

Geophysikalische Erkundung des Kohlefeuergebietes von Wuda, China, mit Magnetik und Elektromagnetik

Autoren:

G. Schaumann, G. Reitmayr, H. Schmidt, B. Siemon, B. Röttgerl, H.-J. Rehli, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Einleitung

Im Rahmen des BMBF-geförderten Projektes „Innovative Technologies for Exploration, Extinction and Monitoring of Coal Fires in North China“ haben AGRS (China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Centre for Land and Resources) und BGR eine Hubschrauberbefliegung mit elektromagnetischen und magnetischen Messungen über dem von Kohlefeuern betroffenen Gebiet bei Wuda (ca. 110 km²) in der Inneren Mongolei am südlichen Rand der Wüste Gobi im Jahr 2004 durchgeführt. In ausgewählten Teilen des betroffenen Gebietes wurden ein Jahr später Messungen insbesondere mit der Transientelektromagnetik (TEM) und Magnetik am Boden ergänzt. Das Ziel der geophysikalischen Untersuchungen war, die Kohlebrände aufgrund ihrer physikalischen Parameter zu detektieren und zu kartieren. Kohlebrände stellen ein weltweites Problem dar und verbrauchen mehr als 20 Mio. Tonnen dieser Ressource jährlich allein in Nordchina. Weit mehr als 100 Mio. Tonnen werden außerdem durch die Brände im direkten Umfeld für den Bergbau unbrauchbar gemacht (Voigt et al., 2004).

Aufgrund der Erkenntnis, dass die Erhitzung von Kohle über 200°C bis zu 800°C sowie die Verkokungsprozesse eine Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit bewirken (Duba, 1977; King, 1987), wurden die brennenden Bereiche auf Änderungen in der Leitfähigkeit sowie auf magnetische Anomalien untersucht. Dazu wurden die Ergebnisse der Hubschrauberbefliegung mit denen der Bodengeophysik und den Lokationen der Kohlebrände in Beziehung gesetzt. Eine satellitenunterstützte Kartierung der Brandzonen von DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) ergänzt die thermische Erkennung dieser Bereiche im Vergleich zu nicht durch Kohlefeuer betroffenen Gebieten. Weitere Arbeiten werden unter kohlepetrographischen, gaschemischen und thermischen Aspekten von Projektpartnern durchgeführt.

Durchführung und Ergebnisse

Im Messgebiet (siehe Abb. 1) wurden 65 TEM-Sondierungen über 12 Profilen durchgeführt, davon werden Ergebnisse einiger Profile, die die Feuerzonen überqueren, vorgestellt. Das Gebiet ist überwiegend von Sandstein bedeckt, darunter befinden sich bis zu 18 abbauwürdige Kohleflöze unterschiedlicher Tiefenlage.

Die Untersuchung der lokalen Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit im Bereich der Feuerzonen zeigt insbesondere für die TEM Strukturen hoher Leitfähigkeit, die bei den meisten Messstationen mit den Brandzonen korrelieren. Dabei wird in eindimensionalen Modellen für jede Station ohne a-priori-Informationen für die

Startmodelle eine gut leitende Schicht aus Inversionsmodellrechnungen ermittelt, die mit einfallenden Kohleflözen gut übereinstimmt. Dargestellt wird dies an der Feuerzone mit der Nummer 8, eine von über 20 Brandzonen im betroffenen Gebiet.



Abb. 1: Lage des Kohlefeuergebietes von Wuda, Innere Mongolei, China

Abbildung 2 zeigt eine flächenhafte Darstellung des scheinbaren spezifischen Widerstandes aus der Hubschrauberbefliegung (Siemon, 2001) für die Frequenz 4650 Hz für das Gebiet um die Feuerzone 8, die Schwerpunkstiefe schwankt je nach Leitfähigkeit zwischen ca. 20 bis 35m. Für den Bereich der TEM-Profile 6 und 7 liegt die Schwerpunkstiefe bei ca. 20 bis 26m. Die schwarzen Kreise kennzeichnen Gebiete, in denen Kohleförderanlagen ursächlich für Anomalien sind. Das schwarze Oval im linken Bildrand kennzeichnet einen Bereich, dessen hohe Leitfähigkeit nicht erklärt werden kann. Ursächlich könnten hier erhöhte Mineralkonzentrationen in den Sedimenten sein. Die Bereiche erhöhter Leitfähigkeit aus den Hubschraubermessungen korrelieren im östlichen Teil des Profils 3, im mittleren Teil des Profils 5 und im Verlauf des Profils 6 mit den Stellen, an denen die am Boden durchgeführten TEM-Messungen einen guten Leiter in der Tiefe der Kohleflöze ermittelten.

Die Stationen mit Schichten hoher Leitfähigkeit sind bei Profil 3 die Stationen 47, 45 und 44, bei Profil 6 die Stationen 1, 4, 2, 3 bis 6 und bei Profil 5 die Stationen 62 bis 58 (Abb. 3, 4 und 6). Bei der Vertikalsektion von TEM-Profil 3 (Abb. 3) fällt insbesondere die Station 47 auf. Sie weist einen guten Leiter in geringer Tiefe auf und korreliert sowohl mit einem akut brennenden Bereich als auch mit einer deutlichen Anomalie in den bodenmagnetischen Messungen (Abb. 7). Die Stationen 46 bis 44 haben einen sehr oberflächennahen guten Leiter, wobei Station 44 in einen von den Hubschraubermessungen erfassten Bereich guter Leitfähigkeit fällt (Abb. 3, vgl. Abb. 2).

Die Vertikalsektion des spezifischen Widerstands aus den TEM-Messungen für Profil 6 zeigt eine gut leitende Schicht, die von Süd nach Nord einfällt, beginnend bei einer Tiefe von ca. 25m (Abb. 4). Dieses Profil beginnt mit Station 1 kurz hinter der brennenden Abbruchkante der Feuerzone 8, weiter südlich war das Gelände aufgrund großer Spalten nicht begehbar. Das darunter liegende Kohleflöz wurde an dieser Stelle in einer Tiefe von ca. 20m erbohrt. Im Verlauf nach Norden, also mit Abstand vom brennenden Bereich nimmt die Tiefe dieses guten Leiters zu und die Leitfähigkeit nimmt ab (von ca. 10 Ohm*m zu ca. 23 Ohm*m). Die gasgeochemischen Untersuchungen von BGR deuten auf ein Fortschreiten des Brandes in nord-östlicher Richtung hin. Dies korreliert mit dem erwähnten Verlauf der gut leitenden Schicht des Profils 6 und setzt sich im 50m östlich benachbarten parallelen TEM-Profil 7 (Abb. 5) fort.

Die Vertikalsektion des spezifischen Widerstands aus den TEM-Messungen entlang Profil 5 (Abb. 6) ergibt ebenfalls eine Korrelation mit der Brandzone. Hier korreliert der von West nach Ost einfallende gute Leiter an den Stationen 60 bis 58 mit der Stelle, an der das betroffene Kohleflöz abtaucht. Die brennenden Bereiche werden ebenfalls an dieser Stelle kartiert. In diesem Bereich weist der spezifische Widerstand aus der Hubschrauberbefliegung erniedrigte Werte auf (Abb. 2).

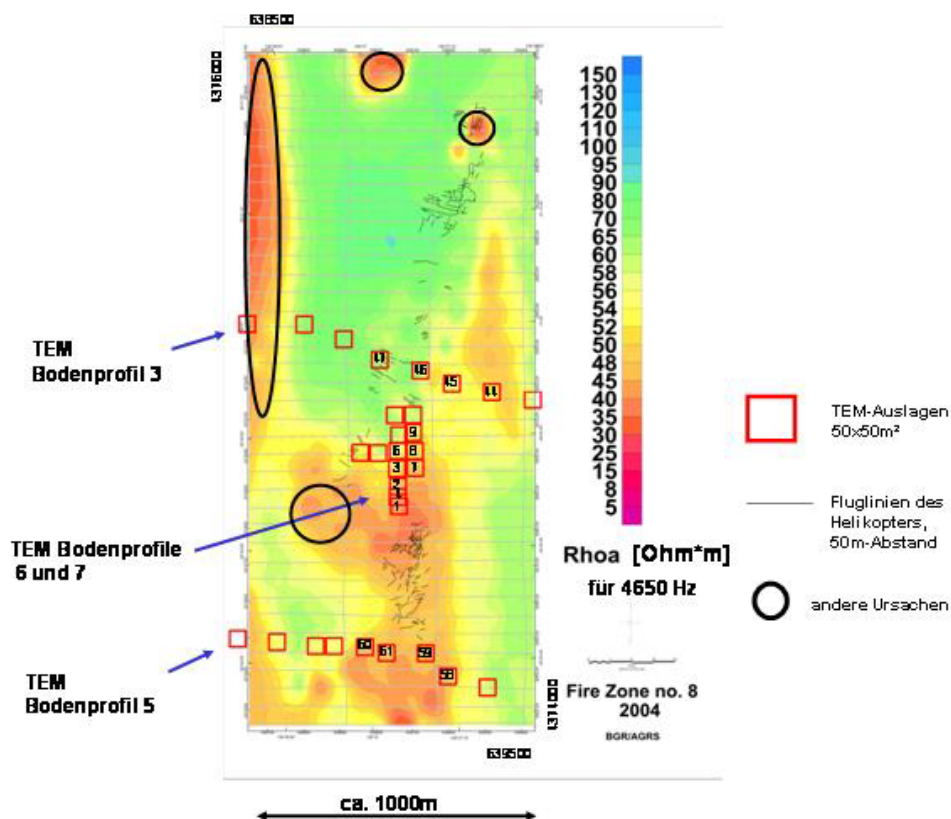


Abb. 2: Flächenhafte Darstellung des scheinbaren spezifischen Widerstandes $R_{\rho a}$ [Ohm*m] aus den Hubschraubermessungen für die Frequenz 4650 Hz (BGR-Software). Die Bodenstationen der TEM überqueren im selben Gebiet die aktive Brandzone Nr. 8.

1-dimensional resistivity model from TEM data

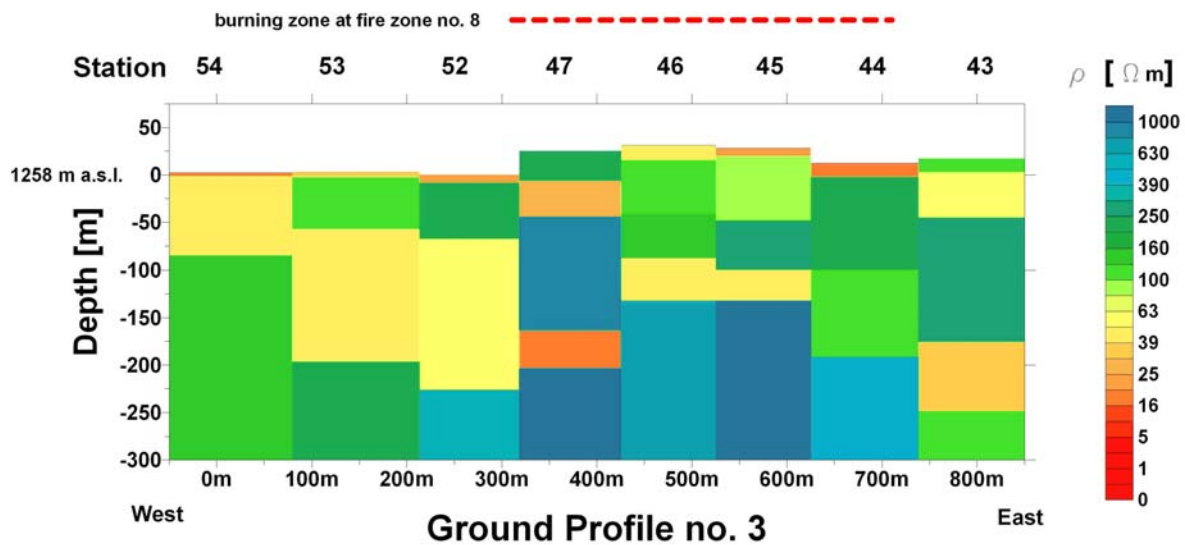


Abb. 3: Vertikalsektion des spezifischen Widerstands aus den TEM-Messungen entlang Profil 3. Der brennende Bereich der Feuerzone ist mit einer gestrichelten roten Linie markiert.

1-dimensional resistivity model from TEM data

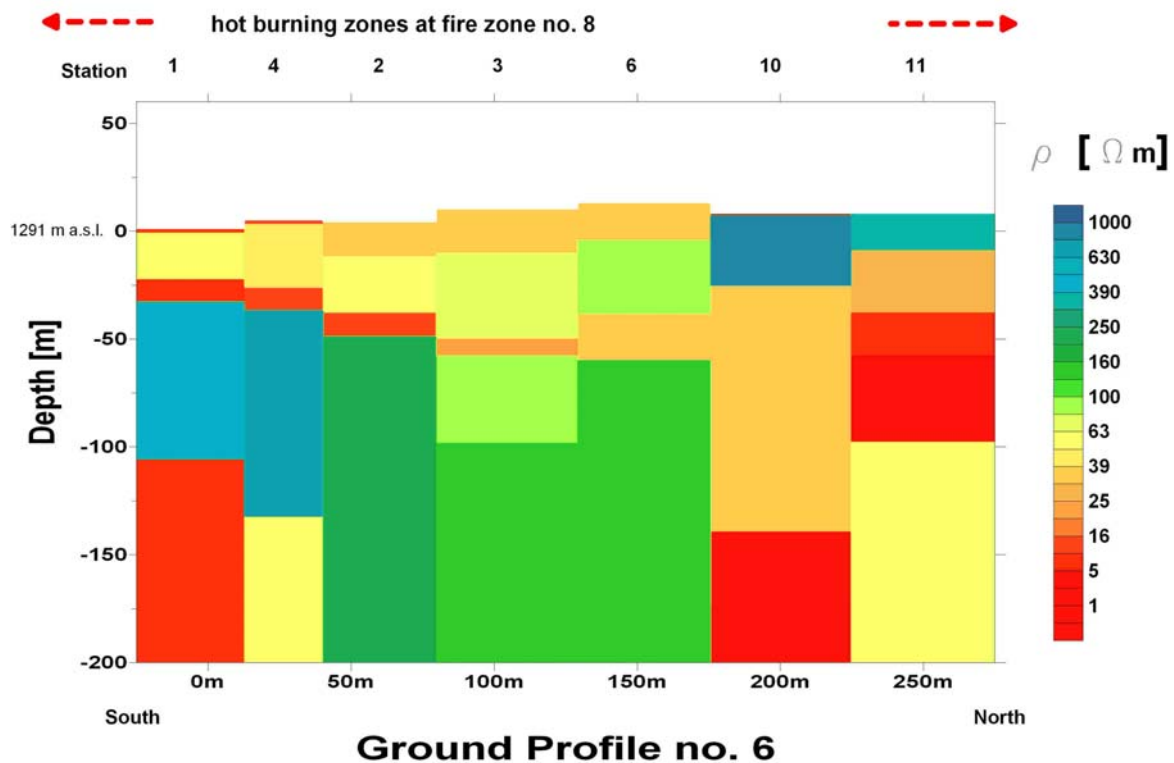


Abb. 4: Vertikalsektion des spezifischen Widerstands aus den TEM-Messungen entlang Profil 6. Der brennende Bereich der Feuerzone ist mit einer gestrichelten roten Linie markiert. Die gut leitende Schicht fällt von Süd nach Nord ein, beginnend bei einer Tiefe von ca. 25m kurz hinter der brennenden Abbruchkante.

1-dimensional resistivity model from TEM data

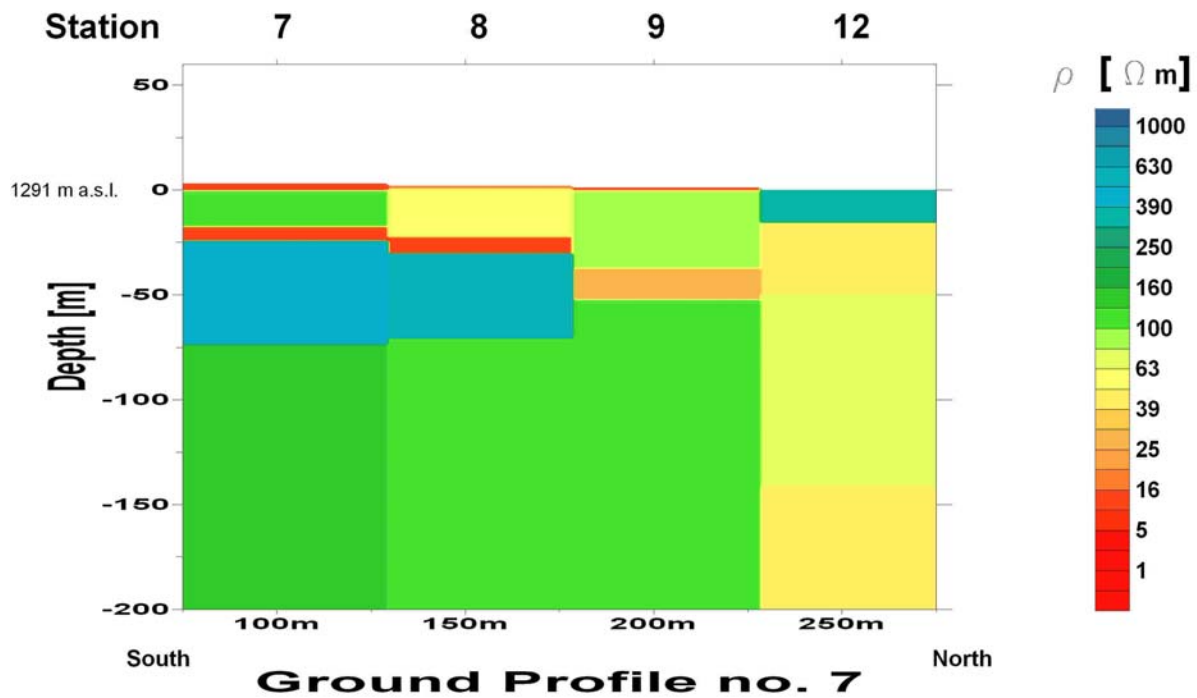


Abb. 5: Vertikalsektion des spezifischen Widerstands aus den TEM-Messungen entlang Profil 7.

1-dimensional resistivity model from TEM data

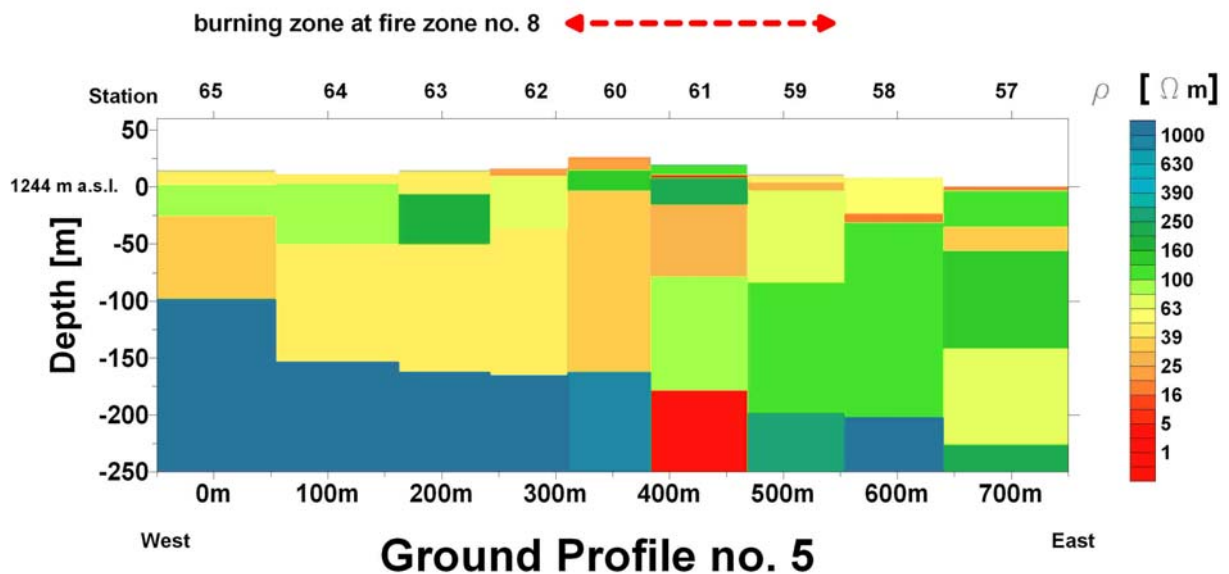


Abb. 6: Vertikalsektion des spezifischen Widerstands aus den TEM-Messungen entlang Profil 5. Der brennende Bereich der Feuerzone ist mit einer gestrichelten roten Linie markiert. Mit der Brandzone korreliert der von West nach Ost einfallende gute Leiter an den Stationen 60 bis 58.

Boden-Magnetikmessungen auf Feuerzone 8

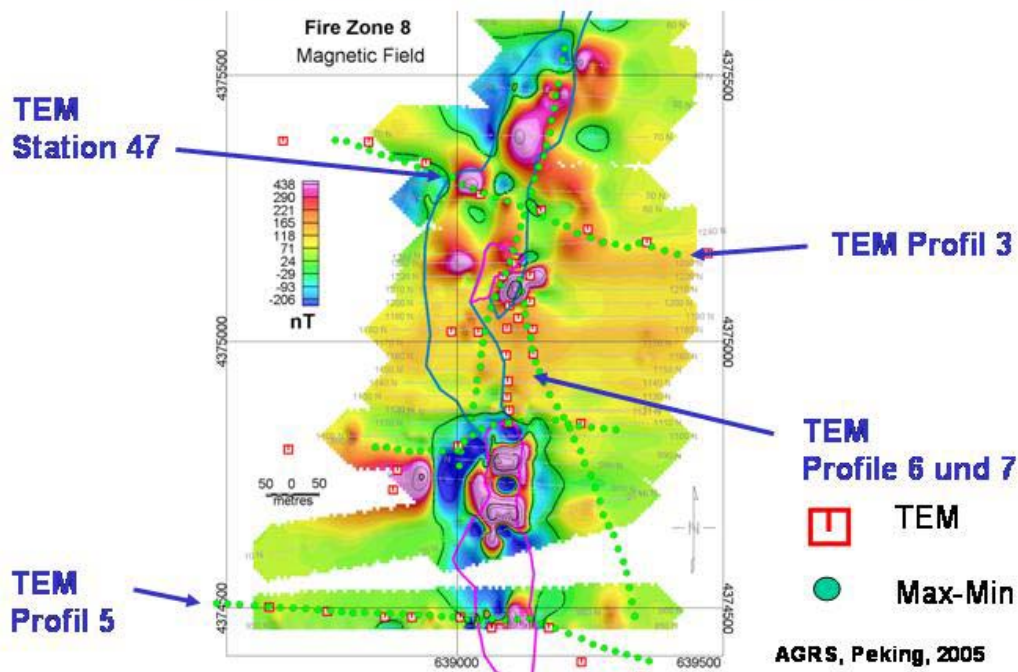


Abb. 7: Anomalien des Magnetfeldes aus Bodenmessungen, AGRS, 2005

Die im Linienabstand von 10m durchgeführten Magnetfeldmessungen am Boden weisen im Bereich von ausgebrannten und brennenden Bereichen stark erhöhte Amplitudenwerte auf und zeigen eine klare Korrelation mit den Brandzonen (Abb. 7). Für die aerogeophysikalischen Messungen erweist sich aufgrund der Abnahme der Amplitude des Magnetfeldes mit der Flughöhe (durchschnittlich 50-60m) eine weniger stark ausgeprägte Korrelation der Magnetfeldanomalien mit den brennenden Bereichen als bei den magnetischen Bodenmessungen (Abb. 8). Die Magnetfeldwerte der Anomalien aus den Bodenmessungen sind um ca. einen Faktor 50 höher als die der Hubschraubermagnetik. Begründet liegt dies in der Abschwächung des Magnetfeldes in Abhängigkeit des Abstandes zur Quelle.

Für die Beurteilung der über den Brandzonen gemessenen Daten wurden Vergleichsmessungen in nicht von Bränden betroffenen Bereichen innerhalb und außerhalb des Gebietes von Wuda durchgeführt und auf Merkmale in der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit untersucht. Dabei wurden bei Messungen über intakten Flözen keine Schichten hoher Leitfähigkeit in der Tiefe des Kohleflözes ermittelt.

Hubschrauberomagnetik

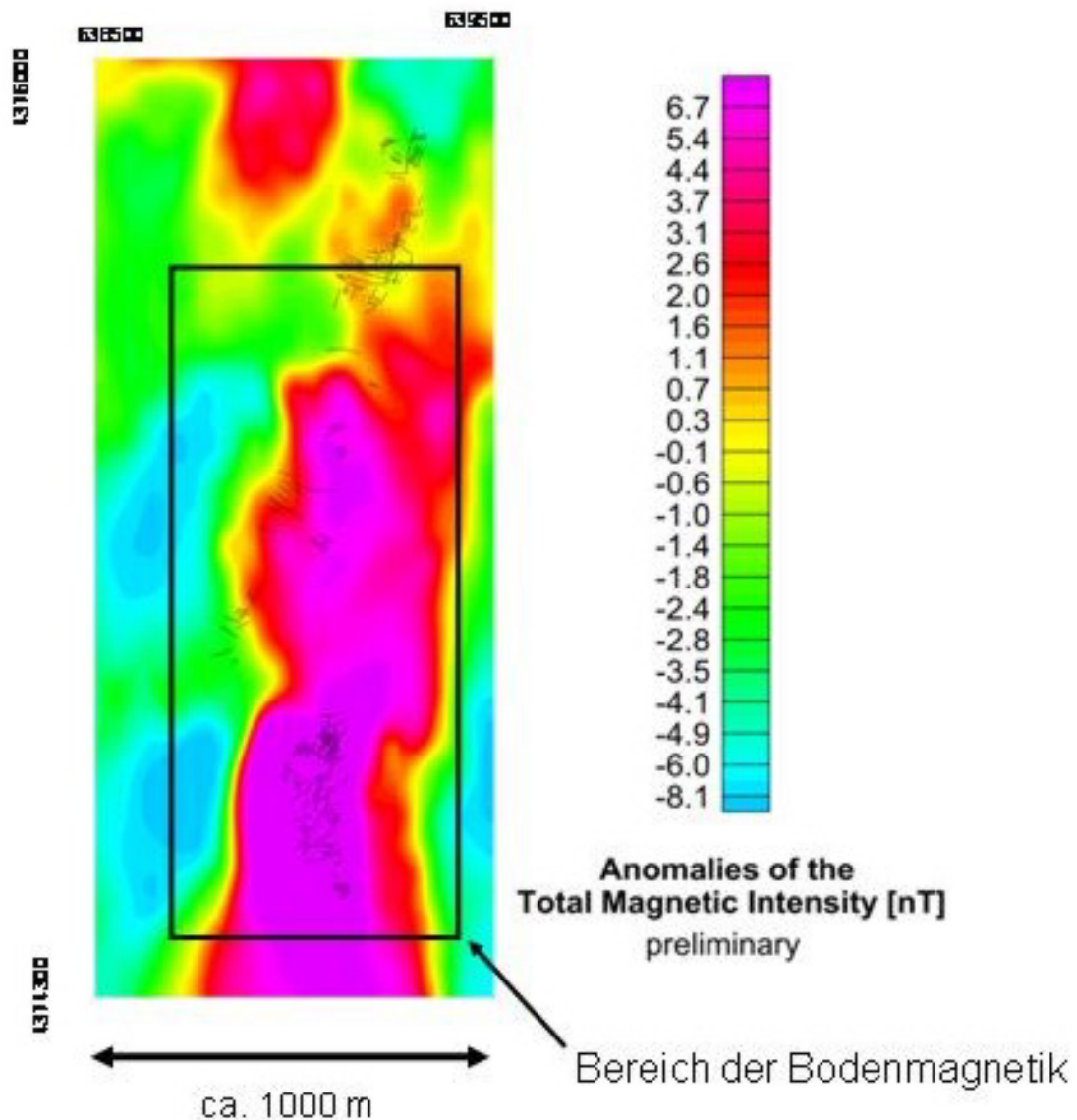


Abb. 8: Anomalien des Magnetfeldes aus Hubschraubermessungen

Neben der Ergänzung der aerogeophysikalischen Erkundung zu größeren Tiefen mit Hilfe der TEM können hier die Unterschiede in der Verteilung des spezifischen Widerstandes in den von Kohlebranden betroffenen und den nicht betroffenen Bereichen durch die Bodenmessungen verdeutlicht werden. Beide Methoden zeigen die Bereiche auf, die durch erhohnte Messpunktdichte für eine Lokalisierung von Brandzonen und deren Fortschreiten genauer untersucht werden sollten. Ein Monitoring der elektrischen Leitfähigkeit und der Magnetfeldanomalien kann hier weitere Hinweise zur Ausbreitung der Brandzonen bringen.

Literatur

Duba, A., 1977, Electrical conductivity of coal and coal char, *Fuel* 56: 441-443.

Duba, A., 1983, Electrical conductivity of Colorado oil shale to 900° C, *Fuel* 62: 966-972.

Hooper, R. L., 1987, Factors affecting the magnetic susceptibility of baked rocks above a burned coal seam, *International Journal of Coal geology*, 9, 157-169, Elsevier.

Jödicke, H., 1991, Zonen hoher elektrischer Krustenleitfähigkeit im Rhenoharzynikum und seinem nördlichen Vorland, *Hochschulschriften Band 24*, Münster.

King, A., 1987, Cindered Coal Detection Using Transient Electromagnetic Methods, *Geoexploration Vol. 24*, 4/5, 367-379.

Ruhrkohlen-Handbuch, 1969, Verlag Glückauf, Essen.

Siemon, B., 2001, Improved and new resistivity-depth profiles for helicopter electromagnetic data, *Journal of Applied Geophysics*, 46, 65-76.

Sternberg, R., Lippincott, C., 2004, Magnetic surveys over clinkers and coal seam fires in Western North Dakota, Department of Earth and Environment, Lancaster.

Voigt, S., Tetzlaff, A., Zhang, J., Kuenzer, C., Zhukow, B., Strunz, G., Oertel, D., Roth, A., Van Dijk, P. & H. Mehl, 2004, Integrating Satellite Remote Sensing Techniques for Detection and Analysis of Uncontrolled Coal Seam Fires in North China, *International Journal of Coal Geology*, No. 59, pp. 121-136.