

Typen und wirtschaftliche Bedeutung von Riffkalken

Von ERIK FLÜGEL*)

Mit 4 Abbildungen

Vortrag**)

gehalten bei der Festveranstaltung
aus Anlaß der Vollendung des 85. Lebensjahres von
em. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. O. M. FRIEDRICH

Zusammenfassung

Riffkarbonate sind als Speichergesteine für Kohlenwasserstoffe und als Trägergesteine für stratiforme Erze (insbesondere für Pb/Zn-Erze) sowie als Industrierohstoffe (z.B. als Hochreinkalksteine) von großer Bedeutung. Untersuchungen über die Entwicklung von Riffen in der Erdgeschichte weisen darauf hin, daß die potentielle Speichergesteinsfähigkeit und auch einige für die industrielle Nutzung wichtige Parameter durch die unterschiedliche Faziesentwicklung und durch den unterschiedlichen Diagenese-Ablauf von „Riff-Typen“ (Mud Mounds, Reef Mounds, Riffe) wesentlich kontrolliert werden. Reef Mounds und Riffe bieten für die Entwicklung von karbonatischen Speichergesteinen – bedingt durch die häufige subaerische Exposition und die damit verbundene Lösung – günstigere Ausgangsmöglichkeiten als Mud Mounds. Dies gilt sowohl für Erdöl- und Erdgaslagerstätten als auch für stratiforme Erzlagerstätten.

Abstract

Reef carbonates are important reservoir rocks for hydrocarbons, and host rocks for mineral deposits, especially Pb/Zn ores. Reservoir potential as well as some characteristics important for the use of reef carbonates as industrial rocks seem to vary with regard to "reef types" (Mud Mounds, Reef Mounds, Reefs), reflecting differences in the depositional facies and in the diagenetic history. Reef Mounds and Organic Reefs represent potential reservoir rocks because of their common subaerial exposure and karstification whereas the depositional facies of Mud Mounds seems to be of minor importance in controlling reservoir rock or host-rock potential.

Die wirtschaftliche Bedeutung der unter wesentlicher Mitwirkung von Organismen gebildeten Riff- und Plattformkarbonate ist bereits seit langem bekannt (SORBY, 1879). Ziel der nachfolgenden Zeilen ist es, Zusammenhänge zwischen speziellen Riff-Typen und der Eignung der Riffkalken als Speichergesteine für Kohlenwasserstoffe, als Trägergesteine für Erze oder als Industrierohstoffe aufzuzeigen.

Die Definition von „Riffen“ ist umstritten, da rezente Riffe nur bedingt zum Vergleich mit fossilen Riffen herangezogen werden können (SCHROEDER & PURSER, 1986; FAGERSTROM, 1987). In rezenten Riffen zu beobachtende Merkmale wie ein wellenresistentes organisches Gerüst aus schnell wachsenden sessilen Organismen, eine hohe Diversität der Organismen und ein positives topographisches Relief des Riffkörpers über der Sedimentationsbasis sind in fossilen Riffen nur zum Teil nachzuweisen. Trotzdem erscheint es sinnvoll, die Riffdefinition nicht zu eng zu fassen, um der Vielfalt der geologischen Strukturen Rechnung zu tragen.

Ein am Institut für Paläontologie der Universität Erlangen-Nürnberg laufendes Forschungsprojekt „Evolution von Riffen“ untersucht derzeit die Entwicklung von fossilen und rezenten Riffbiotopen und Riffstrukturen in Abhängigkeit von evolutiven und globalen Faktoren. Das Projekt beinhaltet Untersuchungen über die Entwicklung der Riff-Typen in der Erdgeschichte und über die sedimentäre und diagenetische Geschichte von Riffkarbonaten.

Riff-Typen

In stark vereinfachter Form können fossile Riffstrukturen drei Grundtypen zugeordnet werden:

- 1) „Mud Mounds“: Massige oder grobgebankte, hügelartige Karbonatstrukturen im Meter- bis Zehnermeter-Bereich. Feinkörniges Karbonat dominiert. Gerüstbauende Organismen fehlen oder sind quantitativ unbedeutend. Die Rolle der Organismen scheint auf Sedimentfixierung und auf Sedimentanhäufung beschränkt zu sein. Eine ökologische Zonierung ist selten oder sie fehlt. In vielen Mud Mounds treten spezielle Hohlräumstrukturen auf (z. B. Stromatactis), deren Genese umstritten ist.
- 2) „Reef Mounds“: Massige oder grobgebankte, hügelartige Karbonatstrukturen, meist im Zehnermeter-Bereich. Feinkörniges Karbonat dominiert. Potentielle Gerüstbildner treten im Vergleich mit den sedimentproduzierenden und sedimentstabilisierenden Organismen zurück. Eine vertikale ökologische Zonierung sowie ein rascher Mikrofazieswechsel sind häufig.

*) Anschrift des Vortragenden: Univ.-Prof. Dr. ERIK FLÜGEL, Institut für Paläontologie, Universität Erlangen-Nürnberg, Loewenichstraße 28, D-8520 Erlangen.

***) Überarbeitete und inhaltlich beträchtlich modifizierte Fassung des Vortrages.

3) „Riffe“: Horizontal und vertikal gegliederte und differenzierte biogene Karbonatstrukturen. Kennzeichnend sind eine lange Zeit bestehendes Gleichgewicht von Auf- und Abbau, biogene Gerüststrukturen, Nischenbildung, eine meist hohe Diversität, die Bevorzugung von hochenergetischen flachmarinen Bereichen und ein breites Faziespektrum.

In allen drei Riff-Typen trägt eine frühe, synsedimentäre Zementation wesentlich zur Bildung und Erhaltung der Riffstrukturen bei. In verschiedenen Abschnitten der Erdgeschichte scheinen bestimmte Riff-Typen zu dominieren (JAMES, 1979), wobei Mud Mounds bevorzugt im Paläozoikum, Reef Mounds und ökologische Riffe häufiger im Meso- und Känozoikum auftreten. Auch in der paläogeographischen Position der Riff-Typen zeigen sich Unterschiede: Mud Mounds finden sich häufig in Schelf- und Hangbereichen, Reef Mounds bildeten sich als relativ kleinen Fleckenriffe auf Schelfen und Karbonatrampen; ausgedehnte organische Riffe hingegen entstehen häufig in Schelfrandposition (WILSON, 1974).

Im Rahmen des Erlanger Riff-Projektes wurden Mud Mounds und Reef Mounds aus dem Unterdevon des Anti-Atlas/Marokko, Unterdevon der Montagne Noire/Frankreich, Unterperm der Karnischen Alpen/Österreich, Obertrias der Nordalpen/Österreich, Oberjura von Franken/BRD und aus dem Alttertiär von Faxe/Dänemark untersucht. Hierzu kommen Vergleichsuntersuchungen rezenter „mud banks“ vor der Küste von Florida/USA. Im Gegensatz zu manchen Modellvorstellungen (z. B. WILSON, 1975; PRATT, 1982) dürfte die Ent-

stehung dieser „Schlammhügelstrukturen“ auf bioklastische Sedimentanhäufung (durch den Zerfall von Organismenhartteilen), biogene Sedimentfixierung (durch sessile und/oder inkrustierende Organismen) sowie auf ein rasche synsedimentäre Zementation zurückzuführen sein. Ungeklärt ist die Bedeutung der mikrobiellen Beeinflussung der Bildung und Diagenese von feinkörnigem Karbonat, die durch experimentelle Untersuchungen wahrscheinlich wird (CASTANIER, MAURIN & BIANCHI, 1984; MAURIN, 1987).

Ein weiterer, anscheinend zeitgebundener, Riffotypus wird durch die „Algen/Zement-Riffe“ repräsentiert (FLÜGEL, 1988), die durch das quantitative Überwiegen von Algen- bzw. Bakterien-Krusten und synsedimentären, submarin gebildeten Karbonatzementen sowie durch das Zurücktreten von potentiellen Gerüstbildnern gekennzeichnet sind. „Algen“-Krusten und auch ein Teil der Zement-Krusten können als mikrobielle Bildung interpretiert werden. Dieser aus dem Zeitbereich Unterperm bis untere Obertrias bekannte Riffotyp ist in seiner Entstehung auf hochenergetische Bereiche am Rand von Karbonatplattformen oder am oberen Hang beschränkt.

Riffkarbonate als Speichergesteine für Kohlenwasserstoffe

Der Anteil von Karbonatgesteinen an der Gesamtmenge von Speichergesteinen für Kohlenwasserstoffe wird unterschiedlich eingeschätzt: Nach NORTH (1985)

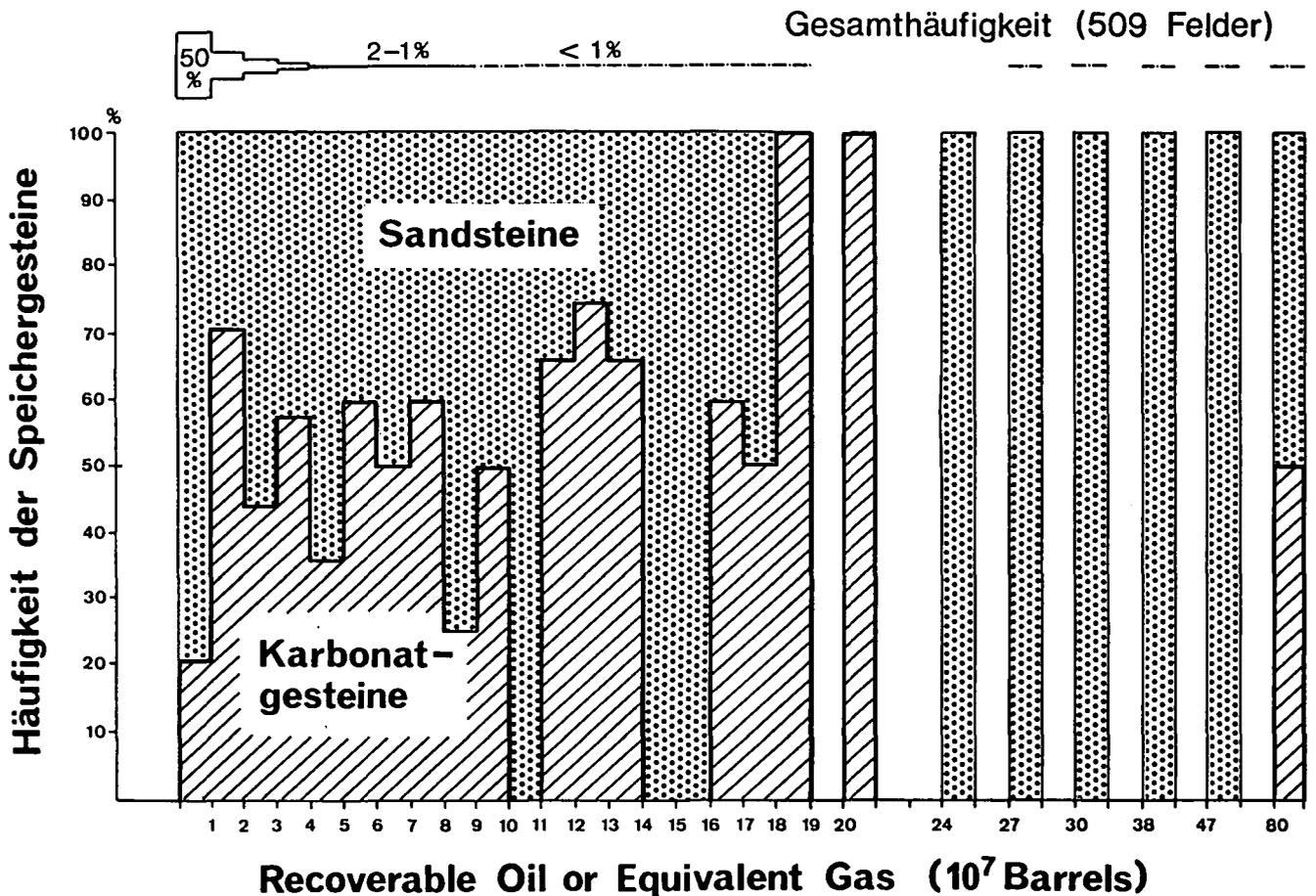


Abb. 1. Karbonatgesteine und Sandsteine als Speichergesteine für Erdöl- und Erdgaslagerstätten, ausgedrückt durch die Häufigkeit von „giant oil and gas fields“.

Karbonate als Speichergesteine für Kohlenwasserstoffe

Räumliche Verteilung

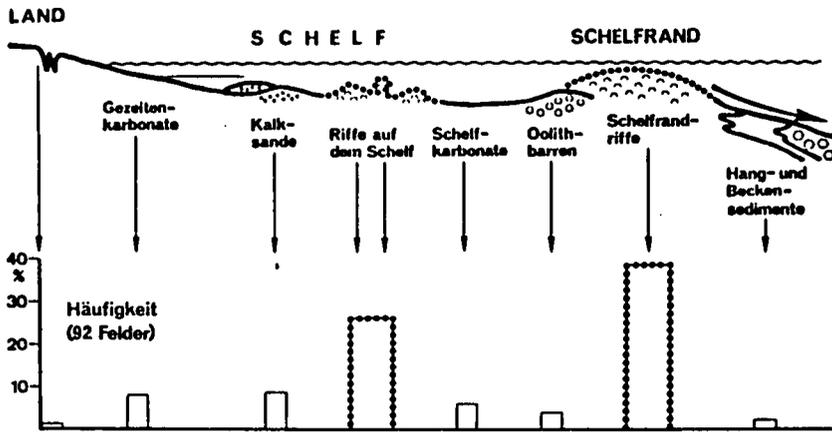


Abb. 2. Primärfazies von karbonatischen Speichergesteinen. Schelfriffe und Schelfrandriffe überwiegen im Vergleich mit anderen Schelfkarbonaten.

sind mehr als 60 % der „giant oil fields“ (mit Mindestreserven von 500 Mill. barrels oil or equivalent gas) an Sandsteine gebunden. HARBAUGH (1967) schätzt, daß die Hälfte oder mehr als die Hälfte der Erdölproduktion aus karbonatischen Speichergesteinen produziert wird. Ähnlich ist die Schätzung von ROEHL & CHOQUETTE (1985), die von etwa 60 % der Gesamterdölreserven in Karbonatgesteinen ausgehen.

Abb. 1 zeigt die Häufigkeit von Sandsteinen und von Karbonatgesteinen als Speichergesteine, ausgedrückt durch den Prozentsatz verschieden großer „giant oil fields“. Insgesamt wurden 509 Felder berücksichtigt. Als Unterlage dienten die Zusammenstellung von HALBOUY (1970), JOHN (1980) und CARMAL & JOHN (1984). Die Darstellung zeigt, daß der Anteil an relativ „kleinen“ Riesenlagerstätten auffallend hoch ist. Karbonatgestei-

Karbonate als Speichergesteine

Verteilung in der geologischen Zeit

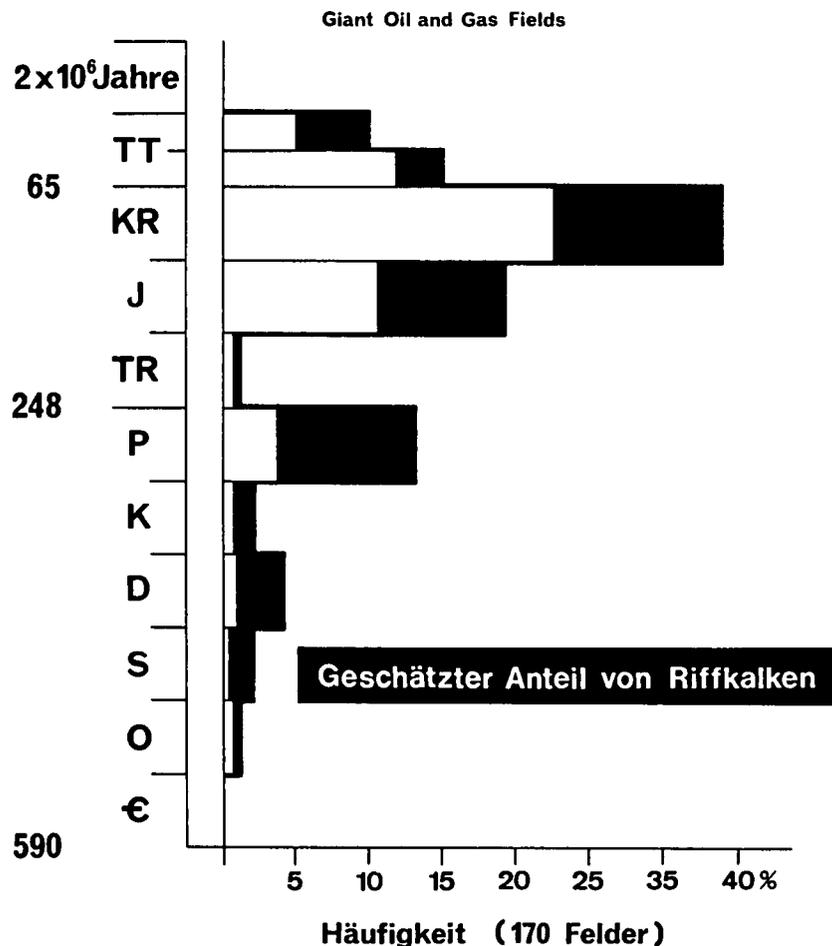


Abb. 3. Verteilung karbonatischer Speichergesteine in der geologischen Zeit und geschätzter Anteil an Riffkarbonaten.

ne nehmen im mittleren Feld insgesamt mehr als 50 % der Häufigkeit als Speichergesteine ein und sind in den „großen“ Lagerstätten selten.

Erdöl- und Erdgaslagerstätten in Karbonatgesteinen finden sich in unterschiedlichen Fazies-Typen, wobei neben nichtmarinen Karbonaten nahezu alle Bereiche der marinen Karbonate vertreten sind (Abb. 2). Die Darstellung berücksichtigt 92 mittelgroße und große Felder, für die genauere Faziesanalysen der (überwiegend paläozoischen und mesozoischen) Speichergesteine vorliegen. Als Datenbasis dienen neben Einzelarbeiten die zusammenfassenden Arbeiten von HALLEY & LOUCKS (1980), MAZZULLO (1980), ROEHL & CHOQUETTE (1985) sowie die von der ELF-AQUITAINE (1977) veröffentlichten Beispiele. Es fällt auf, daß Riffkarbonate mit etwa 70 % unter den karbonatischen Speichergesteinen deutlich dominieren. Hierbei sind Schelfrandriffe häufiger als auf dem Schelf gebildete Riffe vertreten.

Betrachtet man die Verteilung karbonatischer Speichergesteine in der geologischen Zeit (Abb. 3), ausgedrückt durch die Häufigkeit von 170 „giant oil fields“, so ergibt sich eine deutliche Konzentration auf die Zeitbereiche Kreide, Jura und Perm.

Dies könnte mit der enormen Ausdehnung von Karbonatplattformen und Karbonatrampen in diesen Zeitperioden zusammenhängen (HARRIS, MOORE & WILSON, 1985). Der Anteil an Riffkarbonaten unter den Speichergesteinen scheint sich bis zum Tertiär nur unwe-

sentlich verschoben zu haben. Etwa zwei Drittel der paläozoischen und mesozoischen Erdöllagerstätten sind an „Riffkarbonate“ gebunden (unter Riffkarbonaten werden hier Riffkalke, Riffschuttkalke und Karbonatgesteine der riffnahen Plattform zusammengefaßt). Ähnliche Werte ergeben sich bei der Auswertung sowjetrussischer Literatur (KNIG, 1971; BAKIROV, 1972; KUZNETSOV, 1978).

Abbildung 4 versucht eine Antwort auf die Frage nach den Hintergründen der potentiellen Speichereigenschaften von Riffkarbonaten zu geben. Bei Berücksichtigung von 38 Feldern wird in mehr als 10 % der Beispiele die effektive Porosität auf noch erhaltene ursprüngliche Porosität in und zwischen Riffgerüsten und Gerüstbildnern (framework porosity, intraskeletal porosity; CHOQUETTE & PRAY, 1970) zurückgeführt, bei etwa 13 % der Lagerstätten erscheinen primäre Porosität und Lösungsporen von etwa gleicher Bedeutung, bei etwa gleich vielen Lagerstätten tritt hierzu noch Kluftporosität (fracture porosity). Lösungs- und Kluftporosität (sowohl frühe vadose Lösung als auch spätere Lösung) ist in Riffkalcken häufig, bedingt durch die Anfälligkeit vieler in flachmarinen Bereichen wachsender Riffe und Reef Mounds für subaerische Exposition und damit verbundener Süßwasserdiagenese. Dies gilt insbesondere für die als „Reef Mounds“ und „Riffe“ charakterisierten Riff-Typen. Im Gegensatz dazu fällt auf, daß die Speichereigenschaften von Mud Mounds häu-

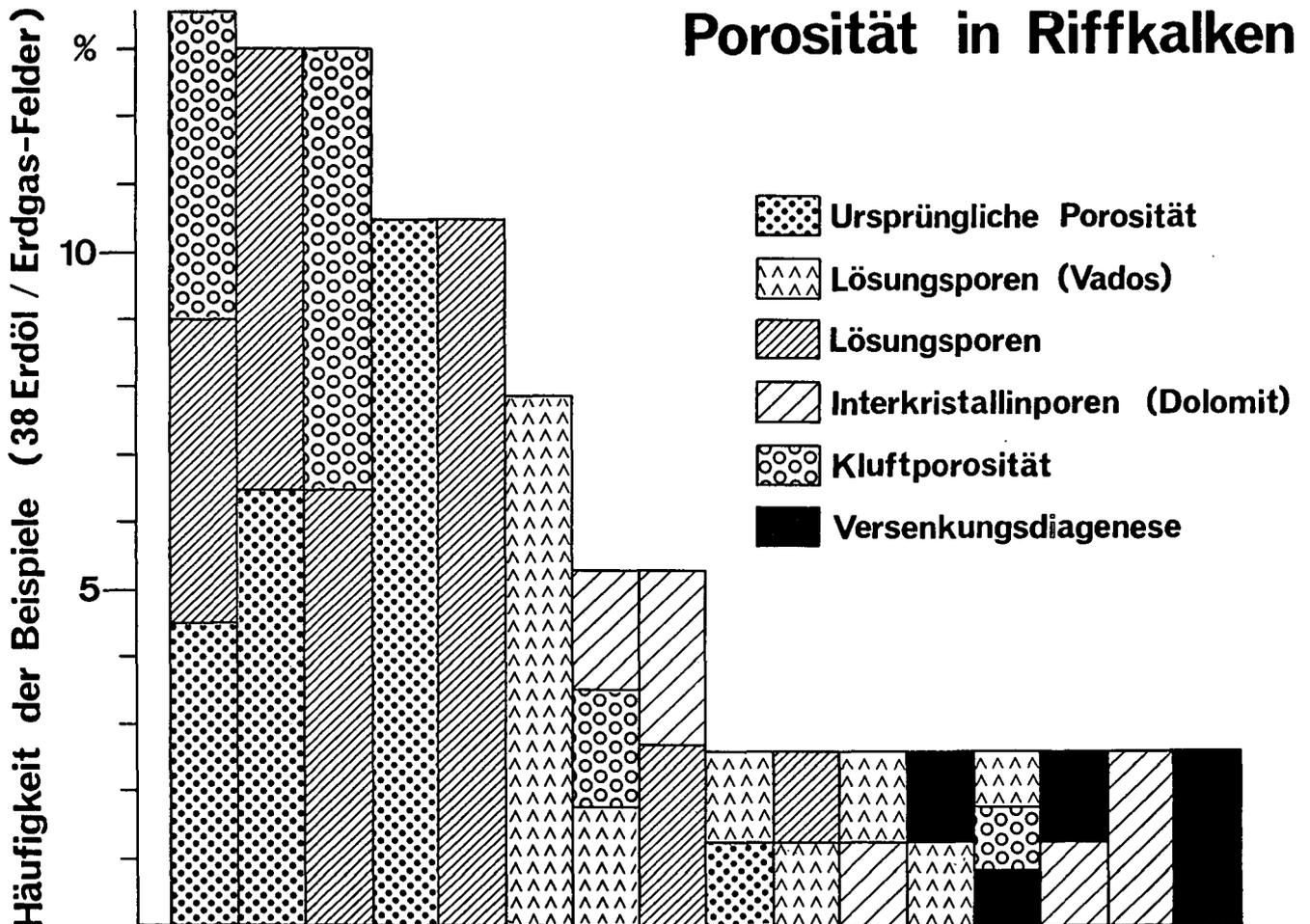


Abb. 4. Häufigkeit unterschiedlicher Porositätstypen in Riffkarbonaten. Die Interkristallporosität ist in ihrer Bedeutung unterrepräsentiert. Lösungs- und Kluftporosität dominieren in den Riffkarbonaten zusammen mit erhaltener Primärporosität.

fig durch Kluffporosität und durch Dolomitierungen bedingt sind. Die Bedeutung der mit einer Dolomitisierung verbundene Interkristallinporosität ist in Abb. 4 sicher unterrepräsentiert, da etwa 80 % der karbonatischen Speichergesteine im Paläozoikum von Nordamerika als Dolomite vorliegen (NORTH, 1985).

Riffkarbonate als Trärgesteine von Erzen

Karbonatgesteine stellen vielfach Trärgesteine für Erze, insbesondere für Pb/Zn, dar (TAUPITZ, 1967; NICOLINI, 1967; KESLER & ASCARRUNZ-K., 1973; BECHSTÄDT, 1975; MENDELSON, 1976; SMIRNOV, 1977; BRIGO et al., 1977; KANTOR, 1977; RHODES et al., 1984; BRIGO & OMENETTO, 1985; CERNY & KOSTELKA, 1987). Die Pb/Zn-Erze treten in Plattform- und Riffkarbonaten auf. Auf die Beziehungen zwischen stratiformen Erzlagerstätten und Riffen haben MONSEUR & PEL (1973) und LAGNY (1984) hingewiesen.

Bei einem Vergleich von über 40 an Karbonatgestein gebundenen Pb/Zn-Lagerstätten fallen – im Bezug auf die Fazies der karbonatischen Speichergesteine – folgende Gemeinsamkeiten auf:

- 1) In etwa 80 % der Beispiele ist ein Zusammenhang mit Emersionsflächen und mit Paläokarst-Strukturen gegeben (z. B. SAINFELD, 1952; AGARD & DUDRESNAY, 1965; SAMSON, 1965; CAMPBELL, 1967; BERNARD & FOGLIERINI, 1967; MONSEUR, 1967; BAZIN & LEBLANC, 1968; MONSEUR, 1972; BERNARD, 1973; MONSEUR & PEL, 1973; ASSERET, O. et al., 1976; PADOLINO et al., 1973; GRUNDMANN, 1977; BECHSTÄDT & DOHLER-HIRMER, 1983; RHODES et al., 1984, DEVOTO, 1988).
- 2) Die Pb/Zn-Lagerstätten treten in gebankten und in massigen Karbonaten auf, die unterschiedlichen flachmarinen Ablagerungsbereichen zuzuordnen sind (lagunäre Karbonate, back-reef-Sedimente, Riffe, Reef Mounds, Mud Mounds).
- 3) Insbesondere bei Vererzungen vom Mississippi Valley-Typ ist eine starke Fazieskontrolle erkennbar. Vererzt sind bevorzugt Brekzien (Karstbrekzien, Kollapsbrekzien, Riffbrekzien) sowie primär poröse und permeable Karbonatgesteine wie massive Riffkalke oder Vorriffschutt (HOAGLAND, 1967; GERDEMANN & MYERS, 1972; SKALL, 1975; SANGSTER, 1976; EVANS, 1977; LARSEN, 1977; LYLE, 1977; GRUNDMANN, 1977).
- 4) Sofern Riffkarbonate vererzt sind, sind insbesondere die Übergangsbereiche zwischen der Riffzone und ausgedehnten Sedimentbecken betroffen (z. B. Pine Point, Canada; Viburnum Trend, Missouri).

Geht man von den eingangs definierten „Riff-Typen“ aus, so ergeben sich unter Berücksichtigung von 24 vererzten Riffen folgende Prozentwerte: Pb/Zn-Vererzungen in Mud Mounds 22 %, in Reef Mounds 42 % und innerhalb von Riffkomplexen 36 %. Beispiele für Vererzungen in Mud Mound-Gesteinen sind aus dem Unterkarbon von Irland bekannt (PEREIRA, 1967; ANDERTON et al., 1979), Beispiele für Vererzungen von Reef Mound-Karbonaten unter anderem aus dem nordafrikanischen Lias und der Unterkreide von Spanien, Tunesien und Algerien (MONSEUR & PEL, 1973) und Beispiele für vererzte Riff-Karbonate aus dem Devon von Canada und von Westaustralien (PLAYFORD & LOWRY, 1966; RHODES et al., 1984).

Der hohe Prozentsatz an vererzten Reef Mounds und Riffen und der geringe Prozentsatz an vererzten Mud Mounds dürfte die Abhängigkeit der Vererzung von der

sedimentären Fazies und vom Ablauf der Diagenese widerspiegeln: Im Gegensatz zu den Verhältnissen in Mud Mounds sind Reef Mounds und Seichtwasserriffe ebenso wie lagunäre Bereiche Meeresspiegelschwankungen und subaerischer Exposition bedeutend stärker und häufiger unterworfen. Damit verbunden ist eine intensivere Verkarstung (siehe JAMES & CHOQUETTE, 1988) und die Schaffung von Lösungsporosität durch Süßwassereinfluß. Beides erhöht das Speichergesteinspotential für Erzlösungen, insbesondere bei Riffen an den Rändern oder Flanken relativ kleindimensionierter Becken („third-order basins“ im Sinne von LARGE [1983]). Diese, in Ansätzen erkennbaren Zusammenhänge zwischen Riff-Typus, paläogeographischer Position der Riffe und dem Potential von Riffkarbonaten als Trärgesteine für stratiforme Erzlagerstätten müssen durch gezielte Faziesanalysen von Riffkarbonaten näher untersucht werden.

Riffkarbonate als Industrierohstoffe

Karbonatgesteine sind im wesentlichen Massenrohstoffe. Im Bezug auf die Wertordnung stehen Industriekalksteine für alle Industriebereiche, ohne die Zementindustrie, an elfter Stelle unter den dreißig wichtigsten Rohstoffen (LÜTTIG, 1979). Riffkalke spielen neben Marmoren als Industrierohstoffe eine wichtige Rolle, da sie – in Abhängigkeit von der Entstehungsweise und vom Ablauf der Diagenese – als Reinkarbonate vorliegen können (FLÜGEL & HADITSCH, 1975; FLÜGEL, 1977; BERTLE, 1982).

Von den zahlreichen chemischen und physikalischen Eigenschaften, welche die Verwendungsmöglichkeiten von Kalksteinen bestimmen (siehe SIEGEL, 1967; LANGBEIN et al., 1982; LASKARIDIS, 1987), sind die mineralogische und chemische Zusammensetzung sowie die Porosität und die Korngrößenverteilung von wesentlicher Bedeutung. Neben dem Ca/Mg-Verhältnis und der Elementverteilung sind die Gehalte an säureunlöslichen Nichtkarbonaten von besonderem Interesse; für Riffkarbonate liegen bisher nur relativ wenige und zudem widersprüchliche Beobachtungen vor:

- 1) Riffkalke entsprechen „hochreinen“ bis „reinsten“ Kalken (Terminologie nach FLÜGEL & HADITSCH, 1975): Die Kalke sind arm bis extrem arm an siliziklastischen Komponenten. Die Menge an unlöslichem Rückstand ist in der Riff-Fazies bedeutend geringer als in der benachbarten Fazies. Beispiele sind unter anderem aus oberjurassischen Schwamm/Algen-Riffen von Süddeutschland (SCHORR & KOCH, 1985) und obertriassischen Dachsteinkalkriffen der Nordalpen (FLÜGEL, 1977) bekannt. Die geringen Rückstandsmengen werden durch Nichtsedimentation oder durch Ausschwemmung des feinklastischen Sedimentanteils in hocheenergetischen Sedimentationsbereichen erklärt.
- 2) Riffkalke entsprechen „reinen“ Kalken oder sie entsprechen „mergeligen Kalken“ in der Terminologie von BENTZ & MARTINI (1968): Beispiele stammen aus dem Devon des Rheinischen Schiefergebirges (GOTTHARDT, 1970, 1974). STÄDTER & KOCH (1987) erklären die Tatsache, daß in devonischen Stromatoporen/Korallen-Riffkalken eine höhere Rückstandsmenge auftritt als in den benachbarten lagunären Karbonaten, durch Bildung von Inhomogenitätsbereichen im Zusammenhang mit einem wiederholten

Trockenfallen der Riffe und damit verbundener Karbonatlösung, und durch eine hierdurch bedingte frühe Stylolithisierung und Anreicherung von unlöslichem Rückstand.

Eine deutliche Beziehung zwischen der „Reinheit“ von Rifffkarbonaten und bestimmten Riff-Typen läßt sich derzeit nicht erkennen, da gezielte Untersuchungen zu dieser Frage selten sind. Die von SCHORR & KOCH (1985) bearbeiteten hochreinen Malm-Rifffkalke entsprechen „Reef Mounds“, die wahrscheinlich in seichten und zum Teil starkbewegten Flachwasserbereichen gebildet wurden. Ebenfalls in seichten Bewegungszonen sind oberjurassische Sulzfluh-Kalke im Grenzgebiet Vorarlberg/Graubünden entstanden (W. OTT, 1969), die als Reinkarbonate vorliegen (BERTLE, 1982). Bei diesen Kalken handelt es sich um Plattformkarbonate mit kleinen „Reef Mounds“. Das fast völlige Fehlen von siliziklastischen Anteilen könnte sich aus dem Umstand erklären lassen, daß die Sulzfluhkalk-Plattform einer vom Festland isolierten offenermarinen Karbonatplattform entspricht.

Diese Beispiele zeigen, daß auch im Hinblick auf die kausalen Zusammenhänge zwischen den faziellen Entwicklungen von Rifffkarbonaten und deren Eignung als spezielle Industrierohstoffe gezielte Untersuchungen notwendig sind.

Dank

Die Arbeit stellt die erweiterte Fassung eines Vortrages auf dem vom Institut für Geowissenschaften der Montan-Universität Leoben zu Ehren von Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. O. M. FRIEDRICH im Dezember 1987 veranstalteten Symposiums dar. Die Untersuchungen über die Entwicklung der Riff-Typen werden im Rahmen des Forschungsprogrammes „Evolution von Riffen“ (FI 42/49) durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft unterstützt.

Literatur

- AGARD, J. & DUDRESNAY: La region mineralisée du Jbel Bou-Dahar, près de Beni-Tajite (Haut Atlas oriental): Etude géologique et métallogénique. – Notes Mem. Serv. Geol. Maroc, **181**, 135–166, Rabat 1965.
- ANDERTON, R., BRIDGES, P. H., LEEDER, M. R., & SELLWOOD, B. W.: A Dynamic Stratigraphy of the British Isles. A study in Crustal Evolution. – 301 S., Boston – Sidney (Allen and Unwin) 1979.
- ASSERETO, R., BRIGO, L., BRUSCA, C., OMENETTO, P. & ZUFFARDI, P.: Italian Ore/Mineral Deposits Related to Emersion Surfaces – a Summary. – Mineralium Deposita, **11/2**, 170–179, 1 Tab., Berlin – Heidelberg – New York 1976.
- BAKIROV, A. A.: Gigantskie i megagigantskie zony neftegazonakopleniya zapubezhnykh strati i geologicheskie usloviya ikh formirovaniya i razmesheniya v svete ucheniya I.M. Gubkina. – Gubkinskie chteniya, 122–171, Moskva (NEDRA) 1972.
- BAZIN, D. & LEBLANC, M.: Recifes et mineralisations plombezincifères. Exemples empruntés au Haut-Atlas Oriental (Maroc). – Chron. Mines Rech. min., **372**, 1125–120, Paris 1968.
- BECHSTÄDT, T.: Lead-Zinc Ores Dependent on Cyclic Sedimentation (Wetterstein Limestone of Bleiberg-Kreuth, Carinthia, Austria). – Mineralium Deposita, **10**, 234–248, 6 Abb., Berlin – Heidelberg – New York 1975.
- BECHSTÄDT, T. & DOHLER-HIRMER, B.: Lead-Zinc Deposits of Bleiberg-Kreuth. – In: SCHOLLE, P. A., BEBOUT, D. G. & MOORE, C. H. (Hrsg.): Carbonate Depositional Models, 55–63, 13 Abb., Tulsa (Amer. Ass. Petrol. Geol.) 1983.

- BENTZ, A. & MARTINI, H. J.: Lehrbuch der Angewandten Geologie, **2**. – 1355 S., 457 Abb., 112 Tab., Stuttgart (Schweizerbart) 1968.
- BERNARD, A. J.: Metallogenic Processes of Intrakarstic Sedimentation. – In: AMSTUTZ, G. C. & BERNARD, A. J. (Hrsg.): Ores in Sediments, 43–57, 5 Abb., Berlin (Springer) 1973.
- BERNARD, A. & FOGlierini, F.: Etude méthodologique sur la genèse des gisements stratiformes du plomb-zinc en environnement carbonaté. – Econ. Geol. Monograph., **3**, 267–277, 1 Abb., 1 Tab., Lancaster 1967.
- BERTLE, H.: Reinkarbonat-Lagerstätten im Rätikon (Vorarlberg). – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **2**, 7–14, 1 Abb., 6 Tab., Wien 1982.
- BRIGO, L., KOSTELKA, L., OMENETTO, P., SCHNEIDER, H.-J., SCHROLL, E., SCHULZ, O. & STRUCL, O.: Comparative Reflections on Four Alpine Pb-Zn-Deposits. – In: KLEMM, D. D. & SCHNEIDER, H. J. (Hrsg.): Time- and Strata-Bound Ore Deposits, 273–293, 4 Abb., 4 Tab., Berlin (Springer) 1977.
- BRIGO, L. & OMENETTO, P.: Lithogeochemical observations on some Ore-Bearing Triassic Sequences of the Italian Southern Alps. – Monograph Ser. Mineral Deposits, **25**, 95–104, 1 Abb., 1 Tab., Berlin – Stuttgart 1985.
- CALLAHAN, W. H.: Some spatial and temporal aspects of the localization of Mississippi Valley – Appalachian ore deposits. – Econ. Geol. Monograph, **3**, 14–19, 1 Abb., 1 Tab., Lancaster 1967.
- CAMPBELL, N.: Tectonics, reefs and stratiform lead-zinc deposits of the Pine Point Area, Canada. – Econ. Geol., Monograph, **3**, 71–89, 3 Abb., 1 Tab., Lancaster 1967.
- CARMALT, S. W. & JOHN, B. St.: Giant Oil and Gas Fields. – Amer. Ass. Petrol. Geol. Mem., **40**, 11–53, 7 Abb., 8 Tab., Tulsa 1984.
- CASTANIER, S., MAURIN, A. & BIANCHI, A.: Participation bactérienne à la précipitation du carbonate. – C.R. Acad. Sci. Paris, **299**, 1333–1336, Paris 1984.
- CERNY, I. & KOSTELKA, L.: The Development of the Geological Groundwork as Basis for Ore Prospecting at Bleiberg-Kreuth, Austria. – In: JANKOVIC, S. (Hrsg.): Mineral Deposits of the Tethyan Eurasian Metallogenic Belt between the Alps and the Pamirs (Selected examples), 62–68, Abb. 20–21, Beograd (Department Min. Explor. Fac. Mining Geol. Univ. Beograd) 1987.
- CHOQUETTE, P. W. & PRAY, L. C.: Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. – Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull., **54**, 207–250, Tulsa 1970.
- DEVOTO, R. H.: Late Mississippian Paleokarst and Related Mineral deposits, Leadville Formation, Central Colorado. – In: JAMES, N. P. & CHOQUETTE, P. W. (Hrsg.): Paleokarst, 278–305, 28 Abb., New York (Springer) 1988.
- ELF-AQUITAINE: Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés. 2, Eléments d'interprétation. – 231 S., 17 Taf., 76 Abb., Boussens-Pau (Elf-Aquitaine) 1977.
- EVANS, L. L.: Geology of the Brushy Creek Mine, Viburnum Trend, Southeast Missouri. – Econ. Geol., **72**, 381–390, 14 Abb., Lancaster 1977.
- FAGERSTROM, J. A.: The Evolution of Reef Communities. – 600 S., 51 Taf., New York (Wiley) 1987.
- FLÜGEL, E.: Untersuchungen über die Beziehungen zwischen mikrofaziellen und technologischen Merkmalen steirischer Dachsteinkalke (Obertrias; Grimmingstock, Gesäuse). – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergbau Landesmus. Joanneum, **38**, 193–204, 8 Abb., 1 Probenkarte, Graz 1977.
- FLÜGEL, E.: „Algen/Zement“-Riffe. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **10**, Wien 1988.
- FLÜGEL, E. & HADITSCH, J. G.: Vorkommen hochreiner und reiner Kalke im steirischen Salzkammergut. – Arch. Lagerst.forsch. Ostalpen, **15**, 65–83, 6 Abb., Leoben 1975.
- GERDEMANN, P. E. & MYERS, H. E.: Relationship of Carbonate Facies Patterns to Ore Distribution and to Ore Genesis in the Southeast Missouri Lead district. – Econ. Geol., **67**, 426–433, 20 Abb., Lancaster 1977.
- GOTTHARDT, R.: Rifffalksteine aus dem Mitteldevon des Rheinischen Schiefergebirges und aus dem Dogger Luxemburg.

- burgs. Strukturell-fazielle Untersuchungen mit Ausblick auf die Verwendung der Kalksteine in der Kalkindustrie. – Geol. Mitt., **10**, 41–60, 12 Abb., 1 Tab., Aachen 1970.
- GOTTHARDT, R.: Massenkalkvorkommen des Rheinischen Schiefergebirges, ihr geologischer Bau, ihr Abbau und ihre Verwendung in der Steine- und Erdenindustrie. – Schr. Ges. deutsch. Metallh. Bergl., **25**, 7–30, Clausthal-Zellerfeld 1974.
- GRUNDMANN, W. H. Geology of Viburnum, No. 27 Mine, Viburnum Trend, Southeast Missouri. – Econ. Geol., **67**, 349–364, 20 Abb., Lancaster 1977.
- HALBOUTY, M. T., MEYERHOFF, A. A., KING, R. E., DOTT, S. R., KLEMME, H. D. & SHABAD, T.: World's giant oil and gas fields, geologic factors affecting their formation, and basin classification – Part I, Giant oil and gas fields. – In: HALBOUTY, M. T. (Hrsg.): Geology of Giant Petroleum Fields, Amer. Ass. Petrol. Geol. Mem., **14**, 50–90, Tulsa 1970.
- HALLEY, R. B. & LOUCKS, R. G. Hrsg.): Carbonate Reservoir Rocks. – Soc. Econ. Paleont. Min. Core Workshop, **1**, 183 S., Tulsa 1980.
- HARBOUGH, J. W.: Carbonate Oil Reservoir Rocks. – In: CHILINGAR, G. V., BISSELL, H. J. & FAIRBRIDGE, R. W. (Hrsg.): Carbonate Rocks. Origin, Occurrence and Classification. – Dev. Sed., **9A**, 349–398, 39 Abb., Amsterdam (Elsevier) 1967.
- HARRIS, P. M., MOORE, C. H., & WILSON, J. L.: Carbonate Depositional Environments. Modern and Ancient, Part 2: Carbonate platforms. – Colorado School Mines Quart., **89/4**, 60 S., 72 Abb., Golden 1985.
- HOAGLAND, A. D.: Interpretations relating to the genesis of East Tennessee zinc deposits. – Econ. Geol. Monograph, **3**, 52–58, Lancaster 1967.
- JAMES, N. P.: Reefs. – In: WALKER, R. B. (Hrsg.): Facies Models, Geosci. Reprint Ser., **1**, 121–132, Ottawa 1979.
- JAMES, N. P. & CHOQUETTE, P. W. (Hrsg.): Paleokarst. – 416 S., 277 Abb., New York (Springer) 1988.
- JOHN, B. St.: Sedimentary Basins of the World and Giant hydrocarbon Accumulations (A short text to accompany the map: Sedimentary Basins of the World). – 23 S., Amer. Ass. Petrol. Geol., Tulsa 1980.
- KANTOR, J.: Pb-Zn Ores of the Westcarpathian Triassic and the Distribution of Their Sulphur Isotopes. – In: KLEMM, D. D. & SCHNEIDER, H. J. (Hrsg.): Time- and Strata-Bound Ore Deposits, 294–304, 5 Abb., Berlin (Springer) 1978.
- KESLER, S. E. & ASCURRUNZ-K., R.: Lead-Zinc Mineralization in Carbonate Rocks, Central Guatemala. – Econ. Geol., **68**, 1263–1274, 10 Abb., Lancaster 1973.
- KNIG, R. E.: Perspektivy znachitel'nogo uvelicheniya mirovykh zapasov nefi i gaza za schet razvedki stratigraficheskikh lovushkek. – Meschd. nef. kongress, VIII sessiya, DS-4, Stratigraficheskie lovushki, 3–17, Moskva 1971.
- KUZNETSOV, V. G.: Geologiya rivi i ikh neftegazonostob. – 304 S., Moskva (NEDRA) 1978.
- LAGNY, P.: Milieu recifal et mineralisations plombo-zincifères. – 3ème Cycle Sci. Terre, 32.1.–32.16, 11 Abb., Bern 1984.
- LANGBEIN, R., PETER, R. & SCHWAHN, H. J.: Karbonat- und Sulfatgesteine. – Monographienreihe Nutzbare Gesteine und Industriemineralien, 335 S., 172 Abb., 76 Tab., Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie) 1982.
- LARGE, D. E.: Sediment-hosted massive sulphide lead-zinc deposits. An empirical model. – In: SANGSTER, D. F. (Hrsg.): Sediment-hosted stratiform lead-zinc deposits. Short Course Handbook Min. Ass. Canada, **8**, 1–29, 6 Abb., Victoria 1983.
- LARSEN, K. G.: Sedimentology of the Bonnetterre Formation, Southeast Missouri. – Econ. Geol., **72**, 408–419, 8 Abb., Lancaster 1977.
- LASKARIDIS, K.: Beurteilung griechischer weißer Kalke und Dolomite für den industriellen Einsatz (z. B. in der Papierindustrie). – Unveröff. Diss. Naturwiss. Fak. Univ. Erlangen-Nürnberg, 241 S., Erlangen 1987 (Maschinenschrift).
- LÜTTIG, G.: Die oberflächennahen Rohstoffe: Wirtschaftsfaktor, Konfliktursache, Forschungsziel. – Erzmetall, **32**, 419–422, Stuttgart 1979.
- LYLE, J. R.: Petrography and Carbonate Diagenesis of the Bonnetterre Formation in the Viburnum Trend Area, Southeast Missouri. – Econ. Geol., **72**, 420–434, 10 Abb., Lancaster 1977.
- MAUCHER, A. & SCHNEIDER, H. J.: The Alpine lead-zinc ores. – Econ. Geol. Monograph, **3**, 71–89, 10 Abb., Lancaster 1967.
- MAURIN, A. F.: Microbial Micrites. – 4th Internat. Symp. Fossil Algae Cardiff, Abstracts, 24–25, Cardiff 1987.
- MAZZULLO, S.: Stratigraphic Traps in Carbonate Rocks. – Amer. Ass. Petrol. Geol. Reprint Ser., **23**, 217 S., Tulsa 1980.
- MENDELSON, F.: Mineral deposits associated with stromatolites. – In: WALTER, M. R. (Hrsg.): Stromatolites, 645–662, 7 Abb., 1 Tab., Dev. Sed., **20**, Amsterdam (Elsevier) 1976.
- MONSEUR, C.: Synthèse des connaissances actuelles sur le gisement stratiforme de Reocin (Province de Santander, Espagne). – Econ. Geol. Monograph, **3**, 278–293, 1 Taf., 4 Abb., Lancaster 1967.
- MONSEUR, C.: Reef facies, dolomitization and stratified mineralization. – Mineral. Deposita, **7**, 89–99, Berlin 1972.
- MONSEUR, C. & PEL, J.: Reef Environment and Stratiform Ore Deposits (Essay of a Synthesis of the Relationship between Them). – In: AMSTUTZ, G. C. & BERNARD, A. (Hrsg.): Ores in Sediments, 195–207, 3 Abb., 1 Tab., Berlin (Springer) 1973.
- NICOLINI, P.: Les gisements stratiformes de plomb-zinc-barytine-fluorine de Tunisie. – Econ. geol. Monograph, **3**, 322–325, Lancaster 1967.
- NORTH, F. K.: Petroleum Geology. – 607 S., Boston (Allen and Unwin) 1985.
- OTT, W.: Zur Geologie des Sulzfluh-Kalkes (Malm) in Graubünden und Vorarlberg. – Unveröff. Diss. TH Darmstadt, 174 S., 20 Abb., Darmstadt 1969 (Maschinenschrift).
- PADOLINO, G., PRETTI, S., TAMBURRINI, D., TOCCO, S., URAS, I., VIOLO, M. & ZAFFARDI, P.: Ore Deposition in Karst Formations with Examples from Sardinia. – In: AMSTUTZ, G. C. & BERNARD, A. (Hrsg.): Ores in Sediments, 209–220, 8 Abb., Berlin (Springer) 1973.
- PEREIRA, S.: Strata-bound lead-zinc deposits in Irland and Iran. – Econ. Geol. Monograph, **3**, 192–200, 2 Abb., 2 Tab., Lancaster 1967.
- PLAYFORD, Ph. E. & LOWRY, D. C.: Devonian Reef complexes of the Canning Basin, Western Australia. – Geol. Surv. W. Australia Bull., **118**, 150 S., Perth 1966.
- PRATT, B. R.: Stromatolitic framework of carbonate mudmounds. – J. Sed. Petrol., **52**, 1203–1227, Tulsa 1982.
- ROEHL, P. O. & CHOQUETTE, P. W.: Introduction. – In: ROEHL, P. O. & CHOQUETTE, P. W. (Hrsg.): Carbonate Petroleum Reservoirs, 1–15, 3 Abb., 4 Tab., New York (Springer) 1985.
- RHODES, D., LANTOS, E. A., LANTOS, J. A., WEBB, R. J. & OWENS, D. C.: Pine Point Orebodies and their Relationship to the Stratigraphy, Structure, Dolomitization, and Karstification of the Middle Devonian Barrier Complex. – Econ. Geol., **79**, 991–1055, 51 Abb., Lancaster 1984.
- SAINFELD, P.: Les gites plombo-zincifères de Tunisie. – Ann. Mines Geol., **9**, 285 S., Tunis 1952.
- SAMSON, Ph.: Le gisement plombo-zincifère de Toussit: Monographie et interpretation geologique. – Notes Mem. Serv. Geol. Maroc, **181**, 69–91, Rabat 1965.
- SANGSTER, D.: Carbonate-hosted lead zinc deposits. – In: WOLFF, K. H. (Hrsg.): Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits, 447–456, Amsterdam (Elsevier) 1976.
- SCHORR, M. & KOCH, R.: Fazieszonierung eines oberjurassischen Algen-Schwamm-Bioherms (Herrlingen, Schwäbische Alb). – Facies, **13**, 227–270, Taf. 29–34, 11 Abb., Erlangen 1985.
- SCHROEDER, J. H. & PURSER, B. H.: The Diagenesis of Reefs: A Brief Review of Our Present Understanding. – In: SCHROEDER, J. H. & PURSER, B. H. (Hrsg.): Reef Diagenesis, 424–446, Berlin (Springer) 1986.
- SIEGL, F. R.: Properties and Uses of the Carbonates. – In: CHILINGAR, G. V., BISSELL, H. J. & FAIRBRIDGE, R. W. (Hrsg.): Carbonate Rocks. Physical and Chemical Aspects. – Dev. Sed., **9B**, 343–393, 4 Abb., 29 Tab., Amsterdam (Elsevier) 1967.

- SKALL, H.: The paleoenvironment of the Pine point Lead Zinc District. – *Econ. Geol.*, **70**, 22–47, Lancaster 1975.
- SMIRNOW, V. I.: Factor of Time in Formation of Strata-Bound Ore Deposits. – In: KLEMM, D. D. & SCHNEIDER, H. J. (Hrsg.): Time- and Strata-Bound Ore Deposits, 3–18, 3 Abb., Berlin (Springer) 1977.
- SORBY, H. C.: Structure and Origin of Limestones. – Address Anniversary Meeting Geol. Soc. London, 74 S., 18 Taf., London 1879.
- STÄDTER, T. & KOCH, R.: Mikrofazielle und diagenetische Entwicklung einer devonischen Karbonatfolge (Givet) am SE-Rand des Briloner Sattels (Rheinisches Schiefergebirge). – *Facies*, **17**, 215–230, Taf. 21–22, 5 Abb., Erlangen 1987.
- TAUPITZ, K.-Chr.: Textures in some stratiform lead-zinc deposits. – *Econ. Geol. Monograph*, **3**, 90–107, 10 Abb., Lancaster 1967.
- WILSON, J. L.: Characteristics of carbonate platform margins. – *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, **58**, 810–824, Tulsa 1974.
- WILSON, J. L.: Carbonate facies in geologic history. – 471 S., New York (Springer) 1975.