

J. R. KRANZ — Strontium — ein Fazies-Diagenese-Indikator im Oberen Wettersteinkalk

Strontium — ein Fazies-Diagenese-Indikator im Oberen Wettersteinkalk (Mittel-Trias) der Ostalpen

Von JÜRGEN R. KRANZ, Berlin *)

Mit 9 Abbildungen und 4 Tabellen

Zusammenfassung

921 Proben von 18 Standard-Profilen des Oberen Wettersteinkalkes (Ober-Ladin/Unter-Karn) und seiner stratigraphischen Äquivalente „Partnachschichten“ und „Arlbergschichten“ wurden mit Hilfe der AAS auf Ca, Mg und Sr analysiert. Es wurden die Strontium-Verteilungen in den unterschiedenen Faziesbereichen (Riff-, Rand-, Lagunen- und Beckenfazies) und die Einflüsse von Diagenese, Salinität, Tongehalt und Dolomitierung auf diese Verteilungen untersucht.

Im Vergleich mit rezenten Karbonaten sind die Strontium-Mittelwerte in fast allen Faziesbereichen sehr gering (um 100—200 ppm). Diese intensive Strontium-Verarmung wurde wahrscheinlich durch Frischwasser-Einflüsse während verschiedener Diagenestufen verursacht. Zum Hangenden (Raibler Schichten/Karn) treten in der Lagunen- und Randfazies Horizonte mit hohen Sr-Gehalten auf (1000—6000 ppm), fallweise auch Coelestin, der als Indikator für evaporitische Sedimentationsbedingungen in arider Umgebung gelten kann.

Abstract

921 samples collected from 18 standard profiles of the Upper Wettersteinkalk (Upper Ladinian/Lower Carnian) and the corresponding "Partnachschichten" and "Arlbergschichten" were analysed with aid of AAS for Ca, Mg and Sr. Additional the HCl-insoluble was detected. The strontium-distributions in different facies types (i. e. reef, reef-margin, lagunal and basin facies) and the influences of diagenesis, salinity, clay content and dolomitization on these distributions were investigated.

In nearly all facies areas the Sr means are very low (100—200 ppm) compared with recent carbonates. This strong diminution of Sr was caused by fresh-water influence during different stages of diagenesis. Approaching the Raibler Schists (Carnian) the lagunal and reef-margins facies contain horizons with high Sr values (1000—6000 ppm) and sometimes celestite, which indicates evaporitic sedimentary conditions in an arid climatic environment.

Résumé

921 échantillons provenant de 18 coupes du Wettersteinkalk supérieur (sup. Ladinien/inf. Carnien) et de ses équivalents stratigraphiques « Partnachschichten » et « Arlbergschichten » ont été analysés à l'aide de l'AAS pour Ca, Mg et Sr. On a examiné la distribution du strontium dans les différents facies lithologiques (p. e. facies récifaux, de bordure, de lagune, de plate-forme carbonatée) et les influences exercées par la diagenèse, la salinité, la teneur en argile et la dolomitisation sur ces distributions.

Comparées aux carbonates récents les concentrations en strontium sont très pauvres (de 100 à 200 ppm). Cet appauvrissement intensif en Sr fut produit vraisemblablement par les influences de l'eau douce (eau souterraine ou vadose) au cours des différents stades de la diagenèse. Vers les strates de Carnien (Couches de Raibl) les coupes du Wettersteinkalk supérieur contiennent des horizons avec une grande quantité de strontium (1000—6000 ppm), et quelquefois aussi de la célestine, ce qui indique des conditions évaporitiques de la sédimentation dans un entourage aride.

*) Anschrift des Verfassers: Dr. J. R. KRANZ, Institut für Angewandte Geologie der FU Berlin, 1 Berlin 33, Wichernstr. 16.

Aufsätze

Краткое содержание

Проанализировали 921 породу из 18-ти стандартных профилей верхнего известняка белемнитов (верхний ладин-нижний карн) и его стратиграфических эквивалентов: слоев «Партнах» и «Арлберг» с помощью AAS на содержание Ca, Mg и Sr. Определили распределение стронция в различных фациях (рифовых, краевых, лагунных и бассейна) и влияние диагенеза, солености, содержания глин и доломитизации на это распределение.

По сравнению с реентными карбонатами содержание средних величин стронция во всех фациях очень незначительно, до 100–200 ppm. Такое сильное обеднение стронцием вызвано, вероятно, влиянием пресных вод на различных стадиях диагенеза. В кровле (слои Райблер в карне) наталкиваются на повышенные содержания стронция в лагуновых и краевых фациях (до 1000–6000 ppm), а порой и на целестин, который можно рассматривать, как индикатор эвапористских условий осадконакопления при аридном климате.

1. Einleitung

Strontium ist in den letzten Jahren zu einem relativ häufig in rezenten und fossilen Karbonatgesteinen bestimmten Spurenelement geworden. Es ist mit 8,1 ppm im Meerwasser vorhanden und wird während der Karbonatsedimentation bevorzugt in den physiko- oder biochemisch gefällten Aragonit eingebaut. Durch die eingehenden Untersuchungen von G. MÜLLER (1962), FLÜGEL & WEDEPOHL (1967), BAUSCH (1965, 1968), KINSMAN (1969), VEIZER & DEMOVIĆ (1971, 1974) u. a. wurden die Grundzüge der Strontium-Verteilungen in faziell unterschiedlichen Karbonatgesteinen und deren Veränderungen während der Diagenese bekannt.

Die hier referierten Ergebnisse sind Teil einer breiter angelegten systematischen geochemischen Analyse der mitteltriassischen Pb-Zn-erzhöflichen Karbonatplattform des oberen Wettersteinkalkes in den nördlichen und südlichen Ostalpen (KRAZ, 1974), durch die neue Aussagen über Zusammensetzung, Bildungsbedingungen und Veränderungen der Karbonatgesteine des Wettersteinkalkes und seines Erzinhaltens erarbeitet werden konnten. An diesen Untersuchungsergebnissen besitzen die Daten der Strontium-Geochemie einen wesentlichen Anteil.

Es wurden 18 Schichtprofile unterschiedlicher Faziesausbildung im Bereich der Erzvorkommen und auch im unvererzten Wettersteinkalk systematisch probiert (Probenabstand meist 2–5 Schichtmeter). Fallweise wurde dieses Probenschema durch eine differenzierte Probennahme bestimmter Faziesausbildungen erweitert. Insgesamt kamen 921 Proben zur Untersuchung. Die Analysen dieser Karbonatgesteine wurde mit Hilfe der AAS im HCl-löslichen Anteil ausgeführt, wobei die Elemente Calcium, Magnesium und Strontium bestimmt wurden. Der HCl-unlösliche Rückstand, der überwiegend dem Tonanteil (\pm Quarz, zum Teil auch Bitumen) entspricht, wurde gravimetrisch ermittelt. Die statistische Auswertung der Analysendaten erfolgte mit EDV.

Aus dem oberen Wettersteinkalk der Nordalpen lagen zu Beginn dieser Arbeit bereits Einzelanalysen auf Strontium vor (SCHNEIDER, 1953, und frdl. mündl. Mitt.), die Anhaltswerte gaben, und Ansatz und Fragestellungen der vorliegenden Untersuchung mitbegründeten. Ergebnisse der Analysen aus dem Bereich der Arlbergschichten/Klostertal (Vorarlberg) wurden bereits vorab mitgeteilt (KRAZ, 1973).

Erste systematische Strontium-Analysen bzw. die ersten Reihenanalysen von triadiischen Schichtenfolgen in den Ostalpen überhaupt verdanken wir SCHROLL (1967, 1970),

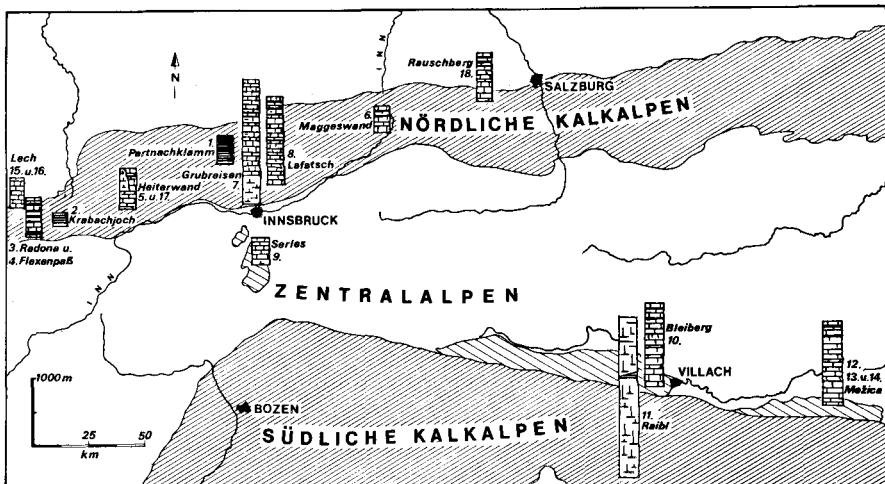


Abb. 1. Übersichtsskizze zum Untersuchungsbereich; Lage der beprobenen Standard-Profile.

der drei Profile in den karnischen Raibler Schichten untersuchte. Inzwischen liegen auch Strontium-Analysen zweier Schichtprofile des erzführenden Wettersteinkalkes von Bleiberg-Kreuth vor (CARDICH-LOARTE & SCHROLL, 1973).

2. Fazielle Ausbildung der untersuchten Sedimente

Zur lithologischen Abgrenzung, Gliederung, Mächtigkeit und Altersstellung des ladinischen Wettersteinkalkes in den Nordalpen vgl. SARNTHEIN (1967), GERMAN (1969) u. a.; für den Bereich der Südälpen siehe EPPENSTEINER (1970), BECHSTÄDT (1973) u. a.

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. „Partnachschichten“ (Partnachklamm/Garmisch), oder einer plattig-gebankten Folge mit Mergeleinschaltungen vom Typ der „Arlbergschichten“ (Klostertal/Vorarlberg), die sich mit dem Wettersteinkalk seitlich verzahnen. Der Ablagerungsraum der ladinischen Geosynklinale zeigt durch diese Faziesdifferenzierungen eine charakteristische paläogeographische Gliederung, deren Hauptelemente Riff-, Lagunen- und Beckenbereiche sind. Anhand reliktischer Sedimenttexturen lassen sich im Detailbereich weitere Subfaziestypen unterscheiden. Geographische Lage, fazielle Zuordnung und Mächtigkeit der untersuchten Profile sind Abb. 1 und Tab. 1 zu entnehmen.

Die Fazies der Gesteinsproben wurde bei deren Entnahme makroskopisch angesprochen. Insgesamt wurden hier 16 Faziestypen unterschieden (vgl. Tab. 3 und 4). Für die EDV der Analysenergebnisse wurden die Faziesangaben entsprechend Tab. 2 in sechsstellige Indizes verschlüsselt. Dieser Faziesschlüssel wurde auf Anregung von SCHNEIDER und in Abstimmung mit der Arbeitsgruppe „Buntmetallvererzungen in der Mittel-Trias der Ostalpen“ (im Rahmen des „International Geological Correlation Programme“ der UNESCO/IUGS) erarbeitet, um eine Normierung von Analysendaten zu erreichen.

Aufsätze

Tab. 1: Verzeichnis der untersuchten Profile.

Nr.	Bezeichnung	Lage	Fazies	Mächtigkeit (m) (Beprobem)	Strontium- Anomalien	Coelostin- Vorkommen	Aufschluß
1	Partnachklamm	Wettersteingeb.	Becken	400	150	+(Anis)	Klamm
2	Krabachjoch	Lechthaler Alpen	Becken	130	130	-	Steilwand
3	Radona	Klostertal	Rand	500	225	+++	Bachtobel
4	Flexenpaß	Klostertal	Rand	500	440	++	Paßstraße
5	Heiterwand	Lechthaler Alpen	Riff	580	230	-	Steilwand
6	Maggewand	Wendelstein/Inn	Lagune	300	135	+++	Steinbruch
7	Grubreisen	Karwendel	Lagune	1860	750	-	Steilwand
8	Lafatsch/Stefani	Karwendel	Lagune	1200	794	++	Stollen
9	Serles	Stubauer Alpen	Lagune	320	320	-	Weganriß
10	Bleiberg/Antoni	Drauzug	Lagune	1100	166	++	8. Lauf
11	Raihl	Julische Alpen	Riff	2400	1540	-	15. u. 17. Lauf
12	Mežica/Moreing	Karawanken	Lagune	1200	263	-	7. Lauf
13	Mežica/Barget	Karawanken	Lagune	1200	50	-	10. Lauf
14	Ursija Gora	Karawanken	Lagune	1200	280	-	Bohrung
15	Orneshorn/Lech	Lechthaler Alpen	Lagune	400	250	-	Bachanriß
16	Schafalpe/Lech	Lechthaler Alpen	Lagune	400	330	+	Weganriß
17	Kratzerkar	Heiterwand, —	Lagune	900	100	-	Steilwand
18	Rauschberg	Chiengauer Alpen	Lagune	700	90	+	Weganriß

Tab. 2: Fazieschlüssel für Karbonatgesteine

	1. Ziffer	2. Ziffer	3. Ziffer	4. Ziffer	5. Ziffer*
	Gesteinstyp (Geländeansprache, ggf. mit HCl)	Textur und/ oder Struktur	Fazieskennzeichen für Kalke und Dolomite	Zusätzliche mineralische Hauptkomponenten	Akkessorische Minerale
1	Kalke (vorherrschend kalkig)	massig	Arenit bis Mikrit („normaler“ Wettersteinkalk; z. B. Biopelmatik)	Tonanteil	Tonanteil
2	Dolomit (vorherrschend dolomitisch)	bankig i. Allg.	Stromatolithie i. w. S. (z. B. „käsig-kavernöse“ Krusten...“) Feinschichten u. Rhythmitie	Bitumen	Bitumen
3	Mergel/Mergelsteine (z. B. grüne Mergel u. schwarze Brekzien)	dickbankig > 1 m	Rudite (z. B. Resedimente; Schollen, Brekzien); Ooidie, Onkoide u. Pisolithe	Fluorit	Fluorit
4	Tone/Tonsteine (Tonschiefer etc.)	mittelbankig 1 m — 0,2 m dünnbankig	Organodetritus	Quarz	Quarz
5	Kieselgesteine i. A.	20 cm — 5 cm	Riffkern („Großoolith“), Kavernen, Korallen) und Riffhangschutt	Sulfate: Gips, Anhydrit	Sulfate: Gips, Anhydrit
6	.....	grobschichtig 5 cm — 1 cm	Sparit/grobspätige Fazies	Coelestin, Baryt	Coelestin, Baryt
7	.....	feinschichtig < 1 cm	Diagenetische Gefüge (z. B. „collapse structures“)	Karbonat (z. B. Ankerit)	Karbonat (z. B. Ankerit)
8	.....	.....	Tektonische Brekzien (zementiert)	Zinkblende u. Bleiglanz	Besondere Erze (z. B. Sb-Cu-As, oder oxid. Erze)
9	.....	grobkristallin	Pyrit	Pyrit	Pyrit

0 = immer „nicht bestimmt“ / keine Angabe;

* 6. Ziffer frei für Bearbeiter

Aufsätze

Als Beckenfazies werden hier die feindetritischen Mergelfolgen der „Partnachschichten“ bezeichnet. Es handelt sich vor allem um pelitische Ton-schiefer 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 (zum Teil dolomitische) Kalkarenite und -mikrite, in die häufig Mergel und Ton-schiefer eingeschaltet sind. Die Profile der Riff-Fazies (Heiterwand/Lechtaler Alpen und Raibl/Julische Alpen) werden durch lithifizierte Reste von Riffbildern — im Ladin vorwiegend Algen und Schwämme, zum Teil auch Korallen (SARNTHEIN, 1967) — und Riffbewohnern (Zweischalen 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 (zum Teil bituminös), ferner feinschichtige Dolomite, Stromatolithe i. w. S. (hier: alle supratidalen 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-Abfolgen der Lagunenfazies des obersten Wettersteinkalkes eingeschaltet, und wurden von SCHNEIDER (1964) — vor allem unter erzgenetischen Gesichtspunkten — zusammen mit Vorkommen sedimentären Flußspats und feinverteilter, sulfidischer Erzlagen unter dem Begriff „Sonderfazies“ zusammengefaßt.

Im Bereich der N-Kalkalpen ist die Sonderfazies über 100 km streichende Entfernung vom Wettersteingebirge bis zur Wendelsteingruppe verfolgbar. Im Kärntner Raum lassen sich Bildungen der Sonderfazies (hier auch „Bleiberger Fazies“) über 120 km E—W-Erstreckung nachweisen. Äquivalente grüne tonige Lagen treten auch im Bereich der Lagerstätte Raibl/Julische Alpen auf. HOLLER (1936) hatte diese grünen Horizonte und Brekzien erstmals aus dem Bereich der Lagerstätte Bleiberg beschrieben („edle Flächen“ der „Bleiberger Fazies“). Ihre Genese konnte bisher nicht zweifelsfrei geklärt werden. Es wurde vulkanischer Einfluß vermutet (SCHNEIDER, 1964; EPPENSTEINER, 1970) und die Möglichkeit supratidaler Verwitterungsprozesse diskutiert (BECHSTÄDT, 1973).

Neben den bisher genannten Faziestypen wurden außerdem als spätdiagene-tische Bildungen sekundärer, heller Calcit bzw. Dolomitspat (in Klüften und Störungszonen) sowie Störungs- und Lösungsbrekzien (sog. „collapse breccias“) be-probt, die vor allem im unmittelbaren Bereich bauwürdiger, diskordanter Erz-körper (z. B. in Raibl) vorherrschen.

3. Strontium-Verteilung in den Profilen

Mit den Abb. 2, 3 und 4 kann lediglich eine charakteristische Auswahl der Profile vorgestellt werden (vgl. KRANZ, 1974). In der ladinischen Beckenfazies (Profil Partnachklamm) liegen die Strontium-Gehalte durchgehend bei 10 ppm

Becken - Fazies, PARTNACKLAMM

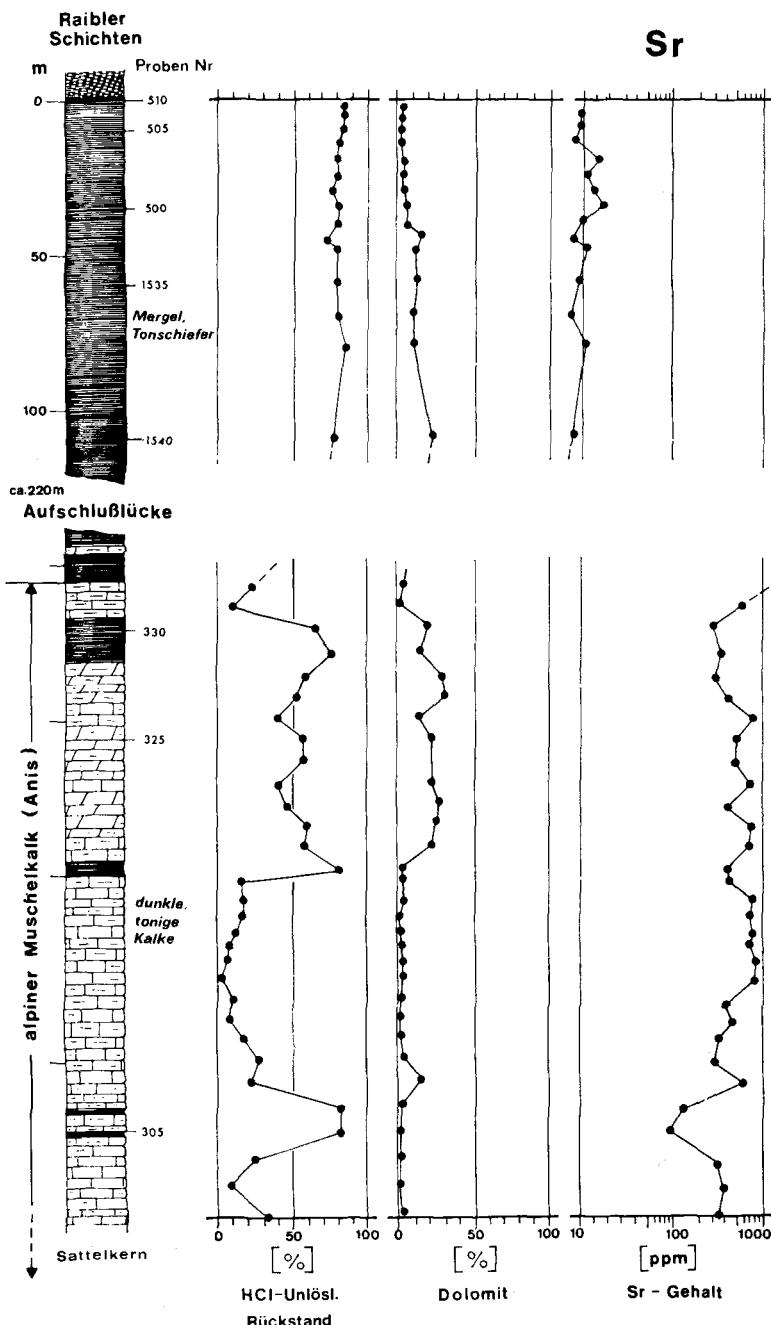


Abb. 2, 3 und 4. Fazielle und geochemische Entwicklung der Becken- und Lagunenfazies des oberen Ladin in den N- und SE-Alpen (Profile Partnachklamm/Garmisch, Lafatsch/Karwendel und Bleiberg/Drauzug).

Lagunen-Fazies, LAFATSCH

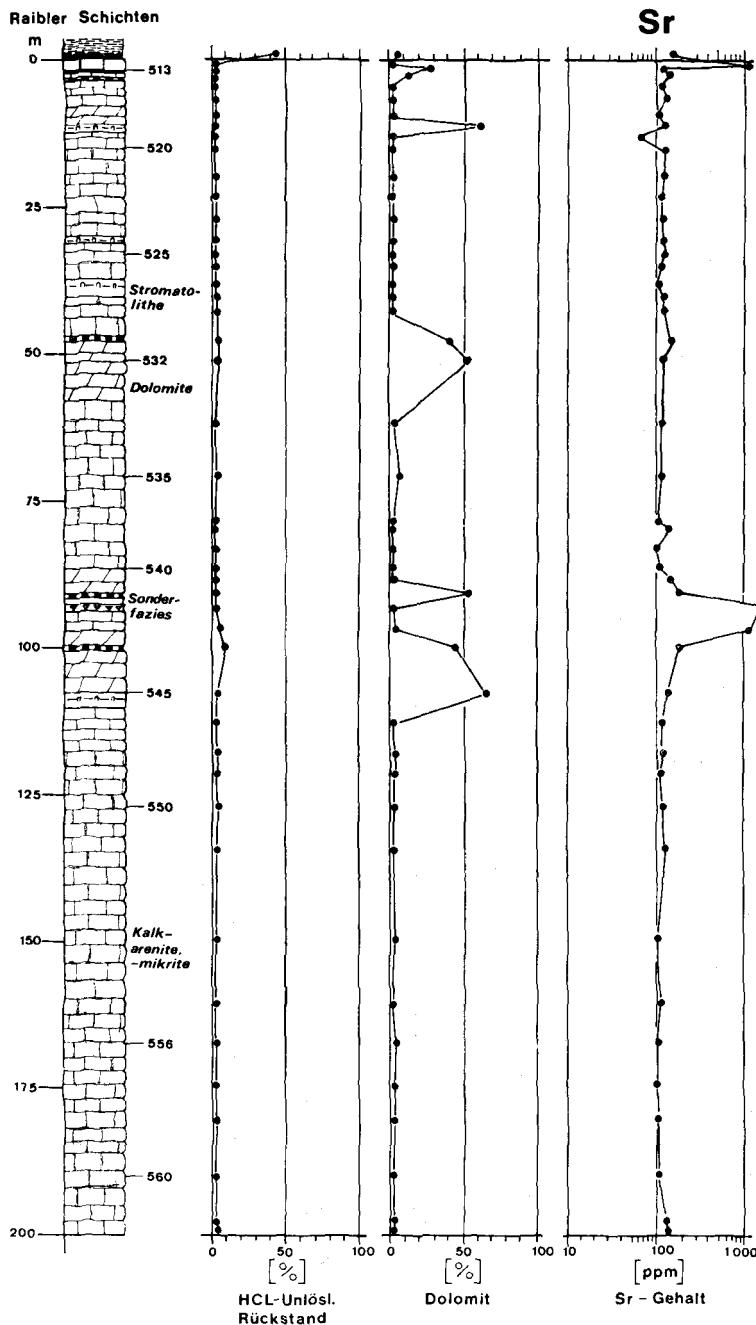


Abb. 3

Lagunen - Fazies , BLEIBERG

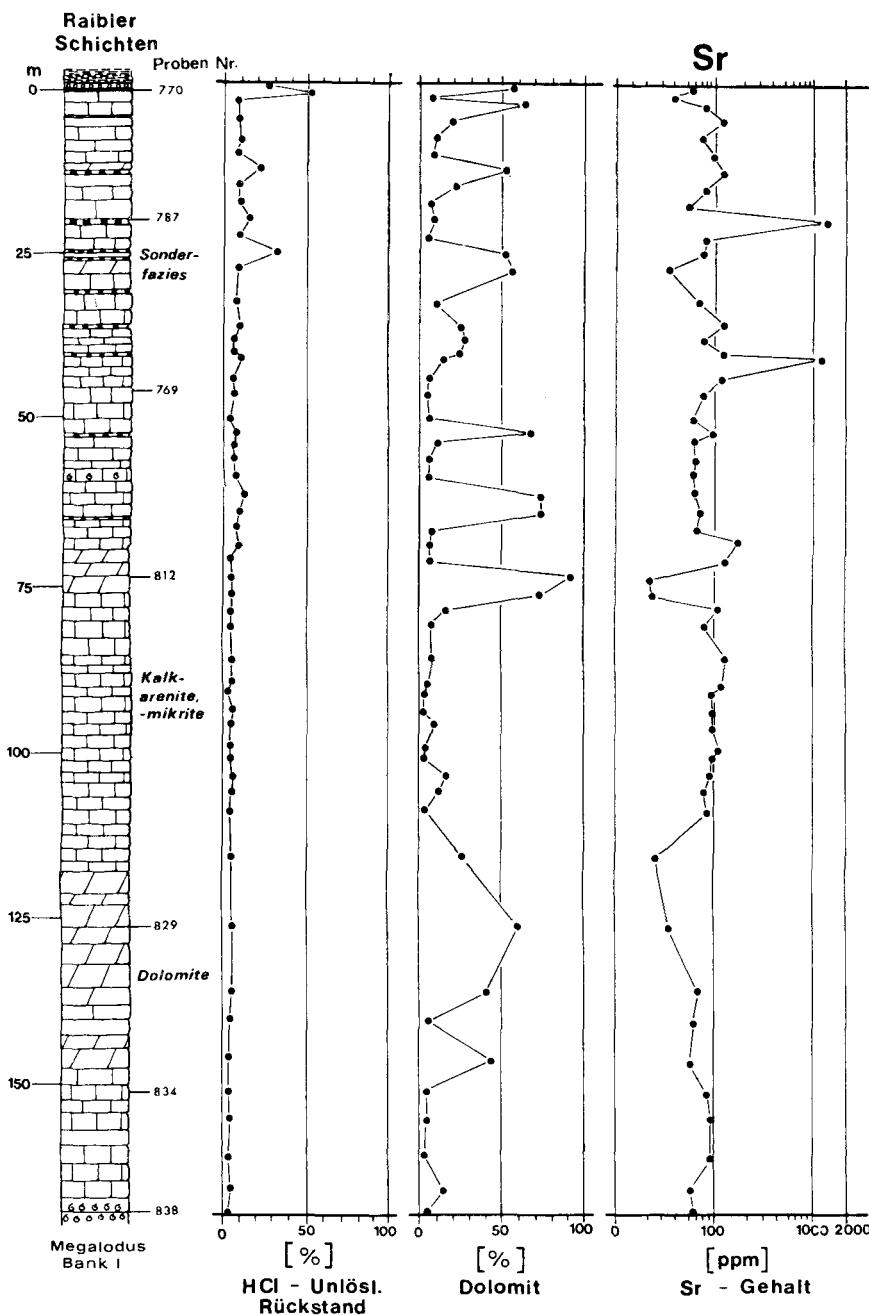


Abb. 4

Aufsätze

und variieren etwas mit dem Kalkgehalt. Der untere Abschnitt des Partnachklamm-Profiles, der im wesentlichen noch der anischen Stufe des „alpinen Muschelkalks“ zuzurechnen ist, weist Strontium-Gehalte um 300—400 ppm auf, die deutlich über den Durchschnittswerten auch der übrigen kalkreichen Ladinprofile (einschließlich Riff- und Lagunenfazies) liegen. Die obersten Horizonte des Muschelkalks erreichen Sr-Gehalte um 1400 ppm.

Einen interessanten Vergleich ermöglichen die Ergebnisse von VEIZER & DEMOVIČ (1974), die insgesamt 203 Proben verschiedener Karbonatgesteine (Trias bis untere Kreide) der Westkarpaten und des slowakischen Karst untersuchten. Die höchsten Strontium-Gehalte (722 ppm als Mittelwert von 40 Proben) besitzen hier mikritische Kalke (3% HCl-Unlös.) des (!) Oberen Anis (Mantel-Serie der Hohen Tatra).

In der Vorarlberger Randfazies treten regional weitreichend verfolgbare, Strontium-reiche Horizonte auf (KRANZ, 1973). Die Strontium-Maxima sind an einen ca. 30—40 m mächtigen Abschnitt im oberen Teil der Abfolge gebunden. Es sind meist dunkelgraue (zum Teil tonige), mikritische Kalke, in denen mikroskopisch fallweise Coelestin nachzuweisen ist. In diese Serie können bis cm-mächtige Sr-reiche Anhydrit-Lagen und -Knollen eingeschaltet sein.

Vergleichbare Strontium-reiche Sedimente mit Anhydrit-Knollen hat BUTLER (1973) von rezenten Vorkommen am Persischen Golf beschrieben. In den Arlbergschichten sind die Coelestin-Karbonatgesteine über eine streichende Länge von ca. 36 km am N-Rand des Kloster Tales zu verfolgen. Die Mächtigkeit dieser Fazies nimmt von E nach W zu und wird hierbei zum Lieferant der von G. MÜLLER (1969) in den Wässern des Alpenrheins und seiner Zuflüsse ermittelten anomalen Sr-Gehalte und Sr/Ca-Verhältnisse.

Das Profil der Riff-Fazies, Heiterwand (Westende), wird überwiegend aus einem massigen Biogenkalk aufgebaut, in dem Dolomiteinschaltungen nahezu fehlen. Die Sr-Gehalte liegen meist zwischen 100 und 200 ppm; Anomalien treten nicht auf. Auch in der Riff-Fazies der Südalen (Profil Raibl) konnten keine wesentlichen Sr-Gehalte nachgewiesen werden.

Die Profile der Lagunenfazies des oberen Wettersteinkalkes werden in den Nordalpen (Profile Lafatsch und Maggeswand) wie in den Südalen (Profil Bleiberg) durch erhöhte Strontium-Gehalte ausgezeichnet. Die Sr-Anomalien (> 500 ppm) sind an das lithostratigraphische Niveau der Sonderfazies („Bleiberger Fazies“), insbesondere an die „grünen Mergelkalke“ und „schwarzen Brekzien“, gebunden. Allerdings führt nicht jeder Horizont der Sonderfazies erhöhte Sr-Werte; schon ein geringes Ansteigen der Dolomit-Gehalte führt zu niedrigen Sr-Gehalten.

Im Profil Maggeswand (Wendelsteingruppe) erreichen die Sr-Gehalte um 1000 bis 5000 ppm und treten überwiegend in hellen Kalkareniten bzw. -mikriten (meist Biopelmikriten) auf. Fallweise können in dieser Fazies Coelestin-Lagen, -Nester oder -Putzen (ϕ 5—10 cm) vorkommen.

Im Bergbau Lafatsch sind die Strontium-Anomalien vorwiegend an den Faziestyp der „schwarzen Brekzien“ des obersten Wettersteinkalkes gebunden, in denen max. 4500 ppm Sr bestimmt wurde. Im Profil Bleiberg/Antoni (8. Lauf) erreichen die „grünen Mergel“ 1300 ppm (im sog. „Dreier Lager“ bei 19 m). Im Bergbau Mežica konnten keine hohen Sr-Gehalte festgestellt werden. Die Analysereihen von CARDICH-LOARTE & SCHROLL (1973) hatten von Bleiberg und Mežica vergleichbare Ergebnisse erbracht.

4. Auswertung der Daten

Die Histogramme der verschiedenen Faziesbereiche (Abb. 5 a und 5 b) ergeben unterschiedliche Strontium-Verteilungen, fallweise treten auch bimodale bzw. polymodale Verteilungen auf. Nach den „chemostratigraphischen“ Profilen (Abb. 2, 3 und 4) dürften diese Verhältnisse im wesentlichen auf die variierenden Hauptkomponenten Kalk, Dolomit und Ton (hier: HCl-Unlösl.) bzw. die unterschiedlichen Anteile der Faziestypen zurückzuführen sein. Ein Vergleich der Histogramme ergibt folgende wiederholt auftretende Wertebereiche:

- Sr-Gehalte mit einem Verteilungsmaximum zwischen 10 und 50 ppm. Diese Werte treten in den pelitischen Mergeln und Tonschiefern der Beckenfazies auf.
- Sr-Gehalte mit einem Verteilungsmaximum zwischen 50 und 100 ppm, die vor allem durch einen hohen Anteil von schichtigen Dolomiten in den Profilen hervorgerufen werden. Diese Wertegruppe kann in den Kalk-Dolomit-Wechselfolgen der Lagunenfazies (Grubreisen, Bleiberg, Mežica) oder auch in dolomitisierten Riffen (Raibl) vorherrschen.
- Sr-Gehalte mit einem Verteilungsmaximum zwischen 100 und 200 (zum Teil bis 250) ppm, die im wesentlichen in kalkreichen Profilen der Lagunenfazies der Nordalpen (Maggeswand) wie auch in der Riff-Fazies (Heiterwand) auftreten.
- Bei Sr-Gehalten mit einem Verteilungsmaximum zwischen 250 und 350 (400) ppm handelt es sich vor allem um Kalke mit einem höheren Tonanteil (2—10% HCl-Unlösl.), z. B. die Mergelkalke der Vorarlberger Randfazies bzw. auch die „grünen Mergel“ und „schwarzen Brekzien“ der Sonderfazies, also jene Faziestypen, die fallweise auch Sr-Anomalien (> 500 ppm) führen.

In Tab. 3 wurden Mittelwerte und Streuungen der Sr-Gehalte in den unterschiedenen Faziestypen aufgelistet. Während in Tab. 3 a sämtliche Analysendaten eingingen, wurden für Tab. 3 b lediglich Sr-Werte < 500 ppm berücksichtigt. Durch diese Eliminierung der Anomalien werden die Mittelwerte untereinander besser vergleichbar und entsprechen eher dem jeweiligen faziellen Background der einzelnen Faziestypen. Außerdem wurden in Abb. 6 die Mittelwerte und Streuungen der molaren Sr/Ca-Verhältnisse — ebenfalls für alle Sr-Werte < 500 ppm — graphisch dargestellt.

Über Korrelationsbeziehungen der Strontium-Gehalte zu den Hauptkomponenten Calcium, Magnesium und HCl-Unlösl. gibt die Tab. 4 Aufschluß. Die fazielle Beeinflussung der Sr-Werte verdeutlicht außerdem ein Dreiecksdiagramm (Abb. 7), in das die Sr-Gehalte als vierte „abhängige Variable“ mit unterschiedlichen Signaturen eingetragen sind. Erhöhte Sr-Werte und Sr-Maxima bleiben im wesentlichen auf das Kalkfeld (unter 30% Dolomit und bis ca. 20% HCl-Unlösl.) beschränkt.

5. Die Genese der Strontium-Verteilungen

Durch die grundlegenden Arbeiten vor allem von KINSMAN (1969), VEIZER & DEMOVIĆ (1971, 1974) u. a. sind wir heute in der Lage, unterschiedliche Strontium-Verteilungen in einem Karbonatgestein komplex genetisch zu interpretieren. Den wichtigsten Einfluß auf die Strontium-Gehalte in fossilen Karbonaten besitzen die lithifizie-

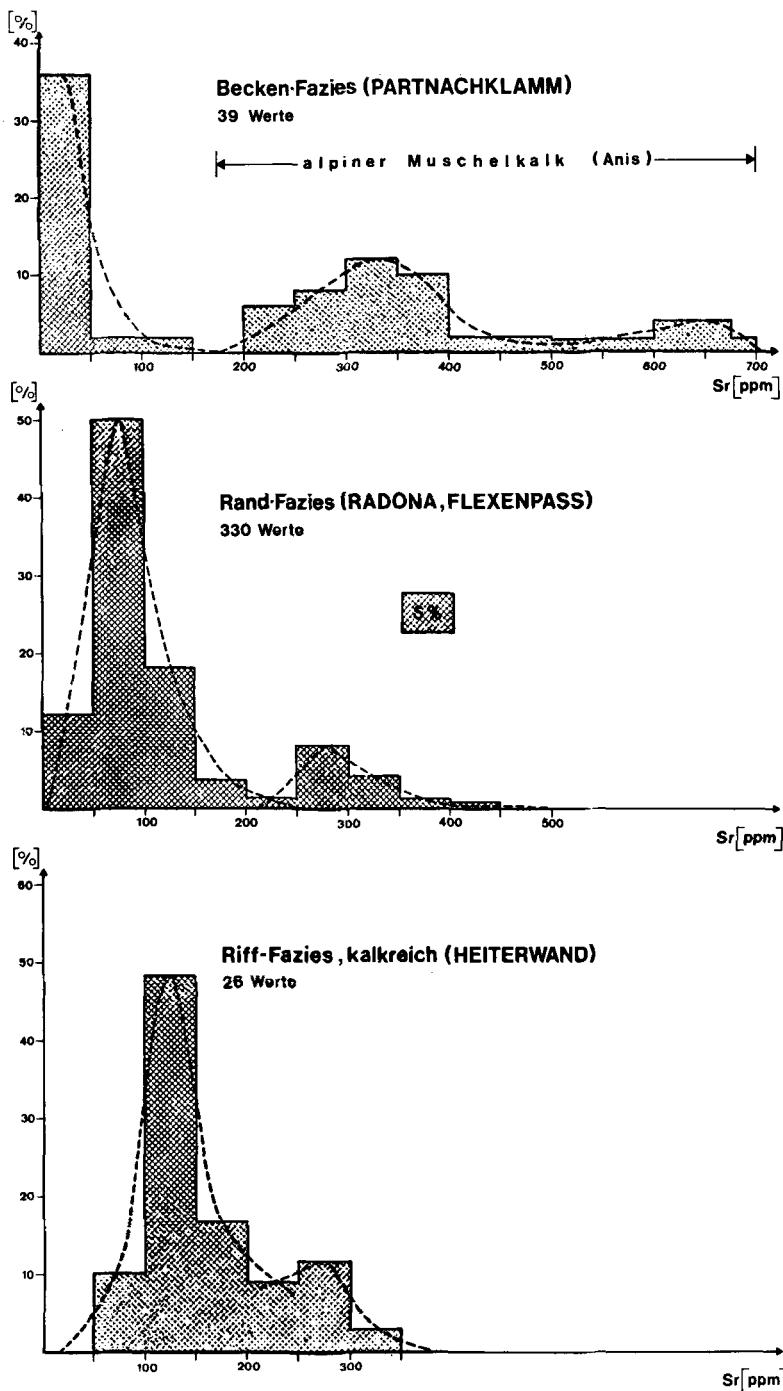


Abb. 5 a

Abb. 5 a und 5 b. Strontium-Histogramme der unterschiedenen Faziesbereiche.

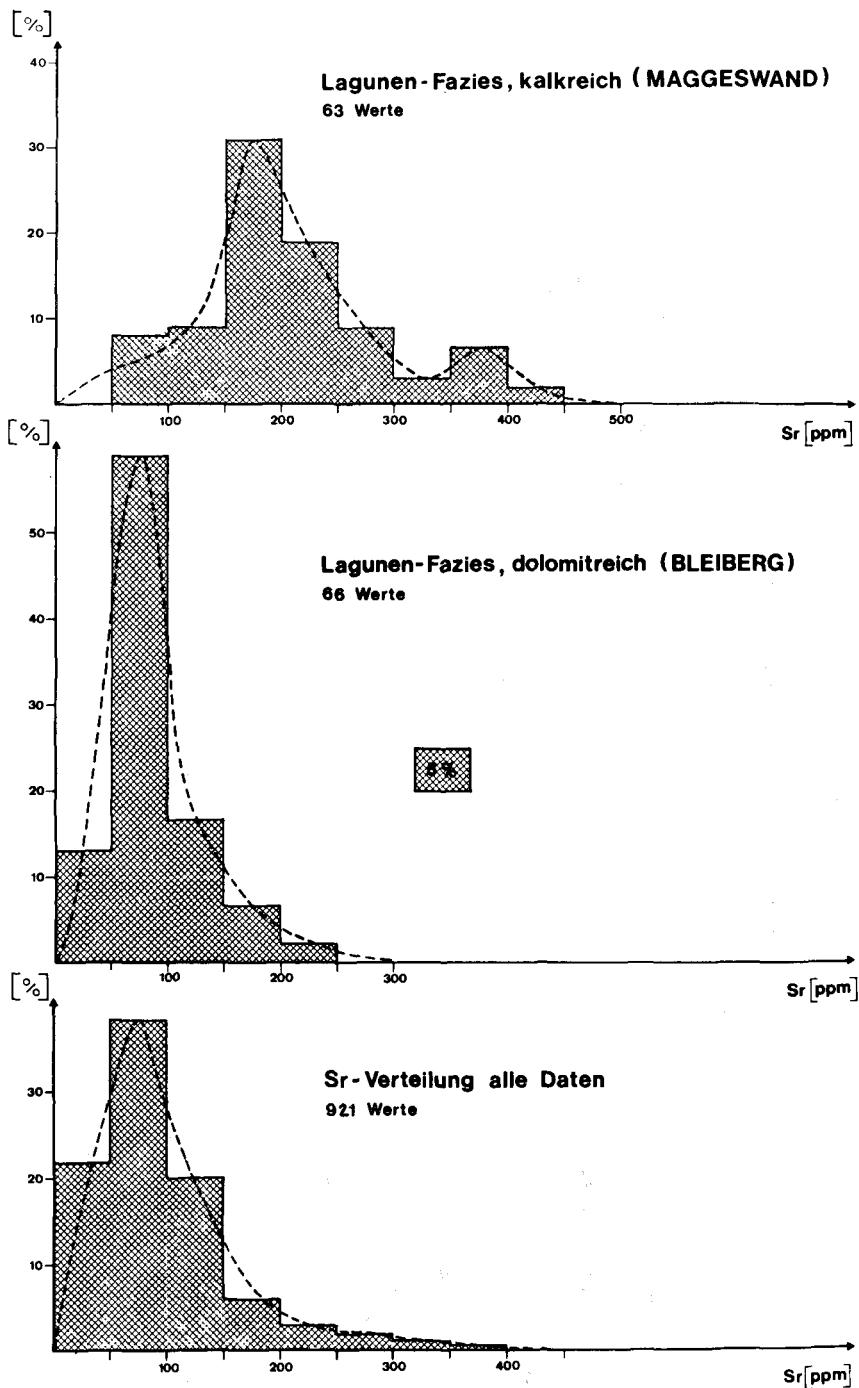


Abb. 5 b

Aufsätze

Tab. 3: Strontium-Gehalte der unterschiedlichen Faziestypen

Faziestyp: Index:*	Bezeichnung:	A: Strontium-Gehalte (alle Werte)			B: Strontium-Gehalte (Werte < 500 ppm)		
		Mittelwert (ppm)	Streuung (ppm)	Anzahl	Mittelwert (ppm)	Streuung (ppm)	Anzahl
471000	Mergel, Tonschiefer	87	187	38	63	116	36
141100	Mergelkalk	440	353	37	235	150	25
241100	Mergeldolomite	142	135	40	129	107	39
141000	Kalkarenite, -mikrite	179	509	342	112	59	275
141200	Kalkarenite, biturm.	306	496	57	149	96	49
236000	Dolosparite	45	21	57	45	21	57
236200	Dolosparite, biturm.	64	43	36	64	43	36
271000	Dolomite, feinschichtig	61	22	45	61	22	45
252000	Stromatolithite	108	59	61	108	59	61
141500	Messerstichkalke, -dolomite	132	183	46	107	73	45
115000	Riffkernfazies	110	70	32	110	70	32
115000	Riffschuttffazies	114	59	16	114	58	13
351000	Grüne Mergelkalke, -dolomite	313	541	30	194	90	20
355000	Schwarze Brückzie	586	680	16	107	46	6
216000	Dolomitspat (spätdiageten.)	41	40	16	41	40	16
217000	Störungen, Lösungsbrekzien	24	17	33	24	17	33
470000	Raibler Tonschiefer	113	133	19	113	133	19

* Faziesschlüssel nach Tab. 2.

Tabelle 4: Strontium-Korrelationskoeffizienten zu Calcium, Magnesium und zum HCl-Unlöslichen.

Faziestyp: Index:*	Bezeichnung:	HCl-Unlös. $r =$	Calcium $r =$	Magnesium $r =$	Anzahl
471000	Mergel, Tonschiefer	— 0.35	— 0.04	0.14	38
141100	Mergelkalke	0.01	0.37	— 0.10	37
241100	Mergeldolomite	0.68	— 0.57	— 0.31	40
141000	Kalkarenite, -mikrite	— 0.02	0.08	— 0.07	342
141200	Kalkarenite, bitum.	— 0.02	0.20	— 0.21	57
236000	Dolosparite	— 0.05	— 0.07	— 0.16	57
236200	Dolosparite, bitum.	0.01	0.35	— 0.36	36
271000	Dolomite, feinschichtig	0.09	0.59	— 0.07	45
252000	Stromatolith	— 0.30	0.49	— 0.46	61
141500	Messerstichkalke, -dolomite	— 0.10	— 0.03	— 0.04	46
115000	Riffkernfazies	0.50	0.39	— 0.45	32
115000	Riffschuttfaizies	0.29	0.26	— 0.32	16
351000	Grüne Mergelkalke, -dolomite	— 0.14	0.10	— 0.05	30
353000	Schwarze Brekzie	0.20	0.48	— 0.36	16
216000	Dolomitspat (spätdiagenet.)	0.62	0.93	— 0.94	16
217000	Störungs-, Lösungsbrekzien	0.42	0.37	— 0.49	33
470000	Raibler Tonschiefer	— 0.85	0.87	— 0.19	19

* Faziesschlüssel nach Tab. 2

renden Prozesse der Diagenese. Wesentlich — und zum Teil den diagenetischen Ablauf beeinflussend — sind ferner die Salinität des Ablagerungsmilieus, der Tongehalt der Karbonatsedimente und Umfang und Zeitpunkt ihrer (häufig frühdiagenetischen) Dolomitisierung (vgl. BAUSCH, 1968).

5.1 Diagenese

In rezenten Karbonatsedimenten sind die Strontium-Gehalte nach BILLINGS & RAGLAND (1967) und KINSMAN (1969) recht hoch (4000—10 000 ppm). Unter der Voraussetzung, daß sich die Sr-Konzentrationen im Meerwasser zumindest seit der Trias nicht änderten, müssen die Sedimente der Lagunenfazies des Wettersteinkalkes während ihrer diagenetischen Geschichte eine wesentliche Verringerung ihrer Sr-Gehalte erfahren haben.

Die Strontium-Verarmung diagenetisch veränderter Karbonatsedimente ist inzwischen ein an zahlreichen Beispielen beobachteter und nachgewiesener Prozeß, den vor allem KINSMAN & HOLLAND (1969) durch die Untersuchung von Lösungsgleichgewichten experimentell verifiziert haben. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen folgert KINSMAN (1969) ganz allgemein, daß Lithifizierung und Zementation von Karbonatsedimenten im wesentlichen unter dem Einfluß von Frischwasser-Porenlösungen stattfinden, zumal in den Küstenbereichen rezentner Karbonatplattformen zunehmend Regen- und Grundwasser-Einflüsse beobachtet werden können (z. B. BUTLER, 1973). Die Strontium-Verarmung tritt bei Umkristallisation der primären, metastabilen Karbonatminerale, insbesondere während der Aragonit-Calcit-Transformation — wegen der geringeren Sr-Aufnahmefähigkeit des Calcits — ein. In der ladinischen Abfolge dürften die geringen Sr-Gehalte der häufigsten Faziesgruppe der Kalkarenite/-mikrite (Verteilungsmaximum bei 100—200 ppm) im wesentlichen ein Produkt der Diagenese sein.

Aufsätze

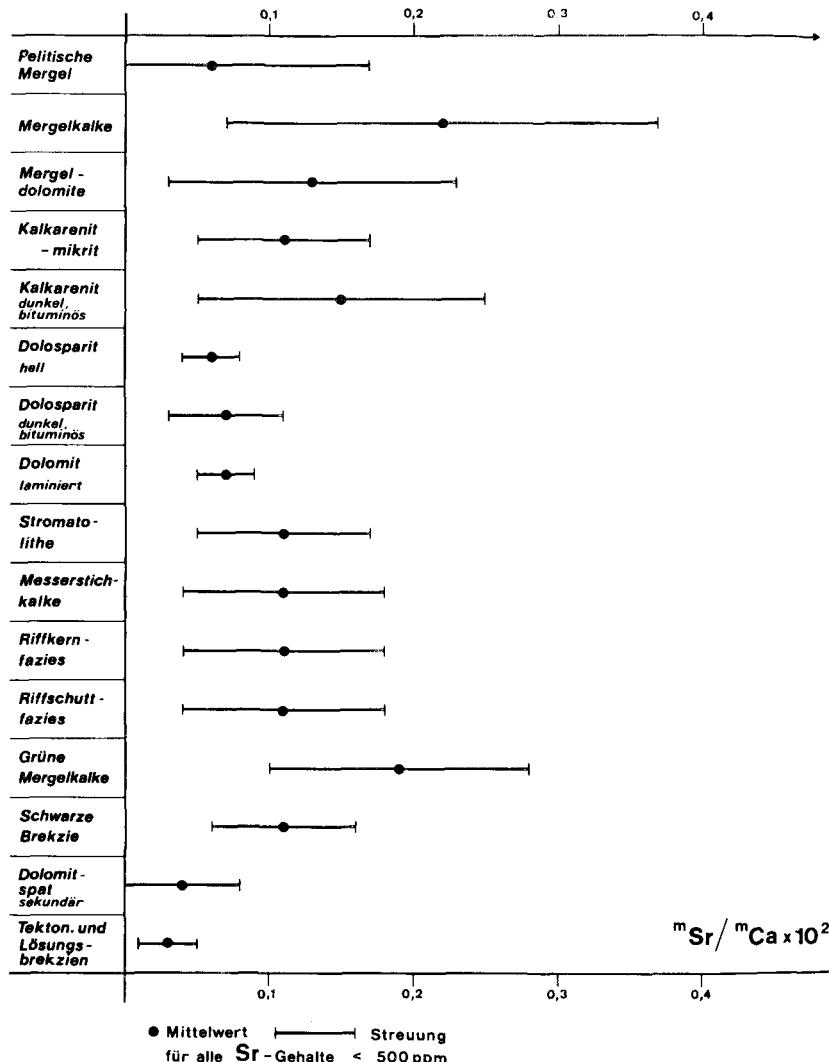


Abb. 6. Strontium/Calcium-Verhältnisse in den unterschiedenen Faziestypen.

VEIZER & DEMOVIĆ (1974) demgegenüber meinen, daß die von KINSMAN (vgl. auch FLÜGEL & WEDEPOHL, 1967) skizzierten Lösungsgleichgewichte nicht ausreichten, die niedrigen Sr-Werte fossiler Kalke zu erklären. Nach ihrer Meinung sind weniger „naß-diagenetische“ Prozesse, als vielmehr Unterschiede in der primären mineralogischen Zusammensetzung des Sediments die Ursachen dieser geringen Strontium-Gehalte.

Auch wenn nach VEIZER & DEMOVIĆ (1974) Frischwasser-Einflüsse nicht ausschließlich erforderlich sind, so kann m. E. als gesichert gelten, daß die heute niedrigen Strontium-Gehalte des Wettersteinkalkes (seiner Riff- und Lagunen-

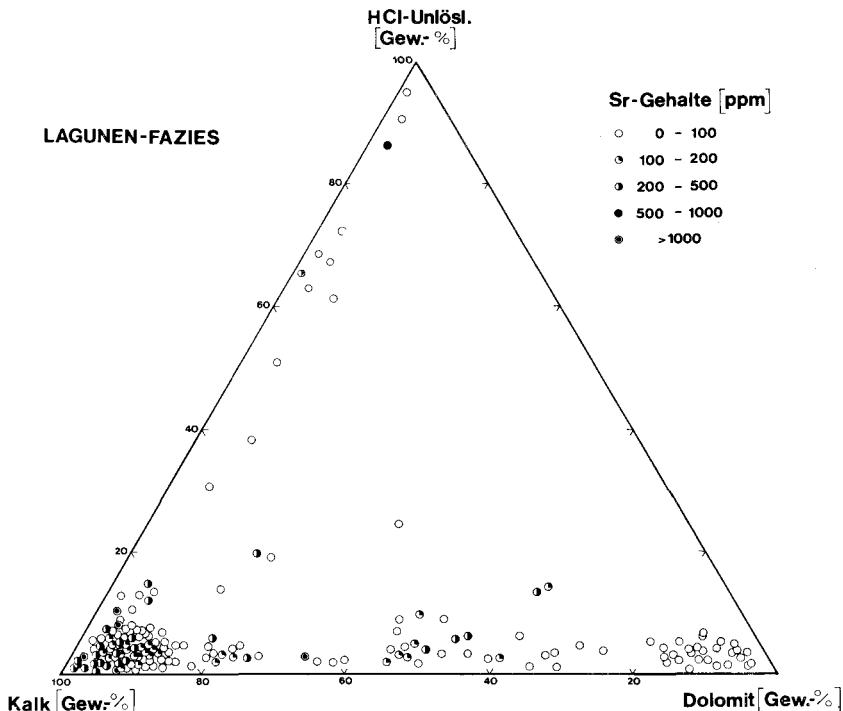


Abb. 7. Verteilung der Strontium-Werte (Lagunenfazies) im Dreiecksdiagramm Kalk/Dolomit/HCl-Ünlösliches.

fazies) auf umfangreiche Stoffverschiebungen während der Frühdiagenese zurückzuführen sind. Erdöltiefbohrungen zeigen im übrigen, daß auch in Teufen um 5000 m noch Lösungsumsätze salinarer Formationswässer stattfinden.

Folgt man dem Diagenese-Modell KNISMANS, so wurde — nachdem die Frühdiagenese zunächst submarin mit Seewasser-Porenlösungen und der Bildung einer ersten Generation von (metastabilen) Zementationsmineralen begonnen hatte — die endgültige Lithifizierung des Wettersteinkalkes und die Bildung stabiler Mineralphasen erst im Kontakt mit kontinental beeinflußten Lösungen erreicht. In jedem Fall waren die paläohydrologischen Verhältnisse von entscheidendem Einfluß auf die frühdiagenetische Karbonatchemie des Wettersteinkalkes, und es ist zumindest nicht auszuschließen, daß der Stoffbestand der heutigen, Sr-armen Ladin-Sedimente ein Stadium der „Frisch-(oder Brack-)wasser-Diagenese“ repräsentiert. In diesem Zusammenhang ist auf die Ergebnisse von FOLK & LAND (1975) zu verweisen, nach denen Frischwasser-Lösungen auch eine entscheidende Bedeutung für die Dolomit-Bildung besitzen.

5.2 Salinität

G. MÜLLER (1962) und SMYKATZ-KLOSS (1966) haben die Strontium-Gehalte in Karbonaten und Sulfaten des norddeutschen Zechsteins erörtert, aus denen allgemein hervorgeht, daß die Sr-Werte von Kalken in den Salinarformationen an-

Aufsätze

steigen. Strontium-Anomalien (> 500 — 600 ppm) und Coelestin-Vorkommen in den ladinischen Sedimenten der alpinen Trias können ebenfalls als Hinweise auf salinare Ablagerungsbedingungen gelten. Die Vorkommen von Anhydrit- und Gipslagen in den Arlbergschichten (KRANZ, 1973) und in den Profilen von Bleiberg (CARDICH-LOARTE & SCHROLL, 1973) sowie die Ausbildungen der „Messerstichfazies“ im Karwendel (SARNTHEIN, 1967) belegen, daß die Karbonate des oberen Ladin fallweise in einem evaporitischen Milieu abgelagert wurden, wobei die Salinität des Meerwassers bereits in den Grenzbereich der Sulfatabscheidung gelangte. Da die Sulfatsedimente in den Profilen mengenmäßig stark zurücktreten, wurde das Stadium der Sulfatfällung selbst offensichtlich nur in Sonderfällen erreicht. Nach den rezenten Beobachtungen von BUTLER (1973) kann Coelestin am Persischen Golf bei 3,8facher Meerwasserkonzentration gefällt werden. Die überwiegenden Strontium-Mengen werden in diesem Milieu jedoch durch Kopräzipitation an Gips oder Anhydrit gebunden.

Im Detailprofil (Abb. 8) sind Strontium- bzw. Coelestin-reiche Bänke stets an kalkreiche Profilabschnitte gebunden. Mit dem Einsetzen Dolomit-reicher Horizonte gehen die Sr-Werte auf einen niedrigen Background zurück. Dies läßt sich im Sinne von FOLK & LAND (1975) mit einem Wechsel in der Salinität des Bodenwassers interpretieren. In hypersalinen Wässern werden bevorzugt Aragonit (fallweise Mg-Calcit) mit hohen Sr-Gehalten und zum Teil auch Ca- oder Sr-Sulfate gefällt. Dolomit kann sich in diesen Wässern lediglich in Ausnahmen bilden, wenn die Mg/Ca-Verhältnisse den Wert 5—10 : 1 überschreiten. Bei geringerer Salinität ist die Dolomitmöglichkeit bereits bei niedrigen Mg/Ca-Verhältnissen (um 1 : 1) möglich. Diese Bedingungen treten bevorzugt in „schizohalinen“ (FOLK & LAND, 1975) Wässern — bei alternierendem Einfluß von hypersalinen und Frischwasser-Lösungen — in den supratidalen Bereichen der Sebkhas auf. Abnahme der Strontium-Gehalte und Einsetzen von Dolomitbänken würde dann mit abnehmender Salinität und zunehmendem Frischwasser-Einfluß zu deuten sein.

5.3 Tongehalt

Den Einfluß des Tonanteils auf die Strontium-Gehalte in Kalken hat BAUSCH (1965, 1968) ausführlich diskutiert. Am Beispiel mehrerer Profile in den süddeutschen Malmkalken konnte er zeigen, daß die Sr-Gehalte mit wachsendem Tonanteil ansteigen. Die Ursachen dieser Korrelation sieht BAUSCH in dem Adsorptivvermögen der Tonminerale, die während der Frühdiagenese einen Teil des Strontiums binden. Diese Auffassung kann durch die vorliegenden Ergebnisse nur einschränkend bestätigt werden.

Ein Vergleich der Sr/Ca-Verhältnisse (Abb. 6) der einzelnen im oberen Wettersteinkalk untersuchten Faziestypen zeigt zwar, daß gerade die tonreichen Kalke auch die höchsten Sr-Werte (und Streubereiche) zeigen, und auch die ermittelten Strontium-Anomalien bevorzugt an die Fazies der Mergelkalke (bzw. „grüne Mergel“) gebunden sind. Trotzdem lassen sich lediglich in Sonderfällen Korrelationen der Sr-Werte zum HCl-Unlös. feststellen (vgl. Tab. 4).

Offensichtlich kann unter bestimmten Bedingungen ein gewisser Tonanteil (ca. 10—20% HCl-Unlös.) eine weitgehende diagenetische Strontium-Verarmung unterbinden. Auch von den ladinischen Karbonaten kann die petrographische

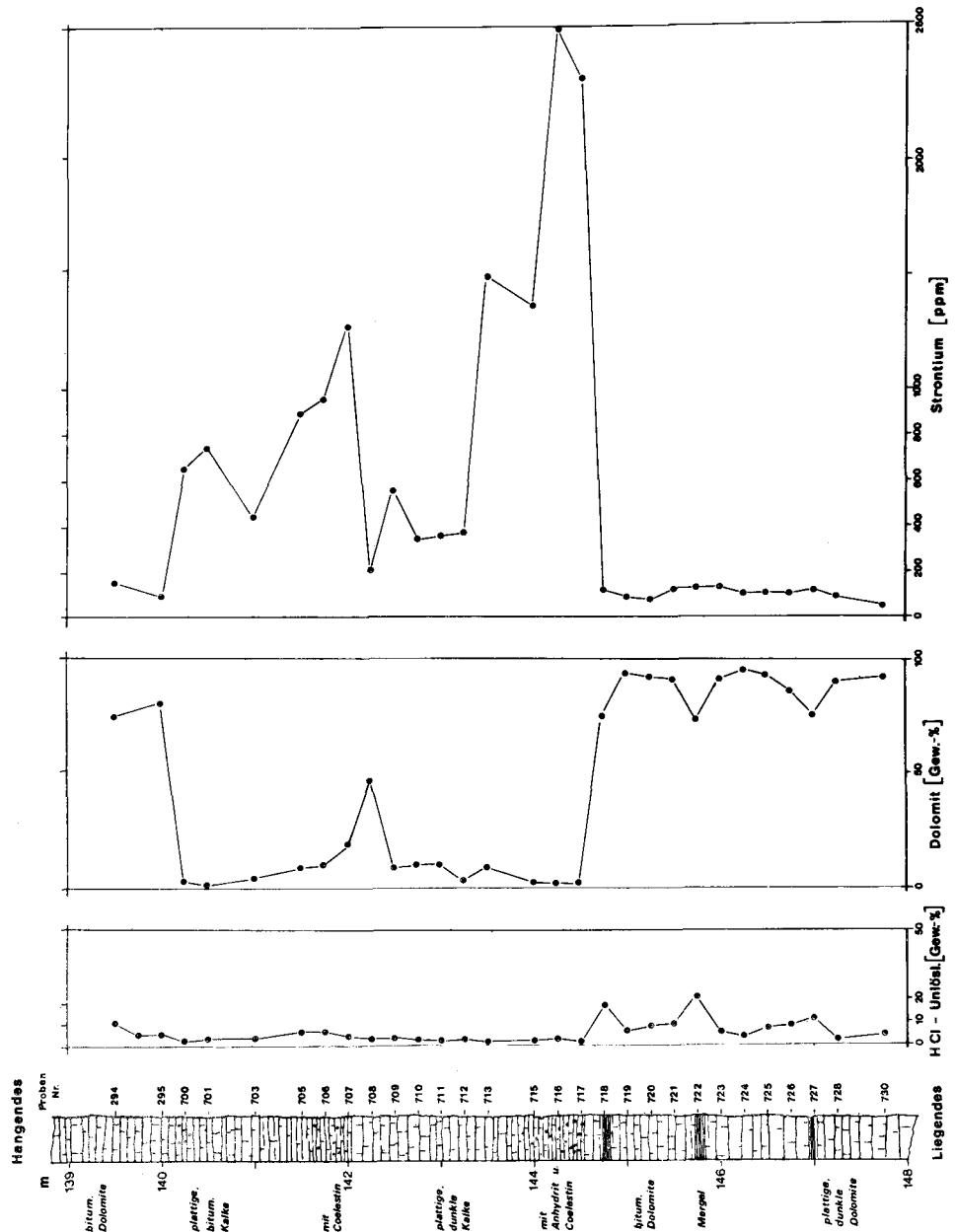


Abb. 8. Detailprofil Sr-reicher Horizonte in der Vorarlberger Randfazies (Profil Flexenpaß); Probenabstand 0,2 m.

Aufsätze

Beobachtung mitgeteilt werden (vgl. BAUSCH, 1968), daß feinverteilte Tonanteile offensichtlich die Sammelkristallisation hemmen: Mergelkalke mit mehr als 5% HCl-Unlös. sind meist kryptokristallin (ϕ 2—10 μ). Tonanteile in Karbonatsedimenten (z. B. auch tonige Zwischenlagen in Karbonat-Zyklothem) dürften den diagenetischen Lösungsfluß verlangsamen, und eine frühzeitige chemische Füllung der Porenräume verhindern.

Die verbleibenden Strontium-Gehalte gehen nach den vorliegenden Ergebnissen jedoch weniger, wie von BAUSCH (1965) vermutet, in den Adsorptivanteil der Tonminerale über, sondern bleiben vor allem an das Karbonatgitter gebunden (vgl. auch die Befunde von FLÜGEL & WEDEPOHL, 1967, und VEIZER & DEMOVIĆ, 1971). Fossile wie rezente Tonsedimente besitzen außerdem nur eine geringe Aufnahmefähigkeit für Sr-Gehalte (ca. bis 100 ppm), dies wird auch von den tonigen Serien der ladinischen Beckenfazies bestätigt (Partnachschichten um 10 ppm Sr).

5.4 Dolomitisierung

Die überwiegende Mehrzahl der Strontium-Gehalte zwischen 50 und 100 ppm im oberen Wettersteinkalk wird durch dolomitreiche Proben verursacht. Strontium-Vergleichswerte verschiedener Dolomite aus anderen Bereichen (vgl. BAUSCH, 1968) zeigen ebenfalls nur geringe Werte um 100 ppm.

In der Lagunenfazies des oberen Ladin tritt Dolomit im wesentlichen schichtgebunden an die Sedimente des inter- bis supratidalen Faziesbereiches auf. Die Dolomitisierung dürfte hier im wesentlichen synsedimentär durch Eindunstung und kapillaren Durchfluß großer Mengen Porenwässer (vgl. FÜCHTBAUER, 1973), bei Beteiligung „schizohaliner“ Lösungen (vgl. FOLK & LAND, 1975) und gleichzeitiger Algenaktivität geschehen sein. Bereits verfestigte Dolomitkrusten konnten in den supratidalen Bereichen wieder umgelagert werden (GERMANN, 1969). Diese primären Dolomite dürften bereits von Anfang an geringe Sr-Gehalte geführt haben, da das Dolomit-Gitter für Strontium nur beschränkt aufnahmefähig ist. Während des anschließenden Diageneseablaufs wurden diese geringen Sr-Gehalte beibehalten.

Während der Frühdiagenese ist die Dolomitisierung, neben der Aragonit-Calcit-Transformation, ein weiterer entscheidender Prozeß, der zur Verringerung primär hoher Sr-Gehalte von Karbonatsedimenten beiträgt. Außerdem kann auch die spätdiagenetische bzw. metasomatische Dolomitisierung (z. B. in den Vererbungsbereichen) zur weiteren Strontium-Verarmung führen, wie die geringen Sr-Werte in den Störungs- und Lösungsbrekzien (vgl. Tab. 3) zeigen.

Röntgenographische Untersuchungen ergaben (Abb. 9), daß die Strontium-Gehalte im Dolomit deutlich vom d(104)-Wert des Dolomit-Hauptreflexes, und damit von dem kristallchemischen Ca-Anteil beeinflußt werden. Während in den Mg-Dolomiten die Strontium-Gehalte meist zwischen 50 und 100 ppm liegen, können diese Werte in Dolomitproben mit Ca-Überschuß auf 70—180 ppm ansteigen. Die Ursache dieses Zusammenhangs dürfte in der Gitteraufweitung der Ca-Dolomite begründet sein (vgl. FÜCHTBAUER & GOEDSCHMIDT, 1965), die bei zusätzlichem Einbau von Ca^{2+} anstelle des kleineren Mg^{2+} auftritt, so daß nun auch offensichtlich etwas größere Mengen Sr^{2+} die Gitterplätze von Ca^{2+} belegen können.

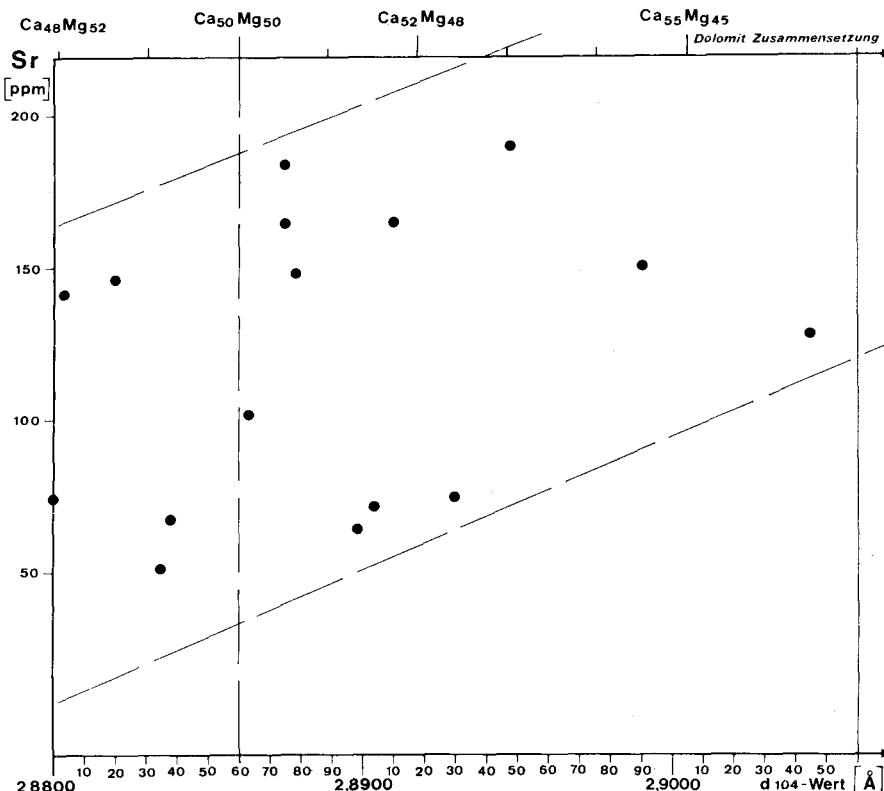


Abb. 9. Beziehung der Strontium-Gehalte zum $d(104)$ -Wert der Dolomite.

6. Schlußfolgerungen

Mit den Strontium-Analysen der untersuchten Ladin-Profilen können neue Aussagen über Sedimentationsmilieu und Diagenese des oberen erzhöflichen Wettersteinkalkes mitgeteilt werden. Wobei die hier zur Strontium-Geochemie skizzierten Lösungsprozesse und Stoffwanderungen auch für die Bildungsbedingungen der schichtgebundenen Blei-Zink-Vererzungen (z. B. für Erzmobilisation und -konzentration durch Formationswässer etc.) relevant sein dürften.

Die Sedimentation der Lagunenfazies des oberen Ladin fand im Gezeitenbereich (sub-, inter- bis supratidal) im wesentlichen unter ariden Bedingungen, aber bei wechselnder Salinität statt. Bei erhöhter Salinität (3—5fache Meerwasser-Konzentration) wurde vorwiegend Aragonit (und Mg-Calcit) mit erhöhten Sr-Gehalten, fallweise auch Sr-reiche Sulfate (Gips, Anhydrit) und Coelestin gefällt. Bei Frischwasser-Einflüssen (Regen, Grundwässer) wurden dolomitreiche Horizonte mit geringen Strontium-Gehalten gebildet, so daß schließlich eine zyklische Abfolge von Sr-reichen (Kalk-) und Sr-armen (Dolomit-) Horizonten entstand.

Aufsätze

Während der Frühdiagenese, die im wesentlichen bei \pm exogener Zementation, bei noch offenem System und Frischwasser-Einfluß geschah, fanden die an Umfang größten Stoffverschiebungen statt. Im Zuge der Aragonit-Calcit-Transformation und weiterführender Dolomitisierung kam es hierbei zur weitgehenden Strontium-Verarmung der primär Aragonit-reichen Profilabschnitte. Tonanteile bzw. Mergellagen in den oberadinischen Karbonat-Zyklothem konnten fallweise den frühdiagenetischen Lösungsaustausch behindern, eine weitgehende Sammelkristallisation unterbinden und damit fallweise erhöhte Strontium-Gehalte konservieren.

Während der Spät diagenese trugen intensive Lösungsumsetzungen — insbesondere im Bereich der Erzkörper — zur weiteren Strontium-Verringerung bei. Die besonders niedrigen Strontium-Gehalte in Lösungsbrekzien und metasomatischen Dolomiten können ebenfalls auf Frischwasser-Einflüsse (geringere Salinität in Formationswässern bzw. ? Karstwässern) hinweisen.

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. ŠTRUCL (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 DFG-Schwerpunktprogramm „Geologische Korrelationsforschung“) gewährt.

Literatur

- BAUSCH, W. M.: Strontiumgehalte in süddeutschen Malmkalken. — Geol. Rdsch., **55**, 86—96, 1965.
- : Outlines of strontium in marine limestones. — In: MÜLLER, G., & FRIEDMAN, G. M., Editors, Recent Developments in Carbonate Sedimentology in Central Europe, 106—115, Berlin (Springer) 1968.
- BECHSTÄDT, T.: Zyklotheme im hangenden Wettersteinkalk von Bleiberg-Kreuth (Kärnten/Österreich). — Veröff. Univ. Innsbruck, Bd. 86 (Festschrift Heißel), 25—55, 1973.
- BILLINGS, G. K., & RAGLAND, P. C.: Geochemistry and mineralogy of the rezent reef and lagoonal sediments south of Belize (British Honduras). — Chem. Geol., **3**, 135—153, 1968.
- BUTLER, G. P.: Strontium geochemistry of modern and ancient calcium-sulphate-sediments. — In: PURSER, B. H., Editor, The Persian Gulf, 423—462, Berlin (Springer) 1973.
- CARDICH-LOARTE, L., & 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.
- FLÜGEL, H. W., & WEDEPOHL, K. H.: Die Verteilung des Strontiums in oberjurassischen Karbonatgesteinen der nördlichen Kalkalpen. — Contr. Mineral. Petrol., **14**, 229—249, 1967.
- FOLK, R. L., & LAND, L. S.: Mg/Ca Ratio and Salinity: Two Controls over Crystallisation of Dolomite. — Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, **59**, 60—68, 1975.
- FÜCHTBAUER, H., & GOLDSCHMIDT, H.: Beziehung zwischen Calciumgehalt und Bildungsbedingungen der Dolomite. — Geol. Rdsch., **55**, 29—40, 1965.

- J. R. KRANZ — Strontium — ein Fazies-Diagenese-Indikator im Oberen Wettersteinkalk
- FÜCHTBAUER, H.: Neuere Entwicklungen und Ergebnisse auf dem Gebiet der Sedimentpetrographie. — Fortschr. Miner., 50, 188—204, 1973.
- GERMANN, K.: Reworked dolomite crusts in the Wettersteinkalk (Ladinian, Alpine Triassic) as indicators of early supratidal dolomitization and lithification. — Sedimentology, 12, 257—277, 1969.
- HOLLER, H.: Die Tektonik der Bleiberger Lagerstätte. — Carinthia II, Sonderheft 7, 10—82, Klagenfurt 1936.
- KINSMAN, D. J. J.: Interpretation of Sr-concentrations in carbonate minerals and rocks. — J. Sed. Petrol., 39, 486—508, 1969.
- KINSMAN, D. J. J., & HOLLAND, H. D.: The co-precipitation of cations with CaCO_3 . — IV. The co-precipitation of Sr^{2+} with aragonite between 16° and 96°C . — Geochim. Cosmochim. Acta, 33, 1—17, 1969.
- KRANZ, J. R.: Die Strontium-Verteilung in den Arlbergschichten (Oberes Ladin) des Kloster Tales (Vorarlberg) / Nördliche Kalkalpen. — N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1973, H. 3, 170—187, 1973.
- : Geochemische Charakteristik des erzhöffigen Oberen Wettersteinkalkes (alpine Mitteltrias) der Ostalpen. — Diss. Freie Univ. Berlin, 219 S., Berlin 1974.
- MÜLLER, G.: Zur Geochemie des Strontiums in ozeanen Evaporiten unter besonderer Berücksichtigung der sedimentären Coelestinlagerstätte von Hemmelte-West (Süd-Oldenburg). — Geologie, 11, Beiheft 35, 90 S., Berlin 1962.
- : High strontium contents and Sr/Ca-ratios in Lake Constance waters and carbonates and their sources in the drainage area of the Rhine River (Alpenrhein). — Mineral. Deposita, 4, 75—84, 1969.
- SARNTHEIN, M.: Versuch einer Rekonstruktion mitteltriadischer Paläogeographie um Innsbruck, Österreich. — Geol. Rdsch., 56, 116—127, 1967.
- SCHNEIDER, H.-J.: Lagerstättenkundliche Untersuchungen am Oberen Wettersteinkalk der bayrischen Kalkalpen östlich der Loisach. — Unveröff. Diss. Univ. München, 131 S., 1953.
- : Facies differentiating and controlling factors for the depositional lead-zinc concentration in the Ladinian geosyncline of the Eastern Alps. — In: AMSTUTZ, G. C., Editor, Sedimentology and Ore Genesis, 29—45, 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.
- : Beitrag zur Geochemie des Bariums in Carbonatgesteinen und klastischen Sedimenten der ostalpinen Trias. — Tschermaks Min. Petr. Mitt., 15, 258—278, 1970.
- SMYKATZ-KLOSS, W.: Sedimentpetrographische und geochemische Untersuchungen an Karbonatgesteinen des Zechstein. Teil II. — Contr. Miner. Petr., 13, 232—268, 1966.
- VEIZER, J., & DEMOVIĆ, R.: Environmental and climatic controlled fractionation of elements in the Mesozoic carbonate sequences of the Western Carpathians. — J. Sed. Petrol., 43, 258—271, 1973.
- : Strontium as a tool in facies analysis. — J. Sed. Petrol., 44, 93—115, 1974.
- WILSON, J. L.: Charakteristics of Carbonate-platform margins. — Bull. Am. Assoc. Petr. Geologists, 58, 810—824, 1974.