

HEIKO REHSE (Münster)

Zur Leitfähigkeit und Inkohlung unterkarbonischer Schichten am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges

Im Sommer 1989 sind am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges Eigenpotentialmessungen im Bereich des dort austreichenden Unterkarbons durchgeführt worden. Durch Messungen der Arbeitsgruppe Magnetotellurik des Instituts für Geophysik Münster (JÖDICKE, 1984; LANG, 1988) und Untersuchungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover (SENGPIEL, 1983), sind in diesem Gebiet Horizonte erhöhter Leitfähigkeit im Bereich des Unterkarbons und tiefsten Oberkarbons bekannt. Diese an Pyrit und organischem Kohlenstoff reichen Schichten treten im Bereich des Warsteiner und Scharfenberger Sattels auf. Ziel der Messungen war es, einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Zonen erhöhter Leitfähigkeit und der Inkohlung dieser Schichten nachzuweisen.

Die Schichten des Unterkarbons sind in der nordwestlich von Münster gelegenen Tiefbohrung Münsterland 1 erbohrt und dort besonders gut untersucht worden (WOLBURG, 1963; DUBA et al., 1988). Ein auffallendes Ergebnis erbrachten die elektrischen Bohrlochmessungen. Das Laterolog zeigt in einer Tiefe von ca. 5400 m bis 5500 m gut leitfähige Schichten an (Abb. 1), die dem Unterkarbon und tiefsten Oberkarbon zuzuordnen sind. Sie weisen einen spezifischen Widerstand von 2 - 3 Ωm auf. Es handelt sich dabei um eine Abfolge von Tonsteinen, Tonschiefern und Schwarzschiefern, die im Bereich des Visé und oberen Tournai in fast reiner „Kulmfazies“ ausgebildet sind (WOLBURG, 1963). Von DUBA et al. (1988) durchgeführte Impedanzmessungen an Schwarzschieferproben aus der Bohrung (5415 m bis 5438 m), speziell Proben der *Hangenden Alaunschiefer* des Oberkarbons, zeigen einen spezifischen Widerstand um 1 Ωm , unabhängig davon, ob die Proben parallel oder senkrecht zur Schichtung erbohrt wurden.

Die gute Leitfähigkeit der Schwarzschieferproben wird von dem in der Gesteinsmatrix vorhandenen hohen Anteil an hochinkohltem, vernetzten organischen Kohlen-

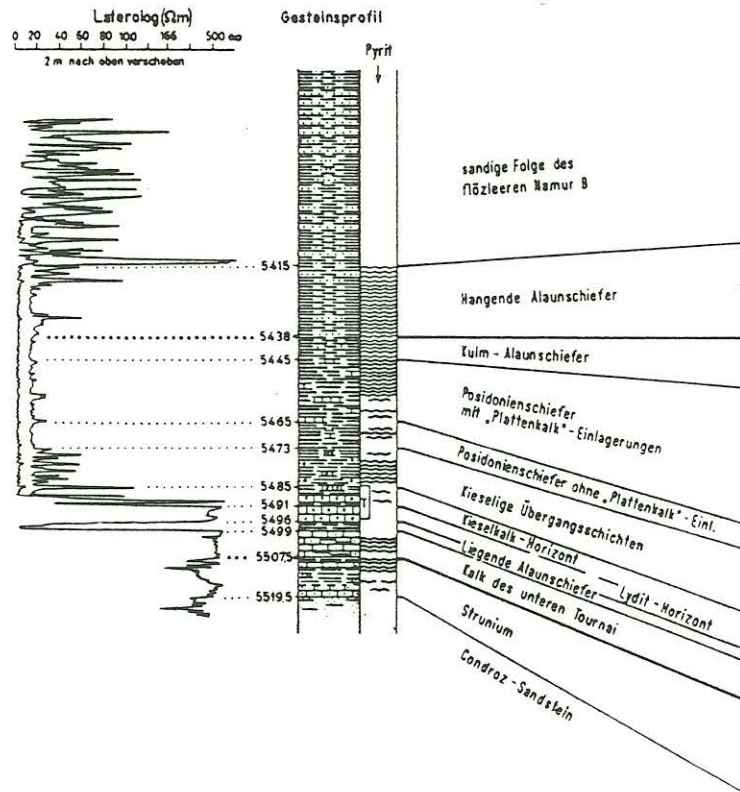


Abbildung 1: Laterolog, Lithologie und Stratigraphieprofil des Unterkarbons der Bohrung Münsterland 1 (nach WOLBURG, 1963)

stoff von ca. 8 Vol% sowie dem framboidal ausgebildetem Pyrit verursacht (DUBA et al, 1988; JÖDICKE, 1990). Sie tritt in Schichten der Bohrung auf, in denen C_{org} bereits das Inkohlungsstadium des Metaanthrazit erreicht hat (TEICHMÜLLER et al., 1979b).

Der Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Inkohlung organischer Substanz wird bereits durch Untersuchungen, die von PARKHOMENKO (1967) an Kohlen durchgeführt wurden, ersichtlich. Zur Klassifizierung der Inkohlung wird vielfach der Wert des unter normalem Auflicht ermittelten mittleren Reflexionsvermögens R_m der Vitrinite angegeben. Eine erhöhte Leitfähigkeit von Kohlen setzt bei $R_m \approx 3.5\%$ ein, was dem Stadium des Metaanthrazit entspricht, und erreicht dabei Größenordnungen von über 100 S/m. Inkohlungsuntersuchungen in der Bohrung Münsterland 1 zeigen eine Zunahme der Inkohlung mit der Tiefe bis 4500 m (TEICHMÜLLER et al., 1979b) und schon bei einer Tiefe von 4000 m erreichen die Inkohlungswerte das Metaanthrazitstadium. Es ist zu erwarten, daß das organische Material in der Matrix der Tonschiefer eine hohe Leitfähigkeit aufweist, so daß bei einer vorhandenen Vernetzung auch das gesamte Gestein leitfähig wird.

Unterkarbon

Kulmfazies

Kohlenkalfazies

Isolinien der vitrinitreflexion

-2%.

BS Belecker Sattel

OS Ostsauerländer Hauptsattel

R-AS Remscheid-Altener Sattel

SS Scharfenberger Sattel

VS Velberter Sattel

WS Warsteiner Sattel

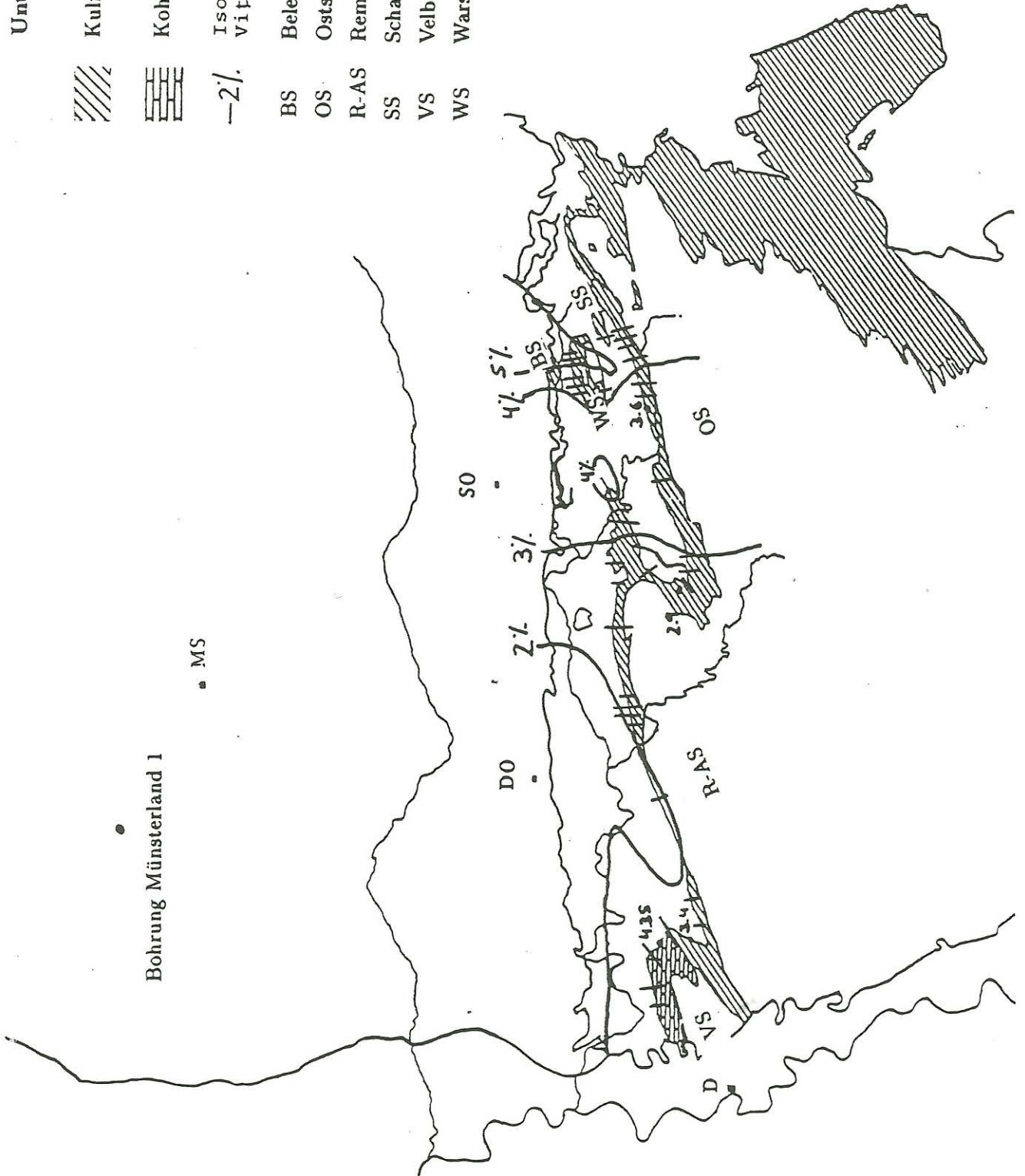


Abbildung 2: Isolinien der Inkohlung und Lage der Meßprofile im Gebiet des Unterkarbon am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges

Von besonderem Interesse sind die hochleitfähigen, unterkarbonischen Schichten dort, wo sie an der Erdoberfläche austreichen. Dies ist am Nord- und Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges der Fall (Abb. 2). Dort können die Schichten mit leitfähigkeitsempfindlichen Meßverfahren (z.B. Slingram, VLF, SP) untersucht werden. In dieser Arbeit wird das Eigenpotentialverfahren zur Untersuchung eingesetzt. Nach der Theorie von SATO & MOONEY (1960) sollten die Schichten mit dem Auftreten von Eigenpotentialanomalien verbunden sein, weil schräggehende, hochleitfähige Strukturen Gebiete unterschiedlichen Redoxpotentials verbinden, und somit elektrochemische Zellen ausgebildet werden. Da eine hohe Leitfähigkeit der Schichten nur dann zu erwarten ist, wenn die Inkohlung größer als 3.5 % beträgt, erscheint es interessant, die regionale Verteilung der Inkohlung zu betrachten. Wenn Kohlenstoff in hochinkohlter Form Verursacher der Zonen erhöhter Leitfähigkeit im Gebiet ist, sollte ein Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Inkohlung durch die Messungen nachweisbar sein, d.h. Bereiche hoher Inkohlung sollten durch das Auftreten von Eigenpotentialanomalien gekennzeichnet sein.

Abb. 2 zeigt den Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges mit dem Ausstreichen der unterkarbonischen Schichten, die im allgemeinen in der Kulmfazies, ganz im Westen dagegen in der Kohlenkalkfazies auftreten (s. u.). Dargestellt sind außerdem die Meßprofile und die Inkohlungsverhältnisse des Karbons (nach WOLF 1972; TEICHMÜLLER et al., 1979a, 1984). Es ist eine deutliche Zunahme der Inkohlung von West nach Ost zu erkennen. Maximale Werte der Inkohlung werden im Bereich des Warsteiner, Belecker und Scharfenberger Sattels erreicht. Dort betragen die Werte der mittleren Vitrinitreflexion bis zu 5.8 %. Im Westen, im Bereich des Velberter Sattels, liegen die Inkohlungswerte ebenfalls über 3.5%. Es ist also zu erwarten, daß in den genannten Gebieten im Bereich der unterkarbonischen Schichten Eigenpotentialanomalien auftreten. In allen übrigen Teilen des Meßgebietes erreicht die Inkohlung nur Werte unter 3 %. Hier sollten die o.g. Voraussetzungen zur Entstehung von Eigenpotentialanomalien nicht gegeben sein.

Es wurden mit dem Eigenpotentialverfahren insgesamt 40 Profile gemessen, deren Längen, auf Grund des lokal unterschiedlich breiten Ausstrichs des Unterkarbons, zwischen 580 m und 3100 m betragen. Die Messungen wurden so angelegt, daß aus devonischen Schichten heraus in die Gesteinsfolge des Oberkarbons hinein gemes-

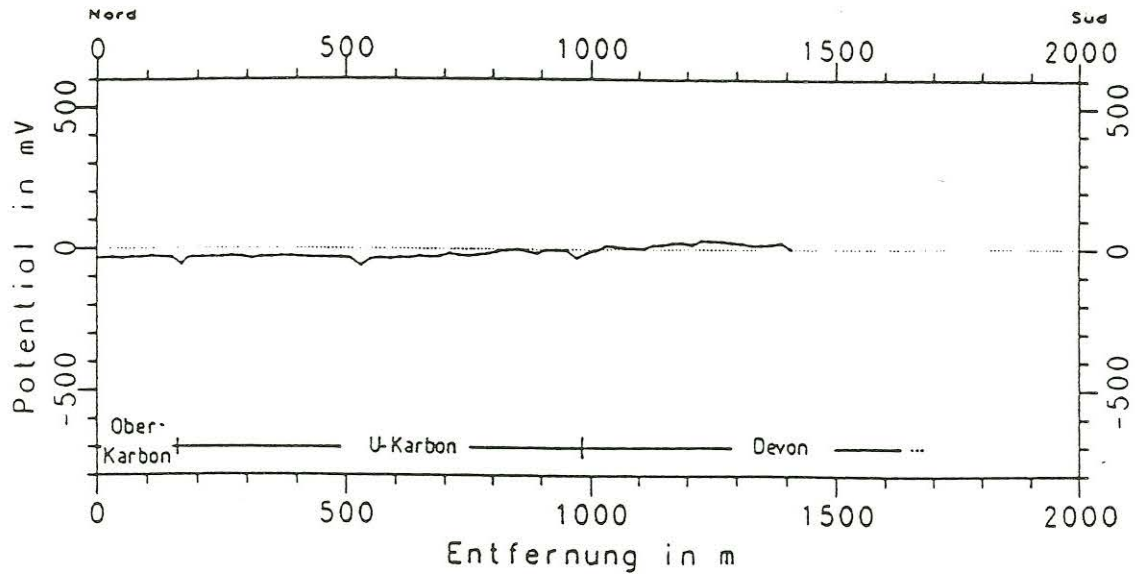


Abbildung 3: Eigenpotentialprofil Landhausen am Nordrand des Remscheid-Altener Sattels

sen wurde. Damit wurde das Unterkarbon jeweils vollständig durch die Messungen überdeckt. Zuerst sollen zwei Profile diskutiert werden, die sich dadurch unterscheiden, daß die organische Substanz in den Schichten des ersten Profils niedrige Inkohlungswerte, in denen des zweiten hohe aufweist.

Abb. 3 zeigt ein Eigenpotentialprofil, das am Nordrand des Remscheid-Altener Sattels östlich von Iserlohn gemessen wurde. Die mittlere Vitrinitreflexion beträgt für die unterkarbonischen Schichten 2.6% (TEICHMÜLLER et al., 1984). Das Profil beginnt in oberdevonischen Tonsteinen und endet in Schichten des tiefsten Oberkarbon (Untere Arnsberger Schichten). Im Bereich des Unterkarbons sind keine signifikanten Eigenpotentialanomalien ersichtlich.

Ein am Ostrand des Belecker Sattels gemessenes Eigenpotentialprofil ist in Abb. 4 dargestellt. An Proben des Unterkarbons wurde R_m zu 5.2 % bestimmt (WOLF, 1972). Beim Übergang von den Schichten des Namur in die des Dinant tritt eine Eigenpotentialanomalie mit einer Größe von ca. 600 mV auf. Diese zeichnet sich schon im Bereich der im Nordteil des Profils befindlichen ca. 20 m mächtigen Kreideüberdeckung ab. Neben einem Hauptminimum bei 960 m treten im südlichen Teil des Profils mehrere Nebenminima auf (1070 m, 1240 m und 1400 m), die erfahrungsgemäß mit geringmächtigen, gut leitfähigen Schichten korreliert werden können (REHSE, 1990).

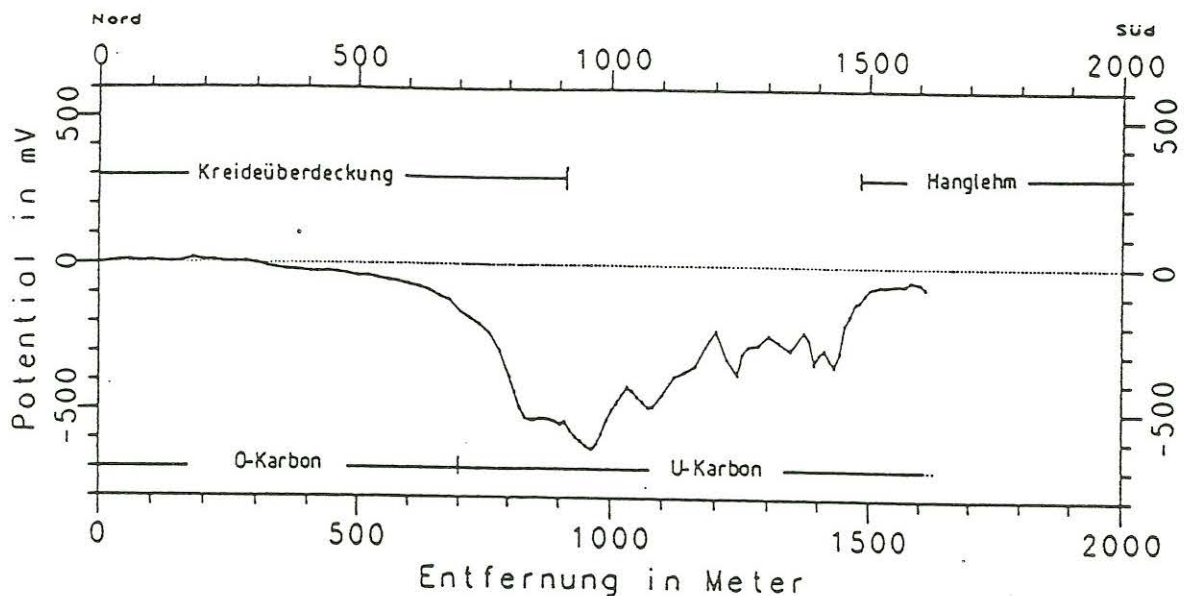


Abbildung 4: Eigenpotentialprofil Belecke 1 am Ostrand des Belecker Sattels

Betrachtet man nun die Meßprofile, die am Nordrand des Ostsauerländer Hauptsattels gemessen wurden, erkennt man folgendes:

Vom Westen bis zum Kern des Scharfenberger Sattels im Osten steigen die Reflexionswerte von 2.3% auf über 5% R_m (vgl. Abb. 2). Die dort gemessenen Eigenpotentialprofile sind schematisch, bezogen auf die Grenze Oberkarbon – Unterkarbon, in Abbildung 5 dargestellt. Die unterschiedliche Breite ist durch Schichtmächtigkeit und Neigung im Ausstrich vorgegeben. Man erkennt, daß ausgeprägte Eigenpotentialanomalien auftreten, wenn die Reflexionswerte größer als 4.4 % sind. Das bedeutet offensichtlich, daß durch die hohe Inkohlung eine so hohe Leitfähigkeit entstanden ist, daß nun die Voraussetzung zur Entstehung von Eigenpotentialanomalien nach der Theorie von SATO & MOONEY (1960) gegeben ist. Andererseits sind auf den Profilen die gemessenen Eigenpotentialanomalien eindeutig mit Schichten des Unterkarbons oder den *Hangenden Alaunschiefern* des tiefsten Oberkarbons korrelierbar (siehe z.B. auch LANG, 1988). Es kann auch nachgewiesen werden, daß die Anomalien durch mehrere, in der Regel bis zu drei, geringmächtige Schichten verursacht werden. Dies gelingt vor allem überzeugend auf dem am Nordrand des Warsteiner Sattels gelegenen Profil Su+rop (Abb. 6). Dort treten drei gut isolierte, starke Anomalien im Bereich des Unterkarbons auf.

Untersucht man nun für alle 40 gemessenen Profile den Zusammenhang zwischen Eigenpotentialanomalie und Inkohlung, indem jeweils die maximale Spannungsdif-

Oberkarbon

Unterkarbon

Oberdevon

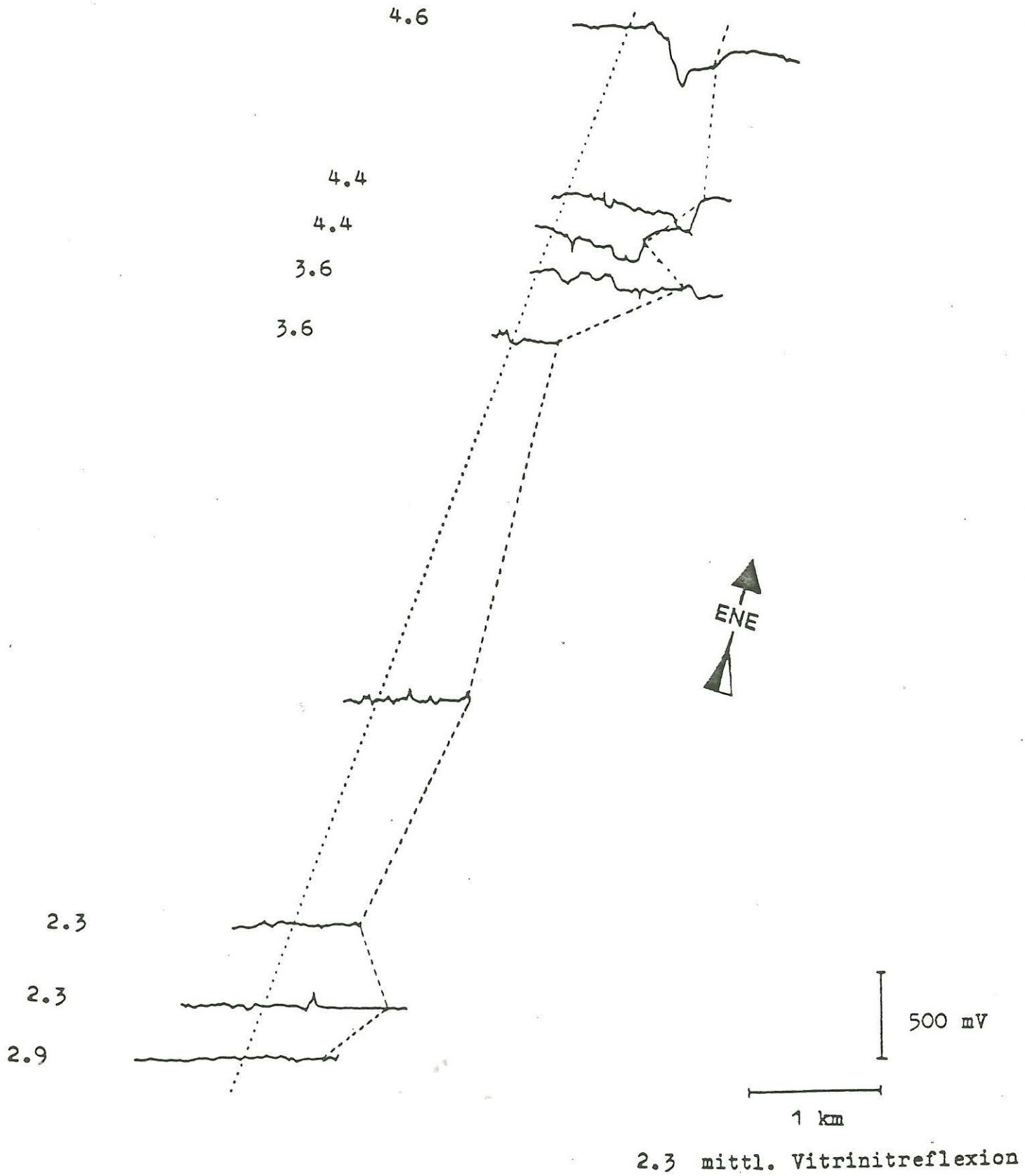


Abbildung 5: Eigenpotentialprofile am Nordrand des Ostsauerländer Hauptsattels in räumlich proportionaler Darstellung

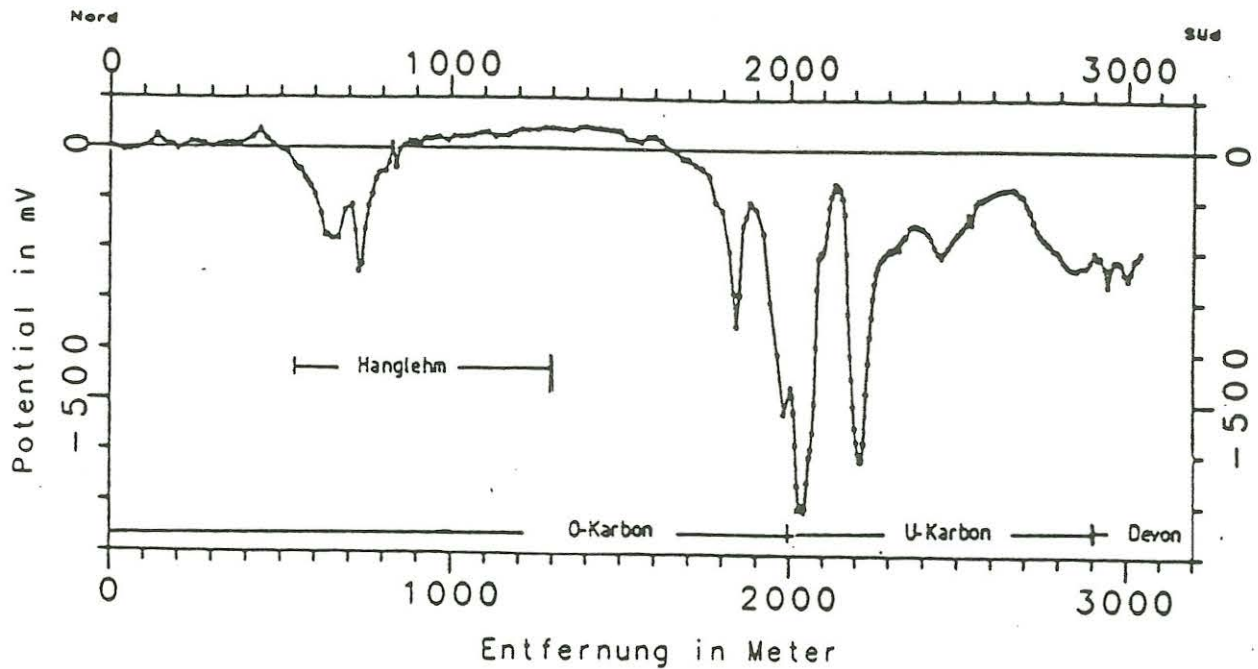


Abbildung 6: Eigenpotentialprofil Suttrop am Nordrand des Warsteiner Sattels

ferenz gegen die Vitrinitreflexion aufgetragen wird, so ergibt sich ein klares Resultat (Abb. 7): Mit einer Ausnahme treten Eigenpotentialanomalien erst dann auf, wenn der Wert der mittleren Vitrinitreflexion 4 % überschreitet. Mit zunehmenden Reflexionswerten steigt auch die Größe der zu beobachtenden Eigenpotentialanomalie. Dabei werden mit $\Delta U = 600$ mV Werte im Stabilitätsbereich von Graphit erreicht (SATO & MOONEY, 1960). Dies steht in einem gewissen Widerspruch zu der Theorie von SATO & MOONEY (1960), wonach die Größe der Eigenpotentialanomalie von der Größe der Eh-Differenz und nicht von der Leitfähigkeit abhängt. Die erwähnte Ausnahme ($R_m = 2.6\%$, $\Delta U = 300$ mV) ist wahrscheinlich anthropogenen Ursprungs. Das Profil führte durch eine Siedlung und auf den zur Kontrolle gemessenen Parallelprofilen traten keine derartigen Anomalien auf.

Es gibt eine weitere Ausnahme: Trotz hoher Inkohlungswerte ($R_m = 4.35\%$, $\Delta U = 0$ mV) zeigen die Messungen im Bereich des Velberter Sattel keine Eigenpotentialanomalien. Dies ist jedoch dadurch erklärbar, daß hier – anders als sonst im Gebiet – das Unterkarbon in der sogenannten „Kohlenkalkfazies“, einer Flachwasserfazies, ausgebildet ist. Die Kohlenkalkfazies gilt als ein dem London – Brabanter Massiv vorgelagerter Schelfbereich. Sie greift im Bereich des Rheinischen Schiefergebirges bis in den Raum Wuppertal und Velbert vor und ist dort verzahnt mit der anderen unterkarbonischen Fazies, der Kulmfazies. Deren Sedimente, abgelagert in einem

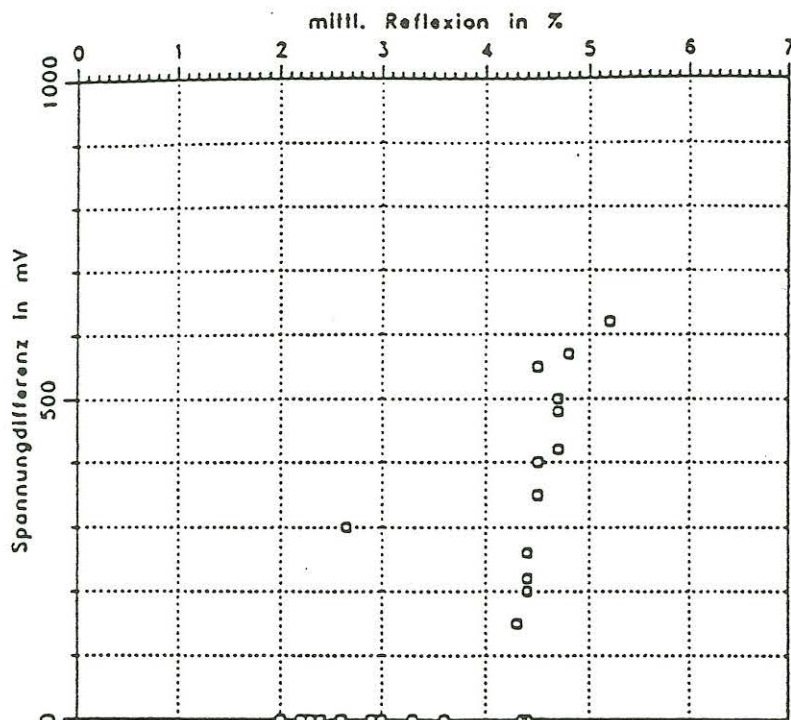


Abbildung 7: Abhängigkeit der Eigenpotentialanomalien von der Inkohlung

tiefere Becken, sind der vorherrschende Typ im rechtsrheinischen Teil des Rheinischen Schiefergebirges für das Unterkarbon und das tiefste Oberkarbon. Nur in der Stillwasserfazies des Kulm war es möglich, daß es bei einer verringerten Sedimentationsrate zu einer relativen Anreicherung von organischem Material kam, das sich auf Grund euxinischer Bedingungen nicht zersetzen konnte (ZIMMERLE et al., 1980). Dieses führte zu einer Imprägnierung und somit zu einer Vernetzung des C_{org} im Gestein, die bei höherer Inkohlung erhalten blieb.

Die hier aufgeführten Ergebnisse sind wahrscheinlich wichtig für die Deutung der Ergebnisse von elektromagnetischen Tiefensondierungen. Diese haben den Nachweis von gut leitfähigen Horizonten im Bereich der oberen und mittleren Kruste erbracht. Die Ursachen für diese Zonen sind noch nicht genau bekannt. Diskutiert werden zur Zeit fluide Phasen mit einer hohen elektrolytischen Leitfähigkeit oder Graphit. Kohlenstoff in hochinkohlter Form kann, wie auch hier gezeigt, zur Deutung der Natur der guten Leiter im Bereich der Erdkruste herangezogen werden. Im Münsterland konnten solche Zonen in einer Tiefe von 6 – 8 km nachgewiesen werden (z.B. BEJARANO-GERKE, 1984). Unterkarbonische Schichten allein können das Auftreten der beobachteten guten Leiter wegen ihrer geringen Mächtigkeit nicht erklären. Schwarzschieferhorizonte in stratigraphisch älteren Schichten

(z.B. Grenze Kabrium - Ordovizium) weisen aber in einigen Fällen ebenso hohe Leitfähigkeiten auf und können durch Eigenpotentialmessungen nachgewiesen werden (HENRIET, 1971; JÖDICKE, 1985, 1990). Sie müssen zur Deutung der Natur der guten Leiter im Gebiet mit herangezogen werden (JÖDICKE, 1990).

Literatur

- Duba, A., Huenges, E., Nover, G., Will, G., Jödicke, H. (1988):** Impedance of black shale from Münsterland 1 borehole: an anomalously good conductor? - *Geophys. J.*, 94: 413 - 419.
- Bejarano-Gerke, G. (1984):** Magnetotellurische Messungen entlang eines Profils zwischen Niederrhein und Ostwestfalen durch das zentrale Münsterland und ihre Interpretation durch eindimensionale Modelle. - Diplomarbeit Institut für Geophysik, Westf. Wilhelms - Universität, Münster.
- Henriet, J. P. (1971):** Large Self-Potential anomalies in the Noir Ri Basin (Ardennes, Belgium). - *Bulletin Soc. Belge Géol., Paléont., Hydrol.* 80: 85 - 96.
- Jödicke, H. (1984):** Zur Deutung magnetotellurischer nachgewiesener guter Leiter im tieferen Untergrund Nordwestdeutschlands. - in: **Haak, V., Homeilius, J.** (Hrsg): Protokoll über das Kolloquium Elektromagnetische Tiefenforschung in Grafrath/Oberbayern vom 19. bis 22. März 1984: 331 - 334
- Jödicke, H. (1985):** A large selfpotential anomaly of 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 Rhenohertzynikum und seinem nördlichen Vorland. - Diss. Math.- Nat. Fak., Westf. Wilhelms - Universität, Münster.
- Lang, M. (1988):** Untersuchungen zum Zusammenhang von Eigenpotentialanomalien und elektrischer Leitfähigkeit unterkarbonischer Schichten am Nordostrand des Rheinischen Schiefergebirges im Bereich Warstein. - Diplomarbeit, Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms - Universität, Münster.
- Parknomenko, E. I. (1967):** *Electrical Properties of Rocks.* - Plenum Press, New York.
- Rehse, H. (1990):** Zum Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Inkohlung unterkarbonischer Schichten am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges.

- Diplomarbeit in Vorbereitung, Institut für Geophysik, Westf. Wilhelms -
Universität, Münster

- Sato, M., Mooney, H. M. (1960):** The electrochemical Mechanism of sulfide Self-Potentials. - *Geophysics*, 25: 226 - 249.
- Sengpiel, K.-P. (1983):** Resistivity/Depth Mapping with Airborne Electromagnetic Survey Data. - *Geophysics*, 48: 181 - 196
- Teichmüller, M., Teichmüller, R., Bartenstein, H. (1979a):** Inkohlung und Erdgas in Nordwestdeutschland. Eine Inkohlungskarte der Oberfläche des Oberkarbons. - *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 27: 137 - 170.
- Teichmüller, M., Teichmüller, R., Bartenstein, H. (1984):** Inkohlung und Erdgas - eine neue Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche in NW-Deutschland. - *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 32: 11 - 34.
- Teichmüller, M., Teichmüller, R., Weber, K. (1979b):** Inkohlung und Illit-Kristallinität. Vergleichende Untersuchungen im Mesozoikum und Paläozoikum von Westfalen. - *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 27: 201 - 276.
- Wolburg, J. (1963):** Das Unterkarbon- und Devonprofil der Bohrung Münsterland 1. - *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 11: 517 - 538.
- Wolf, M. (1972):** Beziehung zwischen Inkohlung und Geotektonik im nördlichen Rheinischen Schiefergebirge. - *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 141: 222 - 257.
- Zimmerle, A., Gaida, K.-H., Gedenk, R., Koch, R., Paproth, E. (1980):** Sedimentological, mineralogical, and organic - geochemical analyses of Upper Devonian and Lower Carboniferous strata of Riescheid, Federal Republic of Germany. - *Meded. Rijks Geol. Dienst*, 32-5: 34 - 43