

Kohlenstoff-Schwefel-Beziehungen in Schwarzschiefern der Schönberg Formation (Obersilur/Unterdevon des Grazer Paläozoikums, Österreich): ein Produktivitätsmodell zur Entstehung altpaläozoischer Schwarzschiefer

Gerd RANTITSCH, Fritz EBNER, Barbara RUSSEGER
und Leopold WEBER

Mit 4 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung

Die Beziehung zwischen organisch gebundenem Kohlenstoff und pyritisch gebundenem Schwefel innerhalb obersilurisch/unterdevonischer Schwarzschiefer der Schönberg Formation (Grazer Paläozoikum) ist indikativ für einen euxinischen Ablagerungsraum. Der Anteil an syngenetisch gebildetem Pyrit definiert drei Probengruppen. Die Unterschiede im Sedimentationsraum dieser Gruppen werden durch ein Produktivitätsmodell erklärt, in dem die Bioproduktivität in der Wassersäule das Sauerstoffangebot im Bodenwasser bestimmt.

Abstract

The relationship between organically bound carbon and pyritically bound sulfur within the late Silurian to early Devonian black shales of the Schönberg Formation (Graz Paleozoic) is indicative for an euxinic depositional environment. The content of syngenetic built pyrite defines three sample groups. This clustering is explained by changing bioproductivity within the water column, controlling the oxygen supply in the bottom water.

Einleitung

Schwarzschiefer (black shales) sind dunkel gefärbte, feinkörnige Tonsteine mit sedimentologischen, paläoökologischen und geochemischen Hinweisen auf ein eingeschränktes Sauerstoffangebot während der Sedimentation

(TYSON, 1987). Die meisten Schwarzschiefer sind an organischen Substanzen angereichert. Diese Anreicherung wird entweder durch eine Verbesserung der Erhaltungsbedingungen (Erhaltungsmodell) oder durch eine erhöhte Bioproduktivität in der Wassersäule (Produktivitätsmodell) erklärt (vgl. DEMAISON & MOORE, 1980; LITCKE, 1993; WIGNALL, 1994).

Die untere Deckengruppe (FRITZ et al., 1991) des Grazer Paläozoikums zeigt eine lithologische Gliederung in eine basale vulkanogene, in eine mittlere pelitische und in eine hangende, durch Karbonatgesteine geprägte Abfolge. In der stratigraphischen Neugliederung des Grazer Paläozoikums (FLÜGEL, 1998) werden diese Abfolgen zur Peggau Gruppe zusammengefaßt. Die obersilurisch/unterdevonischen, (TSCHELAUT, 1985) durch einen basischen Vulkanismus beeinflussten, Schwarzschiefer und dunklen Karbonatgesteinen des mittleren Abschnittes werden nach FLÜGEL (1998) als Schönberg Formation bezeichnet. Der dafür seit EBNER & WEBER (1978) verwendete Begriff der Arzberg Schichten wird von FLÜGEL (1998) verworfen, da er homonym mit dem Arzbergkalk der Grestener Klippenzone ist.

Die regionale Verbreitung der Schönberg Formation beschränkt sich auf die ÖK Blätter 133-135 und 163-165. Im Raum der Typuslokalität (im Raum Arzberg auf der ÖK 134) wird die Schönberg Formation in zwei Member, in das liegende, durch Schwarzschiefer dominierte Rauchenberg Member und in das hangende, durch dunkle Karbonatgesteine geprägte Kreuzwirt Member untergliedert.

Charakteristisch für die aus Grünschiefern (basische Metavulkanite), Karbonatphylliten, Serizitphylliten und Schwarzschiefern bestehende Schichtfolgen der Schönberg Formation (Abb. 1) sind die mit dem basischen Vulkanismus syngenetisch entstandenen (WEBER, 1990) exhalativen Blei-Zink-Baryt-Vererzungen (Blei-Zink-Baryt-Lagerstättenbezirk des Grazer Paläozoikums; WEBER, 1997). Ihre Verbreitung wird durch die primäre Beckentopographie mit zahlreichen kleinräumigen Mulden vorgegeben. Baryt-dominierte Mineralisationen findet man im Liegenden der mineralisierten Abfolge und in paläogeographischen Schwellenpositionen (WEBER, 1990).

Ziel dieser Arbeit ist die geochemische Evaluierung der Redoxverhältnisse im Ablagerungsraum der Schwarzschiefer der Schönberg Formation. Dazu wird die Beziehung zwischen organisch gebundenem Kohlenstoff und pyritisch gebundenem Schwefel herangezogen. Davon ausgehend soll ein Modell erstellt werden, welches die Anreicherung an organischem Kohlenstoff im Sediment erklärt und den Einfluß organischer Substanzen auf die sulfidische Erzfällung bewertet.

Abb. 1

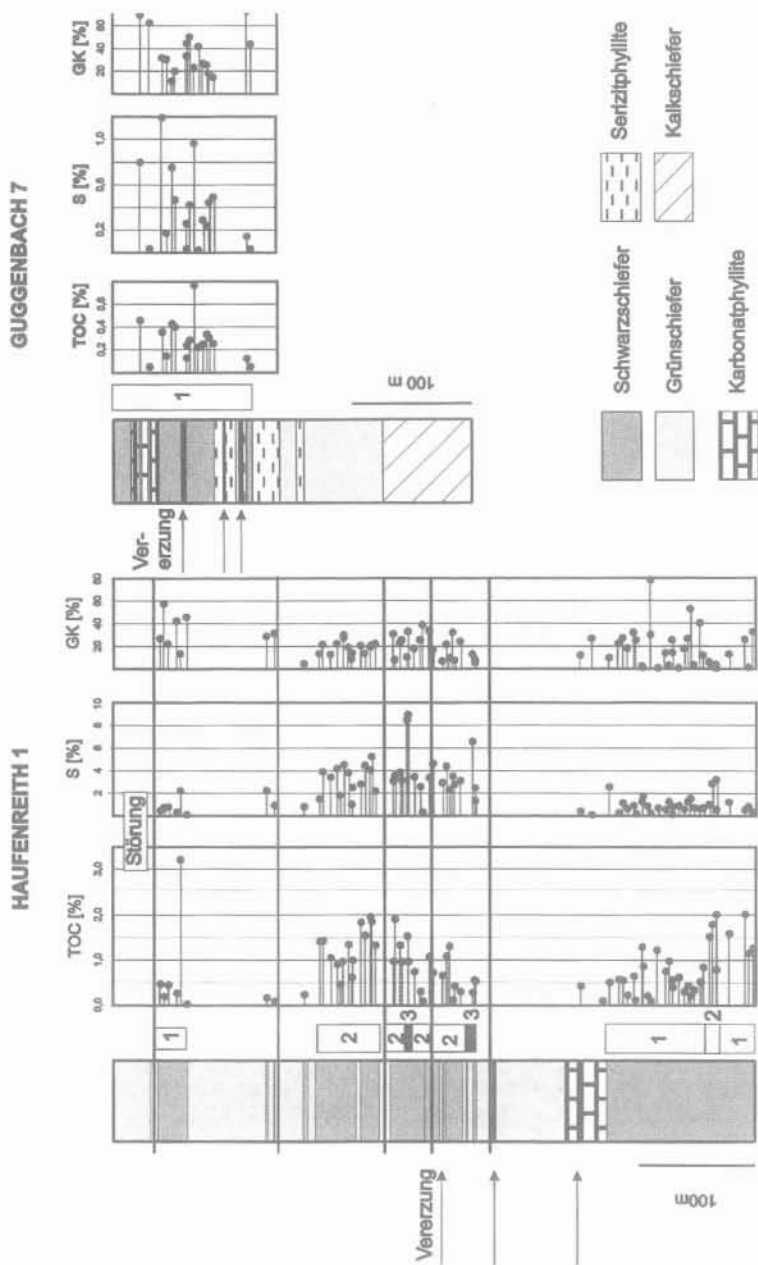


Abb.1: Bohrprofile der Explorationsbohrungen Haufenreith 1 und Guggenbach 7 (WEBER, 1990) mit den Analyseergebnissen (TOC = organischer Kohlenstoffgehalt, S = Gesamtschwefelgehalt, GK = Gesamtkarbonatgehalt) und den nach dem Anteil an syngenetischem Pyrit unterschiedenen Proben Gruppen (siehe Text).

Proben

Die 100 untersuchten Proben sind unverwitterte, schwarz gefärbte Tonschiefer der Schönberg Formation. Der Metamorphosegrad der Proben liegt in der beginnenden Grünschieferfazies (vgl. HASENHÜTTL & RUSSEGGGER, 1992; RUSSEGGGER, 1996), wobei die Vitrinitreflexion das Semi-Graphit-Stadium der organischen Metamorphose anzeigt. Der im Gestein disseminiert vorliegende Pyrit zeigt sowohl framboidale als auch euhedrale Kornformen.

- In der Explorationsbohrung "Haufenreith 1" (ÖK 134, NE Arzberg) wurde das Rauchenberg Member mit 75 Proben beprobt. Die Vererzung im liegenden Teil der Abfolge (Abb. 1) entspricht einem der Haufenreither Liegendlager ("Maxlager").
- In der Explorationsbohrung "Guggenbach 7" (ÖK 163, SE Übelbach) wurde das Rauchenberg Member mit 17 Proben beprobt.
- Im Silberberg-Explorationsstollen (ÖK 163, SE Übelbach) wurden bei Stollenlauflinien 135, 140, 150, 155, 200, 210, 225 und 310 jeweils eine Probe entnommen. Im beprobten Stollenabschnitt sind neben diesen Schwarzschiefer auch Serizitschiefer aufgeschlossen, die mit Zinkblende (eines der Hangendlager) vererzt sind.

Die genannten Aufschlußarbeiten wurden 1976-1983 im Zuge der Blei-Zink-Prospektion/Exploration durch die BBU durchgeführt. Die geologische Situation der beprobten Gebiete ist in WEBER (1990) detailliert beschrieben.

Methodik

Pro Probe wurden 100 g bis 200 g Gestein in einer Kugelmühle homogenisiert. Mit Hilfe eines LECO-Vebrennungsofens wurde der Gehalt an Gesamtkohlenstoff, organisch gebundenem Kohlenstoff (TOC = total organic carbon) und an Gesamtschwefel (S) gemessen. Aus der Differenz des Gesamtkohlenstoffgehaltes und des TOC wurde aus der Stöchiometrie des CaCO_3 der Karbonatgehalt berechnet. Der Gesamtschwefelgehalt wird als pyritisch gebundener S betrachtet (vgl. RUSSEGGGER et al., 1997). Die Elementkonzentrationen werden in Gewichtsprozent (%) angegeben und repräsentieren das arithmetische Mittel aus drei Messungen derselben Probe. Aus der Kalibrierung der Messungen mit Stahlstandards resultierte eine Genauigkeit von 40 ppm C bzw. 8 ppm S und eine Präzision von $\pm 5\%$ des Mittelwertes von C und S bei einer Nachweisgrenze von 2 ppm C und S.

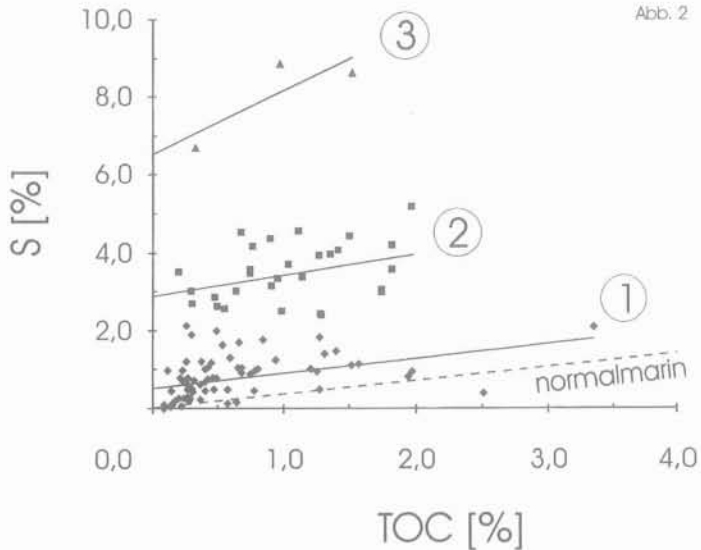


Abb.2: Beziehung zwischen dem Gehalt an organischem Kohlenstoff (TOC) und Gesamtschwefel (S). In diesem Diagramm können drei Probengruppen unterschieden werden. Die strichlierte Linie zeigt die TOC/S-Beziehung für normalmarine devonische Sedimente nach BERNER & RAISWELL (1983).

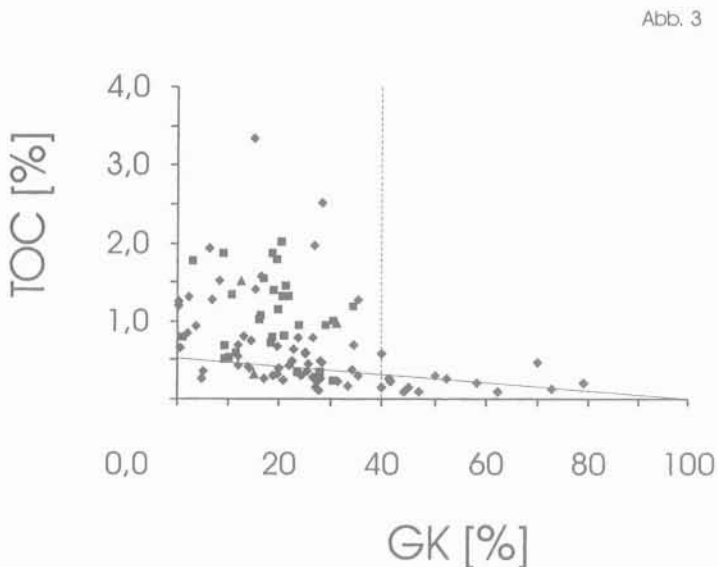


Abb. 3: Beziehung zwischen Gesamtkarbonatgehalt (GK) und Gehalt an organischem Kohlenstoff (TOC). Bei Karbonatgehalten über 40% (strichlierte Linie) ist eine ausgeprägte Karbonatverdünnung des organischen Sedimentanteiles festzustellen (siehe Korrelationsgerade).

Zur geochemischen Charakterisierung der Schwarzschiefer wurden repräsentative Proben aus jeweils 1m langen Kernstrecken der Explorationsbohrungen auf spezifische Elemente (Cu, Fe, Ca, Ba, Sr, Mg, Pb, Zn, Mn) untersucht. Details über die von der BBU mittels AAS-Analytik durchgeführten Untersuchungen sind in WEBER (1990) zu finden. Durch die Variabilität der TOC- und S-Gehalte innerhalb dieser Abschnitte können diesen Werten daher nur generelle Mittelwerte der entsprechenden Elementgehalte zugewiesen werden.

Ergebnisse

Die Analysenergebnisse sind in Abb. 1-3 und in Tab. 1-2 dargestellt. In den beprobten Gesteinen sind beträchtliche Anreicherungen von TOC (bis zu 3,35 %) und S (bis zu 8,85 %) zu beobachten. Dabei ist in beiden Bohrungen weder ein stratigraphischer Trend noch ein Einfluß einzelner Erzlagen (Bleiglanz und Zinkblende) auf die Kohlenstoff- und Schwefelwerte nachzuweisen (siehe Abb. 1).

Die Beziehung zwischen organisch gebundenem Kohlenstoff und pyritisch gebundenem Schwefel erlaubt es, in Abb. 2 drei Probengruppen zu erkennen. Diese Gruppen unterscheiden sich statistisch signifikant (am 95% Signifikanzniveau) in ihren TOC- und S-Gehalten, sowie in den unterschiedlichen Schnittpunkten ihrer Korrelationsgeraden mit der S-Achse. Eine Gruppierung aufgrund der Probenlokationen ist nicht möglich.

Die Proben zeigen sehr variable Karbonatgehalte zwischen 0,1% und 79,2% (Abb. 3, Tab. 1). In Proben mit einem Karbonatgehalt über 40% ist eine deutliche Verdünnung des organischen Sedimentanteiles durch den karbonatischen Anteil erkennbar. In den Proben mit geringeren Karbonatgehalten ist die Sedimentation durch die Variabilität des Anteiles an organischen Substanzen gesteuert (vgl. RICKEN, 1991).

Gegenüber den globalen Elementgehalten von Schwarzschiefern (VINE & TOURTELOT, 1970) sind erhöhte Ca-, Mg-, Fe- und Pb-Gehalte festzustellen (s. Tab. 2).

Diskussion

Das Verhältnis von organisch gebundenem Kohlenstoff (TOC) zu pyritisch gebundenem Schwefel (S) eines Sedimentes gibt Hinweise zu den primären Ablagerungsbedingungen. Nach BERNER & RAISWELL (1984) und LEVENTHAL (1983) ist es möglich, mit Hilfe von sog. TOC/S-Diagrammen (Abb. 2) normal-marine, euxinische und nicht-marine Sedimente voneinander zu unterscheiden.

Tab. 1

	N	TOC [%]				S [%]				GK [%]			
		min	max	mean	sd	min	max	mean	sd	min	max	mean	sd
Haufenreith 1	75	0,088	3,352	0,863	0,603	0,052	8,852	2,181	1,832	0,14	79,22	21,00	13,87
Guggenbach 7	17	0,085	0,792	0,299	0,172	0,012	1,201	0,400	0,354	11,92	73,05	37,29	18,42
Silberberg	8	0,270	2,513	0,816	0,766	0,391	1,899	1,057	0,658	6,87	28,21	22,83	7,12
Gesamt	100	0,085	3,352	0,763	0,602	0,012	8,852	1,788	1,746	0,143	79,22	23,91	15,47

Tab. 2

	glob	Haufenreith 1					Guggenbach 7					Gesamt				
		N	min	max	mean	sd	N	min	max	mean	sd	N	min	max	mean	sd
Ba	0,03	57	0.015	0.570	0.117	0.124	28	0.007	0.345	0.058	0.063	87	0.007	0.570	0.097	0.110
Ca	1,5	57	3.300	20.600	8.592	3.399	28	3.300	8.700	5.993	1.563	87	3.300	20.600	7.688	3.140
Cu	0,007	57	0.004	0.050	0.008	0.006	28	0.006	0.011	0.008	0.001	87	0.004	0.050	0.008	0.005
Fe	2,0	57	2.300	8.900	5.141	1.188	28	5.100	8.700	6.868	0.956	87	2.300	8.900	5.747	1.386
Mg	0,7	57	0.700	3.200	1.329	0.428	28	0.850	1.600	1.195	0.202	87	0.700	3.200	1.283	0.369
Mn		57	0.018	0.275	0.092	0.070	28	0.027	0.167	0.072	0.033	87	0.018	0.275	0.085	0.060
Pb	0,002	57	0.010	0.082	0.016	0.012	28	0.010	0.016	0.011	0.002	87	0.010	0.082	0.014	0.010
Sr	0,02	57	0.006	0.062	0.032	0.014	28	0.009	0.043	0.019	0.008	87	0.006	0.062	0.027	0.014
Zn	<0,03	57	0.005	0.360	0.024	0.055	28	0.005	0.025	0.010	0.005	87	0.005	0.360	0.020	0.045

Tab.1: Gehalt an organischem Kohlenstoff (TOC), Gesamtschwefel (S) und Gesamtkarbonat in den untersuchten Proben (min = Minimalwert, max = Maximalwert, mean = arithmetisches Mittel, sd = Standardabweichung).

Tab.2: Anorganische Geochemie in % der untersuchten Schwarzschiefer Proben (min = Minimalwert, max = Maximalwert, mean = arithmetisches Mittel, sd = Standardabweichung). Zum Vergleich sind die globalen Mittelwerte von Schwarzschiefern nach VINE & TOURTELLOT (1970) angeführt (glob).

In einem solchen Diagramm sind euxinische Verhältnisse durch erniedrigte TOC/S-Verhältnisse und einen positiven S-Abschnitt gekennzeichnet. Diese Beziehung wird durch die Reaktion von bakteriell gebildeten H_2S mit detritischen Eisenmineralien, die zur Entstehung von sedimentären Pyrit führt, erklärt.

In einem euxinischen Ablagerungsraum, in dem freies H_2S im Bodenwasser vorhanden ist, ist die syngenetische Pyritbildung durch das organische Angebot nicht beschränkt. Dadurch bildet sich der Pyrit über und auf der Wasser-Sediment-Grenzfläche. Der limitierende Faktor für die Pyritbildung ist das Angebot an reaktivem Eisen. Die positive Steigung der TOC/S-Korrelationsgeraden entsteht durch den Anteil an diagenetisch (nach der Sedimentation) gebildeten und organisch limitierten Pyrit oder durch eine Eisen-limitierte syngenetische Pyritbildung (RAISWELL & BERNER, 1985).

Alle drei Probengruppen in Abb. 2 zeigen den für euxinische Verhältnisse typischen positiven S-Abschnitt der Korrelationsgeraden. Diese Beobachtung ergibt sich auch dann, wenn man einen signifikanten metamorphosebedingten Verlust an Kohlenstoff (vgl. RAISWELL & BERNER, 1987) nach der Sulfat-reduktion in Betracht zieht.

Die unterschiedliche Höhe der Gerade zeigt den variablen Anteil an syngenetischem Pyrit. Diese Unterschiede können durch variable H_2S -Gehalte im Bodenwasser, durch variable Gehalte an reaktivem Eisen, oder durch unterschiedliche Mächtigkeiten der H_2S -führenden Wasserschichte über dem Sediment erklärt werden (vgl. LEVENTHAL, 1983). Das mittlere TOC/S-Verhältnis der Probengruppen hängt nicht vom Eisengehalt ab (vgl. Abb. 2 mit Abb. 4). Nach DEAN & ARTHUR (1989) ist dies ein Anzeichen für eine organische Limitierung der diagenetischen Pyritbildung.

In Abb. 4 sind die Elementgehalte innerhalb der drei Probengruppen dargestellt. Am statistischen Signifikanzniveau von 95% nimmt mit steigenden Anteilen an syngenetischem Pyrit der Ba-, Pb- und der Ca-Gehalt signifikant ab und der Fe-Gehalt signifikant zu. Der Mn-Gehalt zeigt eine Abnahme am Signifikanzniveau von 90%. Da Ba und Mn unter reduzierenden Verhältnissen löslich sind (vgl. FINLOW-BATES, 1980; FORCE & CANNON, 1988) kann eine zunehmende Mobilisierung dieser Elemente durch den Einfluß der reduzierenden Bedingungen im Bodenwasser erkannt werden.

Mit einer Verstärkung des klastischen Eintrages in den Ablagerungsraum nimmt der Anteil an syngenetischem Pyrit zu. Sinkt der Karbonatgehalt unter 40 %, so ist der TOC-Gehalt vom Karbonatgehalt unabhängig (organische Deposition, s. Abb. 3). Der Anteil an organischem Kohlenstoff im Sediment hängt dann vom Angebot an organischer Substanz und von der entsprechenden Sedimentationsrate ab.

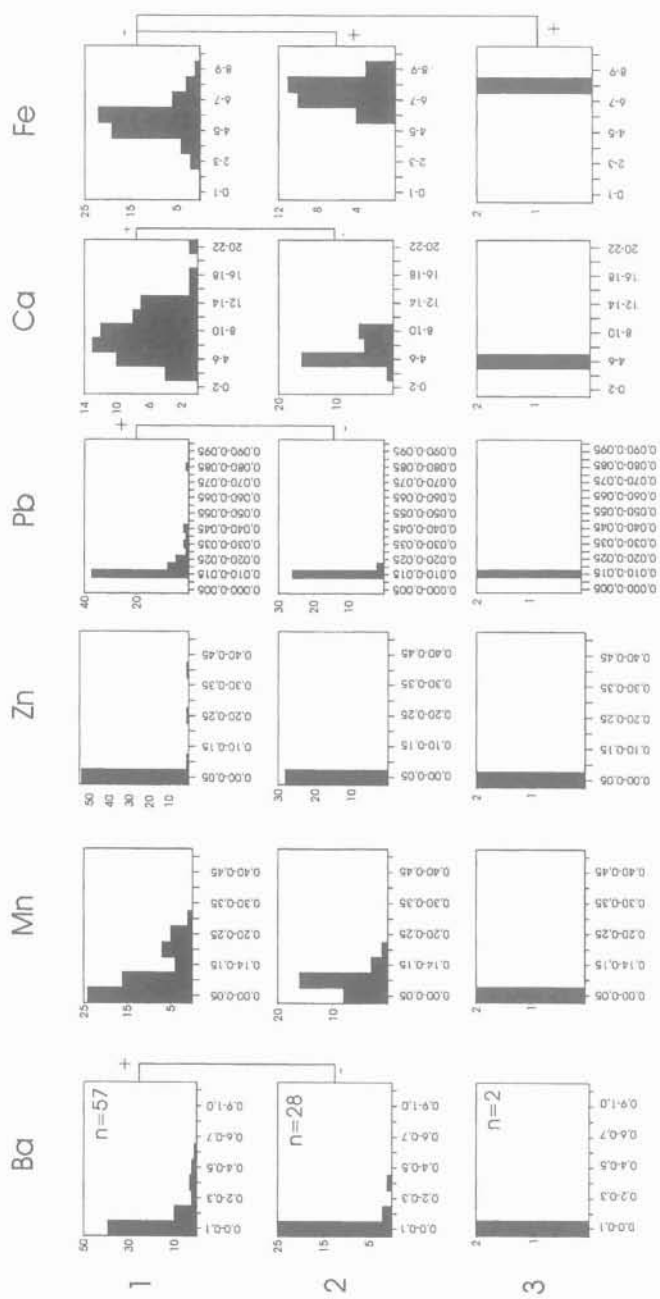


Abb. 4

Abb.4: Häufigkeitsverteilung ausgewählter Elementgehalte der in Abb. 2 unterschiedenen Probengruppen. Statistisch signifikante (95% Signifikanzniveau) Mittelwerts-Unterschiede sind markiert.

Schlußfolgerungen

Innerhalb des Ablagerungsraumes der obersilurisch/unterdevonischen Schwarzschiefer der Schönberg Formation sind aufgrund der Beziehungen zwischen organisch gebundenem Kohlenstoff und pyritisch gebundenem Schwefel euxinische Verhältnisse anzunehmen. Der Schnittpunkt der TOC/S-Korrelationsgeraden mit der S-Achse (Abb. 2) ist ein Maß für den Anteil des im Ablagerungsraum syngenetisch gebildeten Pyrit.

Mit einer Verstärkung des detritären Eintrages nimmt auch der Anteil an syngenetischem Pyrit zu. In Analogie zu rezenten und fossilen Beispielen (DEMAISON & MOORE, 1980; LITTKKE, 1993; WIGNALL, 1994) kann daher ein Produktivitätsmodell angenommen werden, in dem der klastische Eintrag eine Erhöhung der Nährstoffkonzentration in der Wassersäule bewirkt. Dadurch steigt die organische Primärproduktion und erniedrigt die Sauerstoffkonzentration in der darunterliegenden Wassersäule. Durch die Ausdehnung der anoxischen Zone erhöht sich der absolute H_2S -Gehalt über der Sediment-Wasser-Grenzfläche und der Anteil an syngenetischem Pyrit in abgeschlossenen Beckenbereichen nimmt zu. Mit der Annahme eines dabei unverändert bleibenden sedimentären Liefergebietes bleibt der relative Anteil an reaktiven Eisen konstant und kann nicht zur Erhöhung des Anteiles an syngenetischem Pyrit führen.

Die Variabilität der Redoxverhältnisse im Ablagerungsraum der Schwarzschiefer zeigt keine Beziehung zu den syngenetischen Pb/Zn-Vererzungen. Ein kausaler Zusammenhang zwischen der Ausweitung der anoxischen Zone im Bodenwasser und der Fällung von Erzmitteln ist nicht festzustellen. Die Erzkonzentrationen entstehen vielmehr durch den episodischen Austritt von vulkanischen Exhalationen in abgeschlossene Beckenbereiche (WEBER, 1990).

Dank

Die Arbeiten wurden im Rahmen des FWF Projekt P 10277-TEC (Schwarzschiefer in Österreich) und des IGCP Projektes 357 (Organic and Mineral Deposits) durchgeführt. Prof. W. GRÄF und Dr. I. FRITZ danken wir für den Zugang zu den Explorationsbohrungen Haufenreith 1 und Guggenbach 7, die sich im Steirischen Bohrchiv des Landesmuseums Joanneum befinden.

Literatur

- BERNER, R.A. & RAISWELL, R. (1983): Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 855-862, London.
- BERNER, R.A. & RAISWELL, R. (1984): C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks.- *Geology*, 12, 365-368, Boulder.
- DEAN, W.E. & ARTHUR, M.A. (1989): Iron-sulfur-carbon relationships in organic-carbon-rich sequences I: Cretaceous Western Interior Seaway.- *American Journal of Science*, 289, 708-743, New Haven.
- DEMAISON, G.J. & MOORE, G.T. (1980): Anoxic environments and oil source bed genesis.- *AAPG Bull.*, 64, 1179-1209, Tulsa.
- EBNER, F. & WEBER, L. (1978): Die geologisch-tektonischen Verhältnisse zwischen Tannebenstock und Rötschgraben (Grazer Paläozoikum).- *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, 108, 95-113, Graz.
- FLÜGEL, H.W. (1998): Die lithostratigraphische Gliederung des Paläozoikums von Graz.- *Jb. Geol. B.-A.*, 141, Wien, (in Druck).
- FINLOW-BATES, T. (1980): The chemical and physical controls on the genesis of submarine exhalative orebodies and their implications for formulating exploration concepts: A review.- *Geol. Jb.*, D40, 131-168, Hannover.
- FORCE, E.R. & CANNON, W.F. (1988): Depositional model for shallow-marine manganese deposits around black shale basins.- *Economic Geology*, 83, 93-117.
- FRITZ, H., NEUBAUER, F., RATSCHBACHER, L. (1991): Compression versus extension in the Paleozoic of Graz.- *Zbl. Geol. Paläont.*, 1991, 55-68, Stuttgart.
- HASENHÜTTL Ch., RUSSEGGER, B. (1992): Niedrigstgradige Metamorphose im Grazer Paläozoikum.- *Jb. Geol. B.-A.*, 135, 287-297, Wien.
- LEVENTHAL, J.S. (1983): An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as indicators of environments of deposition.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 133-137, London.
- LITKE, R. (1993): Deposition, diagenesis and weathering of organic matter-rich sediments.- *Lecture Notes in Earth Sciences*, 47, 216 S., Berlin (Springer Verlag).
- RAISWELL, R. & BERNER, R.A. (1985): Pyrite formation in euxinic and semi-euxinic sediments.- *American Journal of Science*, 285, 710-724, New Haven.
- RAISWELL, R. & BERNER, R.A. (1987): Organic carbon losses during burial and thermal maturation of normal marine shales.- *Geology*, 15, 853-856, Boulder.
- RICKEN, W. (1991): Variations of sedimentation rates in rhythmically bedded sediments: distinction between depositional types. In: G. EINSELE, W. RICKEN, & A. SEILACHER (Hrsg.): *Cycles and events in stratigraphy*.- 167-187, Springer Verlag, Heidelberg.

- RUSSEGGER B. (1996): Niedrigst- bis niedriggradige Metamorphose im südlichen Grazer Paläozoikum (Ostalpen).- Jb. Geol. B.-A., 139, 93-100, Wien.
- RUSSEGGER, B., RANTITSCH, G. & EBNER, F. (1997): Carbon-Sulfur ratios in Paleozoic sediments of the Eastern and Southern Alps (Austria).- Zbl. Geol. Paläont. Teil I, 573-583, Stuttgart.
- TSCHELAUT, W. (1985): Über das Alter der Arzberger Schichten und der Blei-Zink-Vererzung im Grazer Paläozoikum.- Jb. Geol. B.-A., 128, 241-243, Wien.
- TYSON, R.V. (1987): The genesis and palynofacies characteristics of marine petroleum source rocks. In: J.R.V. BROOKS & A.J. FLEETS (Hrsg.): Marine petroleum source rocks. - Geological Society Special Publication, 26, 47-68, Oxford.
- VINE, J.D. & TOURTELOT, E.B. (1970): Geochemistry of black shale deposits - a summary report.- Economic Geology, 65, 253-272, New Haven.
- WEBER, L. (1990): Die Blei-Zinklagerstätten des Grazer Paläozoikums und ihr geologischer Rahmen.- Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 12, 1-128, Wien.
- WEBER, L. (1997): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs.- Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 19, 607 S., Wien.
- WIGNALL, P.B. (1994): Black shales.- 127 S., Oxford (Clarendon Press).

Anschrift der Verfasser:

Dr. Gerd RANTITSCH, Univ.-Prof. Dr. Fritz EBNER, Dr. Barbara RUSSEGGER, Institut für Geowissenschaften, Montanuniversität Leoben, A-8700 Leoben.

Doz. Dr. Leopold WEBER, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Landstraßer Hauptstraße 55-57, A-1031 Wien.