in den Phasen der Spätdiagenese, bei dem nun geringen Porenraum, kaum vorstellbar sind.

Die stratiformen Anomalien sind damit Zeitmarken für kurzfristig erhöhte Zink- und Blei-Zufuhren in die Karbonatplattform des obersten Wettersteinkalkes und in die pelitische, bituminöse Mergelfazies der unteren Raibler Tonschiefer. Im Grenzbereich Ladin/Karn waren zumindest periodisch erhöhte Schwermetallgehalte im Flachwasser-Bereich der Lagunen und in den frühdiagenetischen Porenlösungen vorhanden, und konnten durch Adsorption an die Tonminerale, durch

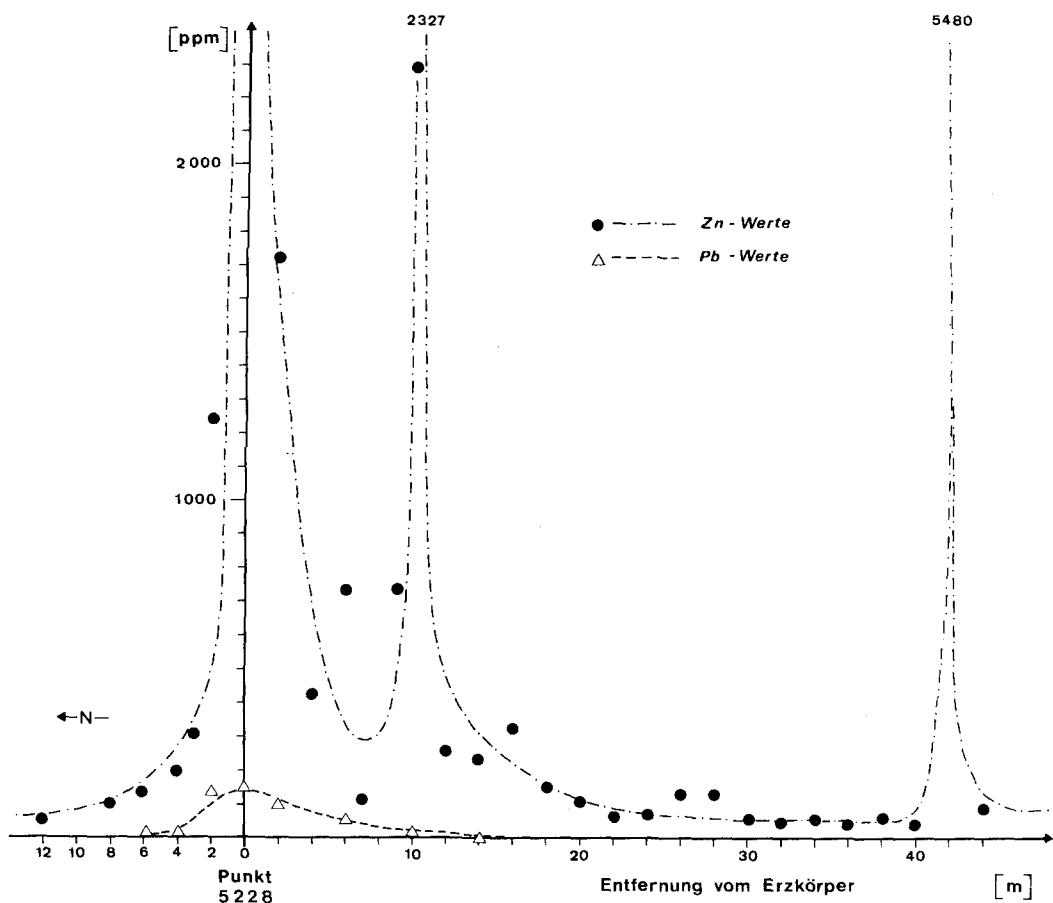


Abb. 6. Intensität und Reichweite der Zink-Dispersion an einem Erzkörper (Mežica, Narvšnik 12. Lauf)

Kopräzipitation mit dem Karbonat (vgl. Roberts 1971) oder als Sulfid (partiell sapropelitisches Milieu im Bodenwasser oder in den frühgenetischen Porenlösungen) im Sediment fixiert werden. Es erscheint nahezu ausgeschlossen, daß die "normalen" Gehalte des Meerwassers (10 ppb Zn und 0.03 ppb Pb) feststellbar erhöhte Konzentrationen im Sediment erzeugt haben könnten.

Die allgemein sehr geringen Zink- und Blei-Background-Werte belegen, daß der Wettersteinkalk selbst, oder seine stratigraphischen Äquivalente als Zink- oder Blei-Lieferanten kaum in Frage kommen. Diese Werte zeigen vielmehr,

daß ein Auftreten von schichtgebundenen Lagerstätten nicht notwendigerweise auch eine Erhöhung der Background-Gehalte in den entsprechenden Schichtgliedern zur Folge hat.

Die diskordanten Zink- und Blei-Anomalien entstanden während der Vererzung im primär "tauben" Nebengestein. Dabei bildeten sich in Abhängigkeit von den spätdiagenetischen Lösungsumsetzungen (Porosität und Permeabilität des Gesteins) unterschiedliche Dispersionsaureolen mit bestimmten Konzentrations-Gradienten. Das allgemein sehr geringe Zink- und Blei-Background-Niveau blieb hiervon offensichtlich unberührt, da die Lösungseinflüsse über

den unmittelbaren Vererzungsbereich nicht hinausgingen.

Die vorliegenden Ergebnisse lassen eine eindeutige geochemische Disposition für das Vorkommen von Vererzungen nicht erkennen. Erzkörper treten nur dann nicht auf, wenn Mergel-einschaltungen in den Karbonatgesteinen häufiger werden, wie z. B. in den Arlbergschichten oder Partnachschichten. Die Vererzungen können in kalk- wie dolomitreichen Profilabschnitten vorkommen. Sedimentation und Frühdiagenese führten im Wettersteinkalk offensichtlich nicht zu wirtschaftlich bedeutenden Erzanreicherungen. Denn in den Lagerstätten treten schichtige Erzkörper mengenmäßig stark zurück. Erst spätere diagenetische Prozesse konnten Zink- und Blei-Gehalte zur Bauwürdigkeit konzentrieren und diskordante Erzkörper in tektonisch vor-gezeichneten Störungszonen oder strukturell bedingten Hohlräumen entstehen lassen.

Die Entwicklung erhöhter Metallgehalte in den Riff-Lagunen und den "tide-pools" des oberen Ladin erreichte offensichtlich im Niveau der "Sonderfazies", in der weitverbreiteten Sulfidfällung des Raibler Grenzlagers und den hohen Zn- und Pb-Gehalten der Raibler Tonschiefer ihren Höhepunkt. Dies dürfte auch der Zeitpunkt für die umfangreichen Vererzungen in den tiefer gelegenen, nun schon lithifizierten Stockwerken des oberen Ladin gewesen sein. Besonders günstige Voraussetzungen für die Bildung größerer Metallanreicherungen besitzen m. E. Riffhohlräume, Kavernen und Karstschlotten im unmittelbaren Küstenbereich, die den Formationswässern und auch (?) metallführenden Thermen zugänglich waren.

Herrn Prof. Dr. H. -J. Schneider (Berlin) sei herzlich für Anregung und Betreuung dieser Arbeit gedankt. Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe "Buntmetallvererzungen in der Mittel-Trias der Ostalpen", insbesondere den Herren Prof. Dr. L. Kostelka (Klagenfurt),

Dr. W. Münch (Rom) und Dr. I. Štruc (Mežica), ist für zahlreiche Hinweise und die Auswahl geeigneter Profile in den Grubenbetrieben von Bleiberg, Raibl und Mežica zu danken. Unterstützung apparativer und finanzieller Art wurde dankenswerterweise über Herrn Prof. Dr. H. -J. Schneider durch das DFG-Forschungsvorhaben "Schichtgebundene Pb-Zn-Vorkommen in der kalkalpinen Trias der Ostalpen" (im kalkalpinen Trias der Ostalpen" (als Beitrag zum IGCP-Projekt Nr. 73/I/6) gewährt.

## LITERATUR

- Bechstädt, T.: Zyklotheme im hangenden Wettersteinkalk von Bleiberg-Kreuth (Kärnten, Österreich). Veröff. Univ. Innsbruck Bd. 86 (Festschrift Heißel), 25-55 (1973)
- Cardich-Loarte, L. A., Schroll, E.: Die Verteilung und Korrelation einiger Elemente in einem Erzkalkprofil der Bleiberger Fazies (Bleiberg/Kärnten - Rudolfschacht). Tschermaks Min. Petr. Mitt. 20, 59-70 (1973)
- Eppensteiner, W.: Studien über Sedimentation und Diagenese des Oberen Wettersteinkalkes in Bleiberg-Kreuth (Kärnten). Diss. Univ. Wien, 89 S. Wien 1970
- Friedrich, G.: Anwendung und Ergebnisse moderner Methoden bei der geochemischen Exploration. Schriften der GDMB, H. 21, 58-75 (1968)
- Germann, K.: Reworked dolomite crusts in the Wettersteinkalk (Ladinian, Alpine Triassic) as indicators of early supratidal dolomitization and lithification. Sedimentology 20, 257-277 (1969)
- Grobelšek, E.: Uporaba geokemije pri reziskavah v rudnika Mežica. Nova proizvodnja (Ljubljana) 2-3, 1-7 (1962)
- Hofmeister, E., Simon, P., Stein, V.: Blei und Zink im Trochitenkalk (Trias, oberer Muschelkalk) Nordwest-Deutschlands. Geol. Jb. D1, 103 S. Hannover (1972)

- Kostelka, L., Niedermayr, E.: Mögliche Beziehungen zwischen der Verteilung der Zn-Halte und den Pb-/Zn-Vererzungen in der Trias der Draukalkalpen in Österreich. 120 - 127 in Metallogenetische und Geochemische Provinzen, Symp. d. IGCP 1972. Petrascheck, W. E., Editor, Wien-New York: Springer 1973
- Kranz, J. R.: Petrographische und geochemische Untersuchungen von Nebengestein und Vererzung der Blei-Zink-Vorkommen Gsüttalpe/Lech in Vorarlberg. Unveröff. Diplomarbeit, Freie Univ. Berlin, 60 S., Berlin (1970)
- Die Strontium-Verteilung in den Arlbergschichten (Oberes Ladin) des Klostertales (Vorarlberg)/Nördliche Kalkalpen. N. Jb. Geol. Paläont. Mh. H. 2, 170-187 (1973)
  - Geochemische Charakteristik des erzhöflichen Oberen Wettersteinkalkes (alpine Mitteltrias) der Ostalpen. Diss FU Berlin, 219 S. Berlin: Universitätsdruckerei (1974)
- Krische, E. -U.: Geochemische Untersuchungen der erzhöflichen Sedimentserien im Bereich der Pb-Zn-Lagerstätte Gorno (Bergamasker Alpen), Nord-Italien. Unveröff. Diplomarbeit FU Berlin, 57 S., Berlin (1972)
- Lavery, N. G., Barnes, H. L.: Zinc dispersion in the Wisconsin zinc-lead district. Econ. Geol. 66, 226-242 (1971)
- Lepeltier, C.: A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. Econ. Geol. 64, 538-550 (1969)
- Maucher, A.: Die Deutung des primären Stoffbestandes der kalkalpinen Pb-Zn-Lagerstätten als syngenetische sedimentäre Bildung. Berg- u. Hüttenmänn. Mh. 102, 226-229 (1957)
- Roberts, W. M. B.: Dolomitization and the genesis of the Woodcutters lead-zinc prospect, Northern Territory, Australia. Mineral. Deposita 8, 35-56 (1973)
- Sarnthein, M.: Versuch einer Rekonstruktion mitteltriadischer Paläogeographie um Innsbruck, Österreich. Geol. Rdsch. 56, 116-127 (1967)
- Schneider, H. -J.: Neue Ergebnisse zur Stoffkonzentration und Stoffwanderung in Blei-Zink-Lagerstätten der nördlichen Kalkalpen. Fortschr. Miner. 32, 26-30 (1954)
- Facies differentiating and controlling factors for the depositional lead-zinc concentration in the Ladinium geosyncline of the Eastern Alps. 29-45 in Sedimentology and ore genesis. Amstutz, G. C., Editor, 2, 184 p. Amsterdam-New York: Elsevier 1964
- Schroll, E.: Über den Wert geochemischer Analysen bei stratigraphischen und lithologischen Untersuchungen von Sedimentgesteinen am Beispiel ausgewählter Profile der ostalpinen Trias. Acta Geol. Geogr. Univ. Comeniana (Bratislava) 18, 315-330 (1967)
- Schulz, O.: Beispiele für sedimentäre Vererzungen und paradiagenetische Formungen im älteren Wetterstein-dolomit von Bleiberg-Kreuth. Berg- u. Hüttenmänn. Mh. 105, 1-11 (1960)
- Vergleichende petrographische Untersuchungen an karnischen Sedimenten der Julischen Alpen und des Karwendels. Verh. Geol. Bundesanst., 1970, 165-229 (1970)
- Taupitz, K. C.: Erze sedimentärer Entstehung auf alpinen Lagerstätten des Typs "Bleiberg". Erzmetall 7, 343-349 (1954)
- Treuil, M., Fauchere, J.: Contribution à l'étude du comportement géochimique de quelques éléments métalliques dans la sédimentogenèse. Mineral. Deposita 5, 1-22 (1970)
- Wedepohl, K. H.: Zinc and lead in common sedimentary rocks. Econ. Geol. 66, 240-242 (1971)
- Wilson, J. L.: Characteristics of carbonate-platform margins. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 58, 810-824 (1974)

Zeller, M.: Tektonik, Gebirgsschläge  
und Vererzung im Blei-Zinkbergbau  
Raibl (Cave del Predil), Italien,  
Diss. FU Berlin, 114 S. München:  
Mikrokopie 1970

Eingegangen am 22. 5. 1975

Dr. J. R. Kranz  
z. Zt. Metallgesellschaft AG,  
Reuterweg 14,  
D-6000 Frankfurt am Main 1