

H. Jödicke

Zum Zusammenhang zwischen "mass biological extinction events"
und elektrischer Leitfähigkeit

Fragt man im Rahmen der Interpretation von Leitfähigkeitsmodellen nach möglichen Ursachen für Zonen extrem erhöhter Leitfähigkeit in der Kruste, dann scheint Schwarzschiefern eine besondere Bedeutung zuzukommen (Jödicke, 1984; Stanley et al., 1987; Duba et al., 1988; Stanley, 1989; Jödicke, 1990). Schwarzschiefer sind, vereinfacht gesagt, Tonschiefer mit einem Anteil von mehr als ca. 0.5% an organischem Kohlenstoff (C_{org}). Der Erhalt organischen Materials ist ein wichtiger Hinweis auf anoxische Bedingungen während der Sedimentation. Hohe Leitfähigkeit, die an Schwarzschiefern beobachtet werden kann, setzt voraus, daß der organische Anteil das Stadium der Anchimetamorphose (sehr schwache Metamorphose) bzw. das Inkohlungsstadium des Metaanthrazits, um die hier angemessene Terminologie der Kohlenpetrographie (Stach et al., 1982) zu verwenden, erreicht hat und damit elektronisch leitfähig wird. Nur bei ausreichender intergranularer Vernetzung des Kohlenstoffs, die vermutlich einen Mindestgehalt von 3% C_{org} erfordert, entsteht eine hohe Leitfähigkeit auch des Gesamtgesteins.

Auch hinsichtlich ihrer Entstehung als Sediment stellen Schwarzschiefer in vielen Fällen Besonderheiten dar. Sie sind z.B. an Phasen von Transgression oder auch Regression, d.h. an spezielle "paläogeographische Wendepunkte" gebunden und können in der Stratigraphie deshalb häufig als großräumig korrelierbare Marker-Horizonte verwendet werden. Von besonderem Interesse sind solche meist nur geringmächtigen Lagen dann, wenn sie großregional oder sogar weltweit isochrone Ereignisse widerspiegeln. Das Interesse an derartigen "global events" gilt zum einen den sie auslösenden Faktoren und zum anderen den Auswirkungen auf die Entwicklung der marinen und terrestrischen Flora und Fauna.

Ein sicherlich spektakuläres und gut dokumentiertes Beispiel ist das "K/T boundary event", d.h. das "Ereignis" an der Wende von der Kreidezeit zum Tertiär, das mit dem weltweiten Aussterben der Saurier und einer großen Anzahl mariner Tierfamilien, z.B. Cephalopoden, Schnecken, Muscheln, Seesterne, Schwämme sowie aller Ammoniten in Verbindung gebracht wird (Sepkoski, 1982). Es gehört zu den größeren Floren- und Faunenschnitten ("mass extinction events"), die für marine Lebewesen im Phanerozoikum beschrieben worden sind (Abb. 1) (Sepkoski, 1982; 1986).

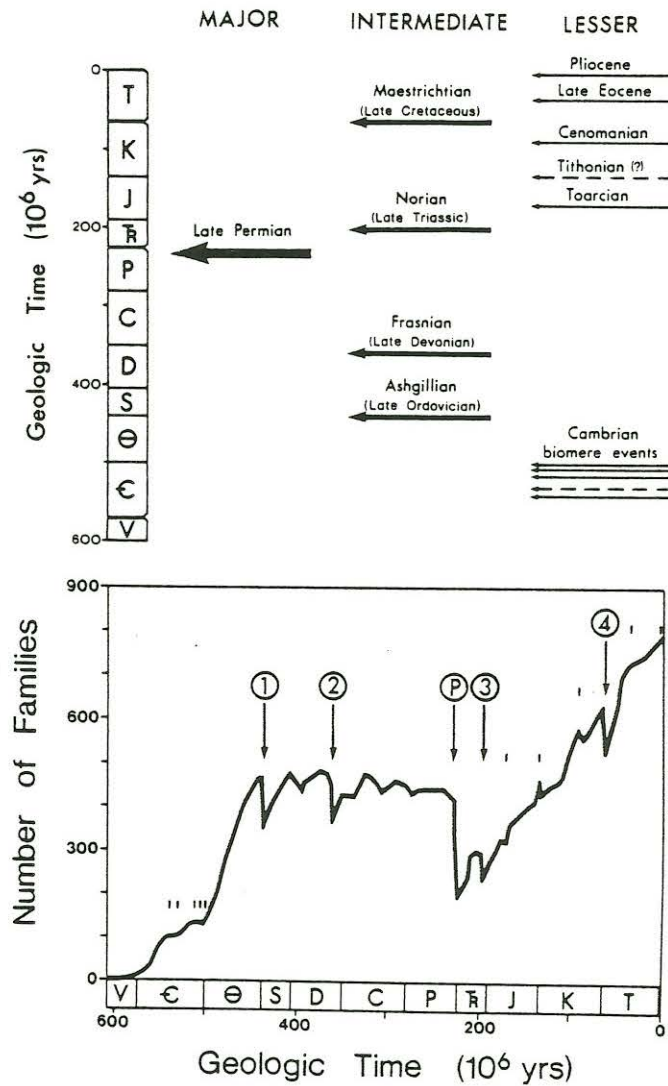


Abb. 1: Die Verteilung der wichtigsten "mass extinction events" im Phanerozoikum (oben); die zugehörige Zahl skelett-bildender mariner Lebewesen (unten) (aus Sepkoski, 1982)

Als Erklärung für derartige Faunen- und Florensnitte ist eine Reihe von Hypothesen aufgestellt worden. Sie umfassen sowohl terrestrische als auch extraterrestrische Ursachen (z.B. Flessa et al., 1986):

- stark erhöhte vulkanische Aktivität
- Impakt durch Meteoriten
- Umpolung des Erdmagnetfeldes
- periodisch wiederkehrende Katastrophen durch kosmischen Begleiter der Erde mit Umlaufzeit von 26 Mill. Jahren
- Klimawechsel
- Entzug des geeigneten Lebensraums, z.B. durch Änderung des hydrographischen Systems
- taxonomische Gesetzmäßigkeiten, die zum Aussterben von Gattungen führen

Der Einblick in die zugehörige, teilweise sehr kontrovers geführte Diskussion ist reizvoll und lohnend. Im folgenden wird, da der Zusammenhang mit der elektrischen Leitfähigkeit im Vordergrund stehen soll, der Aspekt der Schwarzschieferbildung herausgegriffen. Wichtige, vielleicht exemplarische Hinweise hierzu ergeben sich aus Detailuntersuchungen des bereits genannten "Ereignisses" an der K/T-Grenze: Es kann innerhalb der stratigraphischen Abfolge vielerorts, z.B. in Dänemark, Österreich, Italien, Spanien, Japan, im Atlantik und im Pazifik, anhand einer nur wenige cm mächtigen Grenzbank aus dunklen bituminösen Tonschiefern festgelegt werden (als dunkler "fish clay" fällt sie an der dänischen Küste innerhalb einer Serie weißer Kalke bei Stevns Klint, ca. 40 km S' Stockholm, besonders auf) (Hsü et al., 1982; Smit, 1982). Chemische Analysen und Isotopenuntersuchungen dieses Grenzbereichs an einem diagenetisch noch nicht überprägten Bohrkern aus dem "Deep Sea Drilling Project" im südlichen Atlantik zeigen neben der bekannten Iridium-Anomalie einen scharfen Rückgang des Gehalts an Calcit (CaCO_3) im Bereich des Grenztons ("BC") und eine Verschiebung der Isotopenverteilung von Sauerstoff und Kohlenstoff (Abb. 2).

Leg 73 Site 524 Core 20 Section 3

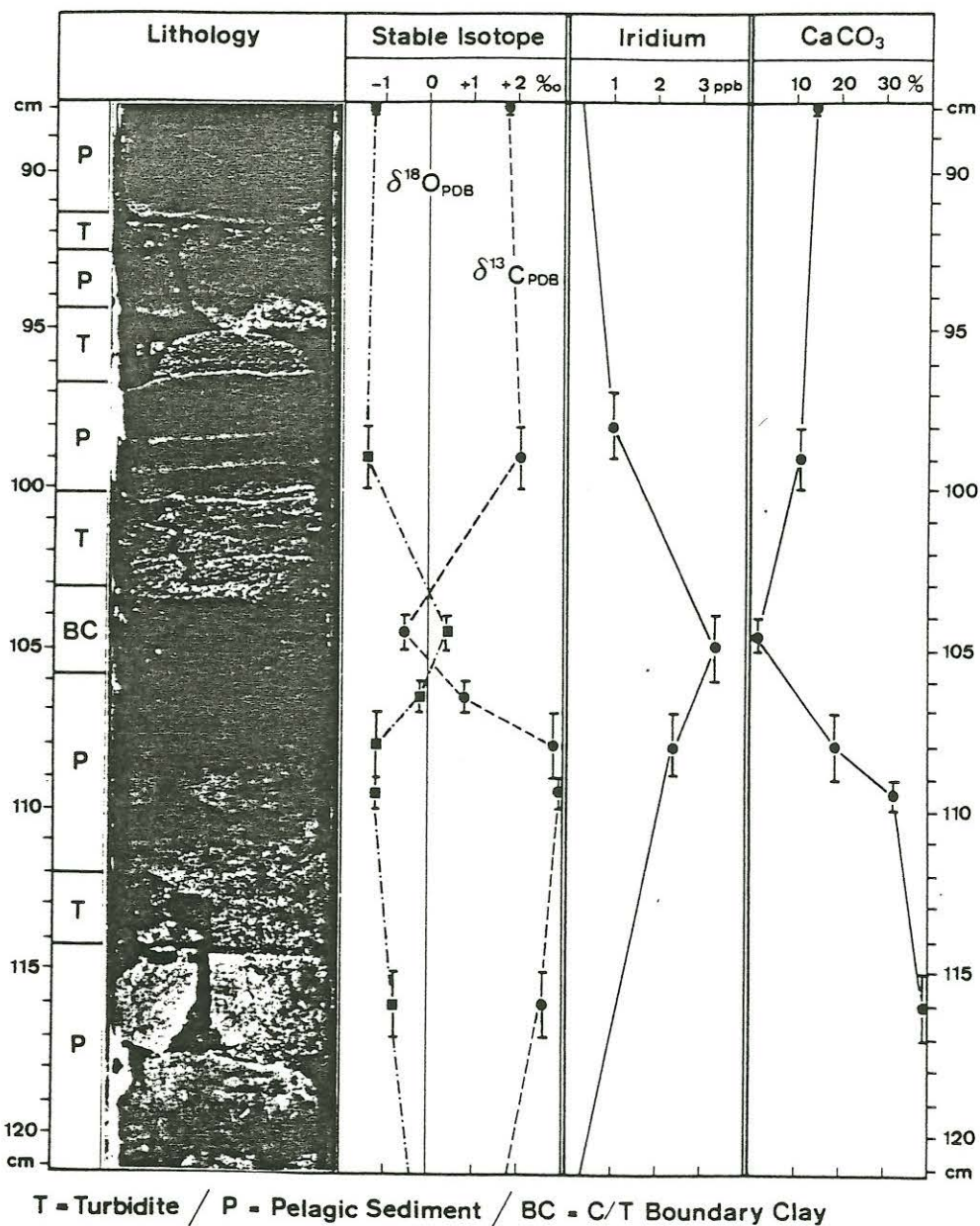


Abb. 2: Kern einer Bohrung im Südatlantik (Deep Sea Drilling Project, No. 524), die Grenze Kreide/Tertiär wird durch den Grenzton BC markiert; zusätzlich angegeben sind die Werte der stabilen Isotope $\delta^{18}O$ und $\delta^{13}C$ sowie die Anteile von Iridium und Calcit im Sediment (aus Hsü et al., 1982)

Nach Hsü et al. (1982) kann die Verschiebung des $\delta^{18}O$ -Wertes gegenüber dem normalen Hintergrundwert in der Tiefenlage des Grenztons als eine Temperaturerniedrigung des Oberflächenwas-

sers von ca. 16° auf 8°C gedeutet werden, die offenbar nur kurzzeitig (Größenordnung 1000 Jahre) angedauert hat. Der gleichzeitige Rückgang des $\delta^{13}\text{C}$ -Wertes von +2 ‰ auf Werte um 0 ‰ belegt für diese Zeit ein weitgehendes Aussetzen der Bioproduktion im Meer (vermutlich bedingt durch eine Phase globaler Dunkelheit): Da die Organismen des Phytoplanktons bevorzugt das leichtere Isotop ^{12}C in ihre Biomasse (C_{org}) einbauen, ist das im oberflächennahen Meerwasser gelöste bzw. in den Kalkgerüsten des Planktons fixierte Karbonat normalerweise an ^{13}C angereichert. Der Grund für diese Fraktionierung entfällt gerade im Fall eines massenhaften Planktonsterbens, der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert geht dann auf den durchschnittlichen Wert des Meerwassers zurück.

Das Planktonmassensterben ist offenbar auch Ursache für die starke C_{org} -Anreicherung im Grenzton, die durch eine intensive Schwarzfärbung erkennbar wird. Durch eine Unterbrechung des Stoffkreislaufs in der Produktionszone kann, anders als im Gleichgewichtszustand, ein großer Teil der im Meer vorhandenen Biomasse in größere Meerestiefe gelangen. Durch Verbrauch des Sauerstoffs bei der Zersetzung des überreichlich vorhandenen organischen Materials am Meeresboden entstehen anoxische Bedingungen, die den Erhalt von C_{org} im Sediment - die wesentliche Voraussetzung für die spätere Entstehung hoher Leitfähigkeit - ermöglichen. Hinzu kommt der Eintrag organischen Materials aus Flüssen, das unter diesen Voraussetzungen nicht mehr aufgearbeitet werden kann.

Das so entworfene Bild wird ergänzt durch den geringen Gehalt an Calcit im Grenzton (Abb. 2). Der Grenzton ist im vorliegenden Fall vermutlich nicht, was zunächst naheläge, das Zersetzungsprodukt von vulkanischen Äschen oder Stäuben und Auswurfmassen eines Meteors, sondern ein Sediment, aus dem der Calcit als Folge des reduzierenden Milieus weggelöst ist (Hsü et al., 1982; Hsü, 1986). Ein allgemeiner Anstieg von gelöstem CO_2 im Meerwasser durch das Aussetzen der Photosynthese dürfte die vorherrschenden reduzierenden Bedingungen weiter

verstärkt haben.

Verläßt man das Beispiel der K/T-Grenze ("Maestrichtian") und betrachtet die anderen, in Abb. 1 aufgeführten "extinction events", dann ist angesichts der komplizierten, hier nur angedeuteten Wirkungszusammenhänge nicht von vorneherein zu erwarten, daß grundsätzlich dieselben geochemischen oder petrologischen Signaturen auftreten. Beispielsweise konnte eine Ir-Anomalie nur für wenige events nachgewiesen werden. Die folgende Zusammenstellung erscheint deshalb hinsichtlich der grundsätzlichen Möglichkeit der Entstehung gutleitender Horizonte bemerkenswert:

- Das stärkste Ereignis an der Grenze Perm/Trias wird durch einen Grenzton markiert (Asaro et al., 1982); über seinen C_{org} -Gehalt konnten bisher keine Angaben ausfindig gemacht werden.
- Das Ereignis an der Grenze Cenoman/Turon wird als "anoxic event" gedeutet. Ein pyrit- und phosphatreicher Schwarzschieferhorizont wurde im Nordatlantik, im nordwestlichen Europa und am Kontinentalrand von Westafrika, wahrscheinlich sogar im Westpazifik nachgewiesen (de Graciansky et al., 1984). Der C_{org} -Gehalt der zum Teil nur 1 m mächtigen Schicht beträgt im Mittel 10 %, der maximale Wert wurde mit 39 % vor Westafrika bestimmt.
- Das Pliensbachian/Toarcian-Ereignis korreliert mit den weithin bekannten schwarzen Schiefern des Lias ϵ in Mittel- und Westeuropa.
- Die Grenze Frasn/Famenne im Oberdevon ist durch das weltweit plötzliche Ende des Riffwachstum definiert. Schwarzschiefer, die wie ein "schwarzes Leichentuch" (zitiert nach Krebs) alles Leben erstickt haben, bzw. dunkle bituminöse Kalke sind u.a. im Rheinischen Schiefergebirge und den Ardennen bekannt ("Matagne-Schiefer" und "Kellwasser-Kalke") (McLaren, 1982; Engel et al., 1983).
- Der Übergang Kambrium/Ordovizium ist vielfach durch Schwarzschieferhorizonte, sonst durch Unterbrechung oder

Wechsel der Sedimentation gekennzeichnet (Erdtmann und Miller, 1981).

Für das zuletzt genannte Beispiel soll die bisher immer nur implizierte Möglichkeit der Entstehung einer Leitfähigkeitsanomalie in einer derartigen Grenzschrift belegt werden (vgl. Jödicke, 1990). Dargestellt in Abb. 4 ist ein 7 km langes Eigenpotential-Profil über den Venn-Sattel von der Kalltal-sperre zur Ortschaft Zweifall im nordwestlichen Rheinischen Schiefergebirge. Es zeigt eine starke Eigenpotential-Anomalie an der Grenze Revin/Salm (Kambrium/Ordovizium). Abb. 3 enthält das Ergebnis von Leitfähigkeitsmessungen an Kernen der Bohrung V-21, die genau auf dem Profil durch diesen Grenzbe-reich abgeteuft wurde.

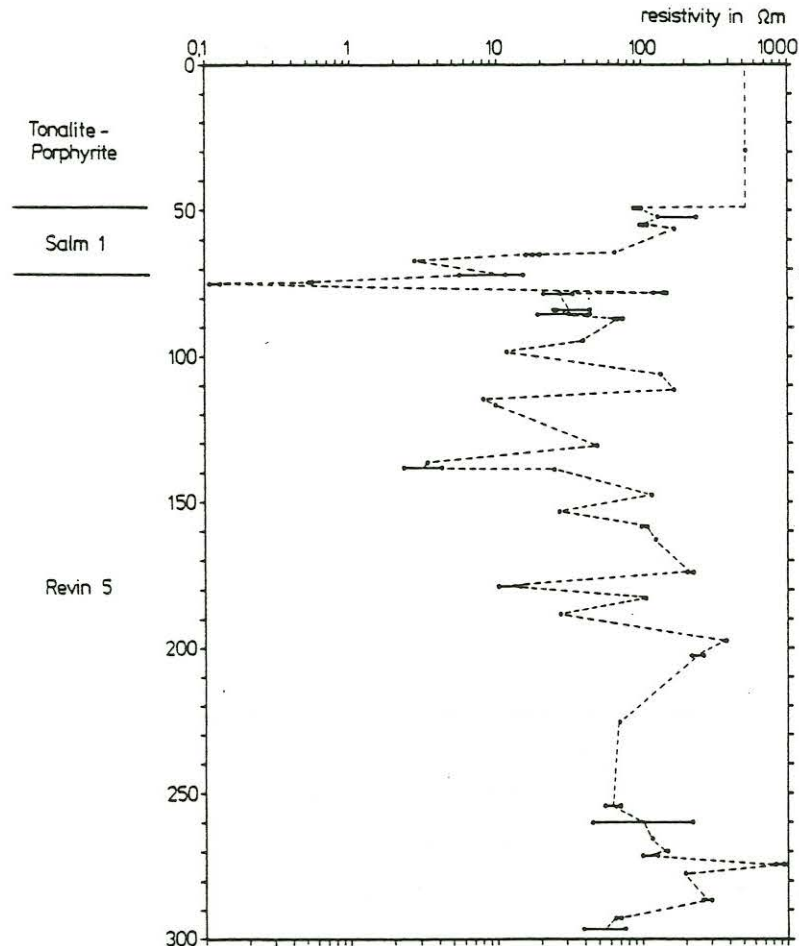


Abb. 3: Leitfähigkeitsmessungen an Kernen der Bohrung V-21 (aus Jödicke, 1985)

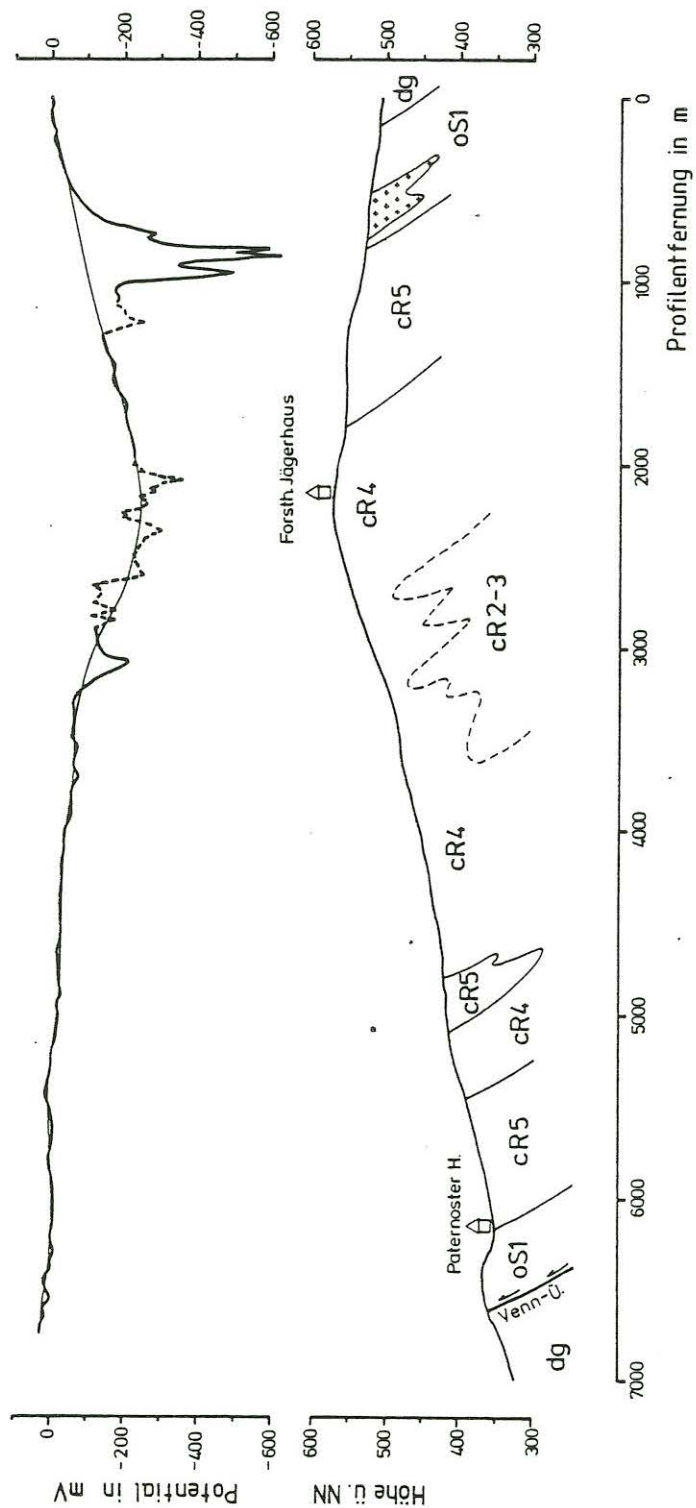


Abb. 4: SP-Profil über den Venn-Sattel mit schematischem geologischen Schnitt; der SP-Verlauf ist im Bereich von Störungen (Zäune usw.) gestrichelt; die dünne ausgezogene Linie verdeutlicht einen großräumigen Topographie-Effekt (aus Jödicke, 1990)

Die Eigenpotential-Anomalie wird demnach offensichtlich von einer extrem hochleitenden Schicht, die im Tiefenbereich um 75 m der Bohrung erfaßt wird, im Sinne der Theorie von Sato und Mooney (1960) verursacht. Ursache für die hohe Leitfähigkeit ist Kohlenstoff im Metaanthrazit-Stadium, der in einem ca. 3 m mächtigen Horizont mit einem Gehalt von 4.1 % gegenüber ca. 0.7 % des umgebenden Gesteins (ebenfalls überwiegend Schwarzschiefer!) angereichert ist. Nur in dieser Anreicherung wird eine kurzzeitige, episodenhafte Änderung der Umgebungsbedingungen sichtbar, da in der von Friedrich et al. (1985) untersuchten Zusammensetzung der Haupt-, Neben- und Spurenelemente keine sonstigen signifikanten Abweichungen von den durchschnittlichen Gehalten der Phyllosilikate der Bohrung V-21 zu erkennen sind.

Wie Abb. 3 zeigt, tritt die hochleitende, eigenpotentialverursachende Schicht in unmittelbarer Nähe zur stratigraphischen Grenze Revin/Salm (=Kambrium/Ordovizium) auf. Diese Grenze markiert aus der Sicht von Paläontologen einen wichtigen Faunen-Wechsel, zu dessen Erklärung folgende Überlegungen entwickelt wurden: Erstmals mit Beginn des Ordoviziums und sofort mit weltweiter Verbreitung treten pelagische Formen der bis dahin rein sessilen Graptolithen (koloniebildende polypenartige Meerestiere) auf ("Dictyonema-event"). Dieses plötzliche Auftreten von planktischen Graptolithen korreliert zeitlich weitgehend mit den bereits erwähnten Schwarzschieferbildungen bzw. Änderungen oder Unterbrechungen der Sedimentation. Letztere werden z.B. von Erdtmann und Miller (1981) als Anzeichen für eine eustatische Meeresspiegelschwankung infolge einer spätkambrischen Vereisung gedeutet. Nach der Vorstellung der Autoren begann das spätkambrische "Ereignis" mit einem kurzzeitigen Rückgang des Meeresspiegels mit katastrophaler Bedeutung für einen Teil der Fauna flacher, warmer Meere, insbesondere mit dem plötzlichen Aussterben vieler Trilobiten-Familien (Palmer, 1982). Die sich anschließende Transgression brachte einen Zustrom kalten und sehr nährstoffreichen Wassers, der zur Entstehung von Phyto-

plankton-Blüten als Folge der Eutrophierung führte. Das überreichliche Nahrungsangebot im offenen Meer ermöglichte somit einerseits die schnelle Verbreitung pelagischer Formen der Graptolithen, führte andererseits aber durch den hohen Sauerstoffverbrauch beim Abbau abgestorbener organischer Substanz zu euxinischen Bedingungen am Meeresboden und damit zur Bildung von Schwarzschiefern oder ähnlichen, bitumenreichen Gesteinen.

Die zeitweilige Zunahme der organischen Substanz im Gestein, ausreichend für eine sprunghafte Erhöhung der Leitfähigkeit um den Faktor 100 - 1000 und mehr, führt nach dieser Vorstellung also zu einer auffälligen Leitfähigkeits- und Eigenpotential-Anomalie an der Revin/Salm-Grenze. Für die geologische Kartierung im Gelände mit schlechten Aufschlußbedingungen stehen damit einfache Methoden zur Verfügung.

Als zweites Beispiel seien die kohlenstoff- und pyritreichen "Liegenden Alaunschiefer" nahe der Basis des Unterkarbons im nördlichen Rheinischen Schiefergebirge und im Münsterland erwähnt. Im Gegensatz zu anderen, für die sog. "Kulm-Fazies" typischen Alaunschieferbildungen im höheren Unterkarbon, die eher auf eine individuelle Beckenentwicklung hinweisen, spiegeln sie vermutlich ein großräumig isochrones Ereignis wider (Engel et al., 1983). Am Übergang Famenne/Tournai (=Devon/Karbon) lassen neuere Daten einen schwächeren Floren- und Faunenschnitt erkennen (Sepkoski, 1986). Die Leitfähigkeit der Liegenden Alaunschiefer erreicht in der Bohrung Münsterland 1 und im Oberflächenaufschluß im Bereich des Warsteiner Sattels, dort als Folge eines regionalen Inkohlungs Hochs, wegen ihres beträchtlichen C_{org} -Gehalts ebenfalls sehr hohe Werte.

Weitere Beispiele werden zur Zeit untersucht. Die Grenzbank an der K/T-Grenze gehört wegen ihrer (zumindest zur Zeit) nicht ausreichenden Inkohlung leider nicht dazu.

Literatur:

- Asaro, F., Alvarez, L.W., Alvarez, W., and Michel, H.V. (1982): Geochemical anomalies near the Eocene/Oligocene and Permian/Triassic boundaries. - Geol. Soc. Am. Special Paper 190: 517 - 528.
- Duba, A., Huenges, E., Nover, G., Will, G., and Jödicke, H. (1988): Impedance of black shale from Münsterland 1 borehole: an anomalously good conductor? - Geophys. J. 94: 413 - 419.
- de Graciansky, P.C., Deroo, G., Herbin, J.P., Montadert, L., Müller, C., Schaaf, A., and Sigal, J. (1984): Ocean-wide stagnation episode in the late Cretaceous. - Nature 308: 346 - 349.
- Engel, W., Franke, W., and Langenstrassen, F. (1983): Palaeozoic Sedimentation in the Northern Branch of the Mid-European Variscides - Essay of an Interpretation. - In: Martin, H. and Eder, F.H. (eds.): Intracontinental Fold Belts: 9 - 41; Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Erdtmann, B.-D. and Miller, J.F. (1981): Eustatic control of lithofacies and biofacies changes near the base of the Tremadocian. - In: Taylor, M.E. (ed.): Short Papers for the Second International Symposium on the Cambrian System. Open File Rep. U.S. Geol. Surv. 81-743: 78 - 81.
- Flessa, K.W. (Rapporteur) (1986): Causes and Consequences of Extinction. Group Report. - In: Raup, D.M. and Jablonski, D. (eds.): Patterns and Processes in the History of Life: 235 - 257; Dahlem Konferenzen 1986; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg.
- Friedrich, G., Scheps, V., and Keyssner, S. (1985a): Preliminary Results of a Drilling Program for Base Metal Sulphides in the Northern Eifel (West Germany). - N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 171: 281 - 295.
- Hsü, K.J. (1986): Environmental Changes in Time of Biotic Crises. - In: Raup, D.M. and Jablonski, D. (eds.): Patterns and Processes in the History of Life: 297 - 312; Dahlem Konferenzen 1986; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg.
- Hsü, K.J., McKenzie, J.A., and He, Q.X. (1982): Terminal Cretaceous environmental and evolutionary changes. - Geol. Soc. Am. Special Paper 190: 317 - 328.
- Jödicke, H. (1984): Zur Deutung magnetotellurisch nachgewiesener guter Leiter im tieferen Untergrund Nordwestdeutschlands. - In: Haak, V. und Homilius, J. (Hrsg.): Protokoll über das 10. Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung" in Grafrath/Oberbayern vom 19. - 23. März 1984: 331 - 334; Berlin, Hannover.

- Jödicke, H. (1985): A Large Selfpotential Anomaly at the SE Flank of the Stavelot-Venn Anticline Originating from Metaanthracite Bearing Black Shales at the Salm/Revin Boundary. - N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 171: 387 - 402.
- Jödicke, H. (1990): Zonen hoher elektrischer Krustenleitfähigkeit im Rhenoharzynikum und seinem nördlichen Vorland. - Diss. Math.-Nat. Fak. Univ. Münster.
- McLaren, D.J. (1982): Frasnian-Famennian extinctions. - Geol. Soc. Am. Special Paper 190: 477 - 484.
- Palmer, A.R. (1982): Biome boundaries: A possible test for extraterrestrial perturbations of the biosphere. - Geol. Soc. of America, Special Paper 190: 469 - 475.
- Sato, M. and Mooney, H.M. (1960): The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials. - Geophysics 25: 226 - 249.
- Sepkoski, J.J. (1982): Mass extinctions in the Phanerozoic oceans: A review. - Geol. Soc. of America, Special Paper 190: 283 - 289.
- Sepkoski, J.J. (1986): Phanerozoic Overview of Mass Extinction. - In: Raup, D.M. and Jablonski, D. (eds.): Patterns and Processes in the History of Life: 277 - 295; Dahlem Konferenzen 1985; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg.
- Smit, J. (1982): Extinction and evolution of planktonic foraminifera after a major impact at the Cretaceous/Tertiary boundary. - Geol. Soc. Am. Special Paper 190: 329 - 352.
- Stach, E., Mackowsky, M.-Th., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., and Teichmüller, R. (1982): Stach's Textbook of Coal Petrology. - 3rd ed.; Gebrüder Borntraeger Verlag; Berlin, Stuttgart.
- Stanley, W.D. (1989): Comparison of geoelectrical/tectonic models for suture zones in the western U.S.A. and eastern Europe: are black shales a possible source of high conductivities? - Phys. Earth Planet. Int. 53: 228 - 238.
- Stanley, W.D., Finn, C., and Plesha, J.L. (1987): Tectonics and Conductivity Structures in the Southern Washington Cascades. - J. Geophys. Res. 92: 10179 - 10193.