

# Kann man oberflächennahe Metallfässer und Rohrleitungen mit der Radiomagnetotellurik (RMT) kartieren ? Ein Feldexperiment

Norbert Veerer, Bülent Tezkan

Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln

## 1 Methode und Motivation

Die Radiomagnetotellurik verwendet elektromagnetische Felder von militärischen und zivilen Rundfunksendern im Frequenzbereich von 10 kHz bis 2 MHz. Es wird paarweise das elektrische Feld und das senkrecht dazu stehende Magnetfeld gemessen. Bisher wurde die Methode vor allem in der Hydrogeologie und zur Erkundung von Altlasten eingesetzt.

Um eventuell Aussagen über Anomalien innerhalb Deponien machen zu können, wurde ein Feldexperiment durchgeführt, in dem Metallfässer, Plastikfässer und eine metallische Rohrleitung vergraben wurde.

Ziel der Arbeit ist es, die Auflösung von lokalen, kleinräumigen Störkörpern mit dieser Methoden zu untersuchen. Zusätzlich zur RMT wurden geoelektrische Sondierungen und Kartierungen, VLF-, Radar- und magnetische Messungen durchgeführt. Im folgenden wird jedoch nur auf die RMT-Messung eingegangen.

## 2 Voruntersuchung mit synthetischen Daten

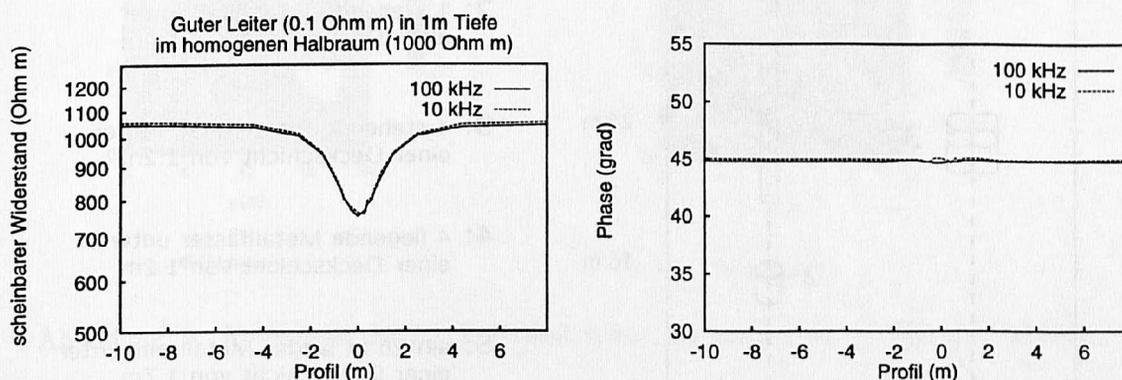


Abbildung 1: Berechnete scheinbare Widerstände und Phasen für die Frequenzen 10 und 100 kHz. Für die 3D-Vorwärtsrechnung wurde das Programm von Mackie & Madden verwendet. Das verwendete Modell ist im Text beschrieben.

Um die Dimension der erwarteten Anomalien abzuschätzen, wurden 3D-Modelle mit dem Programm von Mackie & Madden (Mackie et al., 1993) gerechnet. Abb.1 zeigt die berechneten scheinbaren Widerstände und Phasen für die Frequenzen 10 und 100 kHz. Das dafür verwendete Modell besteht aus einem homogenen Halbraum von  $1000 \Omega m$ , in dem ein würfelförmiger guter Leiter ( $0.1 \Omega m$ ) der Kantenlänge 1m eingebettet ist. Die Deckschicht über dem guten Leiter

beträgt 1m. Aus der Abbildung erkennt man über dem guten Leiter bei  $x = 0$  m einen Abfall des scheinbaren Widerstandes um 30%, während sich die Phase unbeeinflusst zeigt. Auffallend ist, daß keine Frequenzabhängigkeit der Kurven zu erkennen ist.

Verlängert man den guten Leiter im oben beschriebenen Modell in eine Richtung, so erhält man in der TE-Mode, eine deutlich größere Absenkung des scheinbaren Widerstandes und auch Änderungen in der Phase. Die Antwortfunktion der TM-Mode bleibt trotz der größeren Ausdehnung des Leiters unverändert.

### 3 Messung

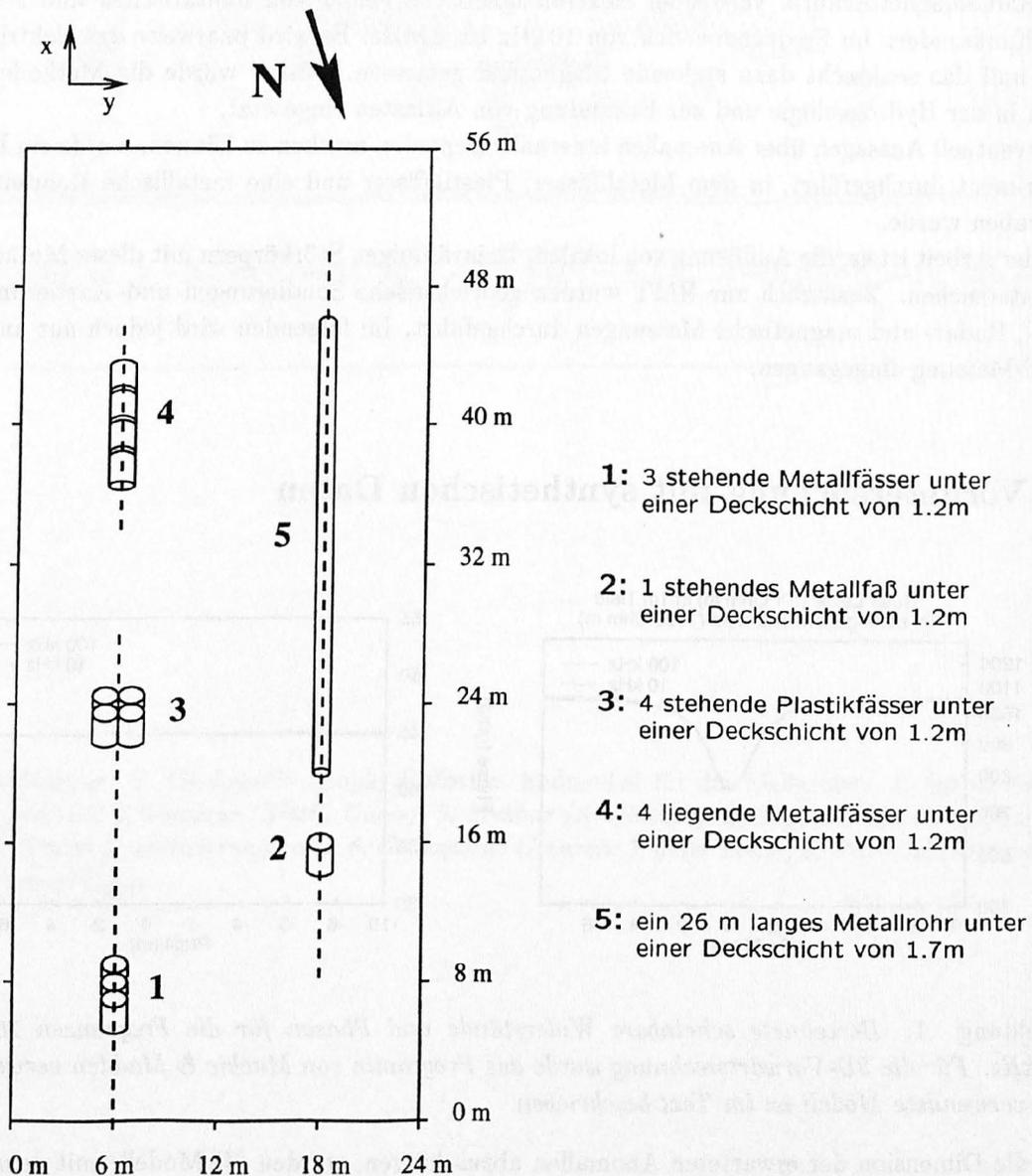


Abbildung 2: Lokationen der vergrabenen Störkörper.

Da die Modellrechnungen mit synthetischen Daten zeigten, daß die zu erwarteten Anomalien kleinräumiger, oberflächennaher Störkörper sehr klein sind, wurde darauf Wert gelegt, daß

möglichst keine lateralen Leitfähigkeitsänderungen im Untergrund des Meßgebietes vorliegen. Das so ausgewählte Meßgelände, mit einer Ausdehnung von 56 m × 24 m, lag auf einem brachliegenden Acker im Vorfeld des Braunkohleabbaugebietes Hambach zwischen Köln und Aachen. Zuerst wurde eine Referenzmessung ohne Störkörper mit 4 Frequenzpaaren zwischen 10 und 240 kHz durchgeführt.

Nach dem Eingraben der Störkörper 1-3, deren Lage aus *Abb.2* zu ersehen ist, wurde die RMT-Messung mit den gleichen Frequenzen wiederholt. Anschließend wurden die Körper 4 und 5 vergraben, und nochmals gemessen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ergebnisse der Referenzmessung

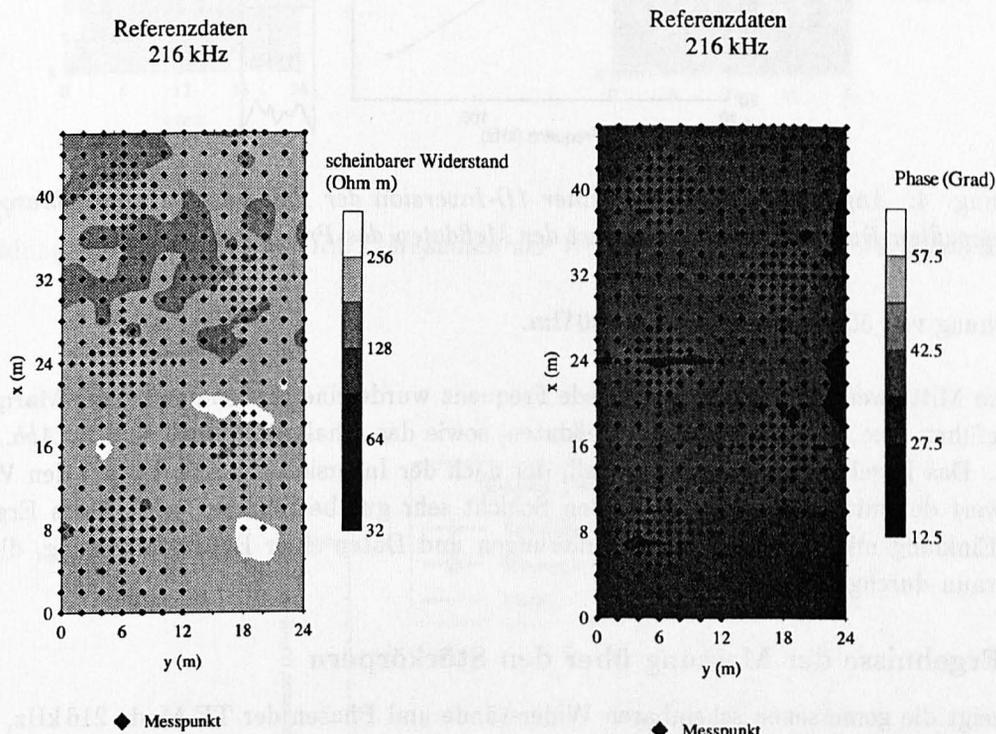


Abbildung 3: Konturplot der RMT-Meßdaten der Referenzmessung: TE mode 216 kHz.

Die gemessenen scheinbaren Widerstände und Phasen befinden sich für alle Meßpunkte der Referenzmessung auf einem konstanten Niveau einer jeweiligen Frequenz. Da außerdem bei den 4 Frequenzpaaren jeweils beide Anrichtungsrichtungen die gleichen Werte des scheinbaren Widerstandes und der Phase aufweisen, deutet dies auf eine horizontale Schichtung des Untergrundes bis zu der maximalen Skineindringtiefe von ca. 50 m hin.

Als Beispiel sind die gemessenen scheinbaren Widerstände und Phasen der Frequenz 216 kHz, sowie die Lage der Meßpunkte in *Abb.3* dargestellt. Der Maßstab ist so gewählt, daß ein Vergleich mit der Nachmessung (*Abb.5*) möglich ist. Bei der in *Abb.3* gezeigten Frequenz schwankt die Phase mit einer Abweichung von 2° um 29°. Der scheinbare Widerstand pendelt mit einer

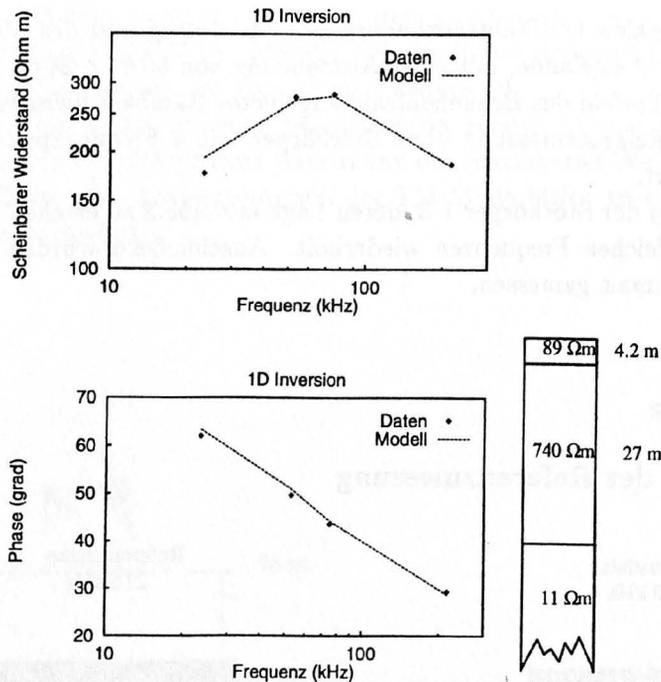


Abbildung 4: Anpassung und Modell einer 1D-Inversion der Referenzdaten nach Marquardt. Die angepaßten Daten sind der Mittelwert der Meßdaten des Profils  $x = 40$  m.

Abweichung von  $50 \Omega m$  um den Wert  $190 \Omega m$ .

Aus dem Mittelwert der Meßdaten für jede Frequenz wurde eine 1D-Inversion nach Marquardt durchgeführt. Die Anpassung an die Meßdaten, sowie das erhaltene Modell sind in *Abb.4* dargestellt. Das Ergebnis ist ein 3-Schichtfall, der nach der Inversionsstatistik bis auf den Widerstandswert der mittleren schlechtleitenden Schicht sehr gut bestimmbar ist. Dieses Ergebnis ist im Einklang mit den Geoelektriksondierungen und Daten einer Bohrlochmessung, die von Rheinbraun durchgeführt wurde.

#### 4.2 Ergebnisse der Messung über den Störkörpern

*Abb.5* zeigt die gemessenen scheinbaren Widerstände und Phasen der TE-Mode 216 kHz, sowie die Lage der Meßpunkte bei der Messung nach dem Eingraben der Störkörper. Die Meßdaten der TE-Mode sind über dem ganzen Meßgebiet von dem Metallrohr, das sich in 1,7 m Tiefe befindet, beeinflusst. Die kleinen Änderungen der Meßwerte aufgrund der Störkörper 1-4 gehen in diesem Maßstab unter. Der scheinbare Widerstand bewegt sich zwischen  $32 \Omega m$  und  $380 \Omega m$ , die Phase zwischen  $15^\circ$  und  $69^\circ$ . Der scheinbare Widerstand beträgt über dem Rohr nur noch ein Sechstel der Referenzmessung (*Abb.3*) und die Phase steigt hier auf weit über  $45^\circ$ , während sie bei der Referenzmessung  $30^\circ$  beträgt.

Die Überschwinger an den Enden des Rohres sind deutlich zu erkennen. Dort steigt der scheinbare Widerstand um den doppelten Wert der Referenzmessung. Die Phase hat hier einen gegenüber der Referenzmessung um  $10^\circ$  erniedrigten Wert. Bemerkenswert ist, daß die Phase direkt über den Enden des Rohres ihr Minimum erreicht, während hier der scheinbare Widerstand die Werte der Referenzmessung annimmt und erst 1-2 m vom Rohr entfernt sein Maximum hat.

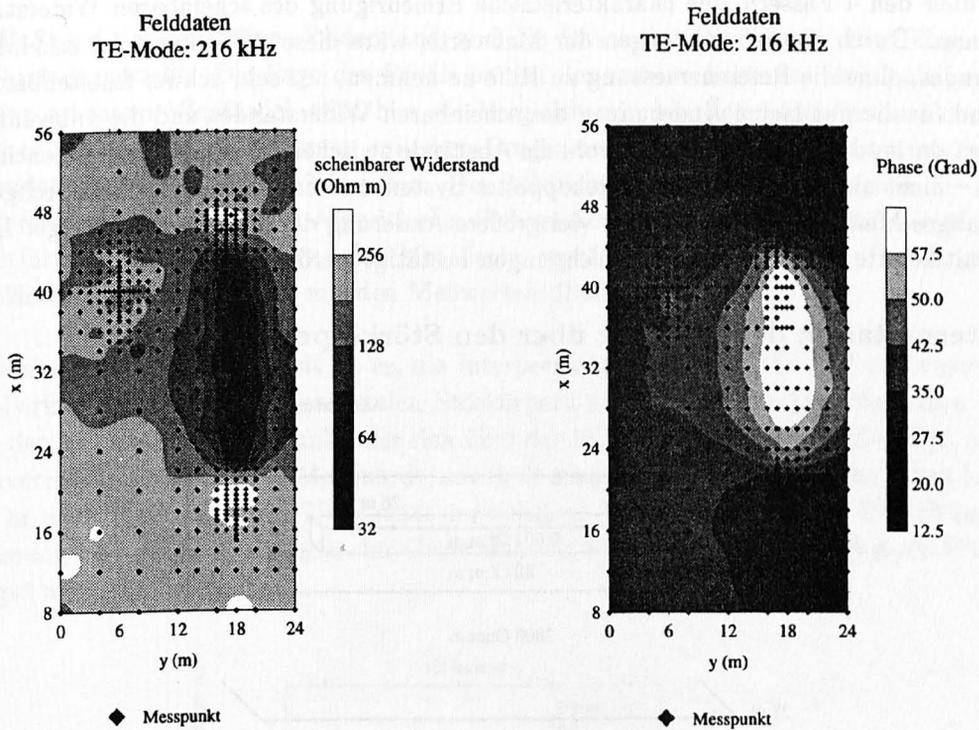


Abbildung 5: Konturplot der RMT-Meßdaten der Wiederholungsmessung: TE-Mode 216 kHz.

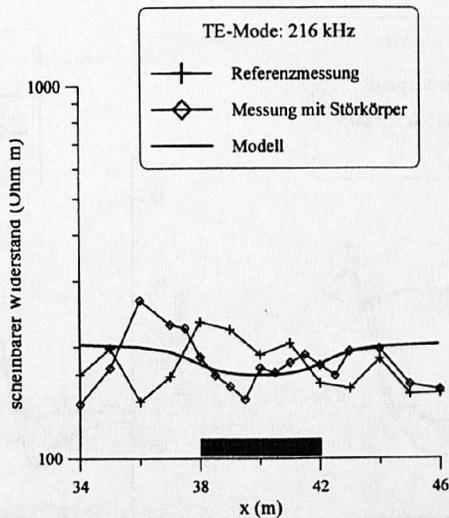


Abbildung 6: Vergleich der Meßkurven mit der Modellantwort, berechnet mit Mackie & Madden. Es ist das obere Profil in Abb.3 bei  $y = 6$  m dargestellt.

Abb.6 zeigt einen Profilplot über den 4 liegenden Metallfässern (siehe obere gestrichelte Linie bei  $y = 6$  m in Abb.2). Beim Vergleich der Meßdaten über dem Störkörper mit der Referenzmes-

sung ist über den 4 Fässern eine charakteristische Erniedrigung des scheinbaren Widerstandes zu erkennen. Durch die Schwankungen der Meßwerte, wäre diese Absenkung des scheinbaren Widerstandes, ohne die Referenzmessung zu Hilfe zu nehmen, nur sehr schwer feststellbar. Ein Grund für die nur kleine Änderungen des scheinbaren Widerstandes und die unbeeinflusste Phase liegt darin, daß die 4 Fässer – obwohl die Abstände zwischen ihnen nur wenige Zentimeter betragen – nicht als ein untereinander gekoppeltes System zu verstehen sind. Ein durchgehendes 4 m langes Metallfaß hätte eine sehr viel größere Änderung der Meßwerte zur Folge. Dieser Sachverhalt konnte durch 3D-Vorwärtsrechnungen bestätigt werden.

### 4.3 Interpretation der Messung über den Störkörpern

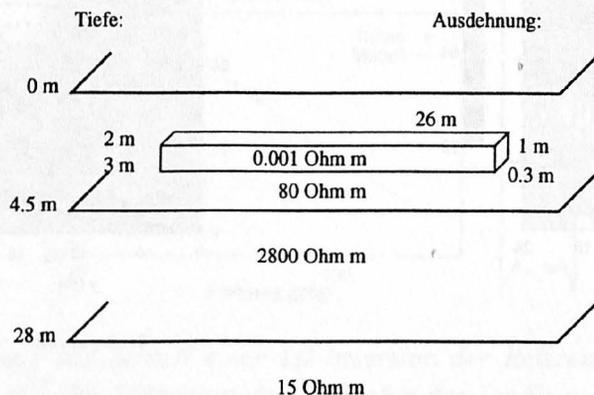


Abbildung 7: Modell für die 3D-Vorwärtsrechnung mit Mackie & Madden.

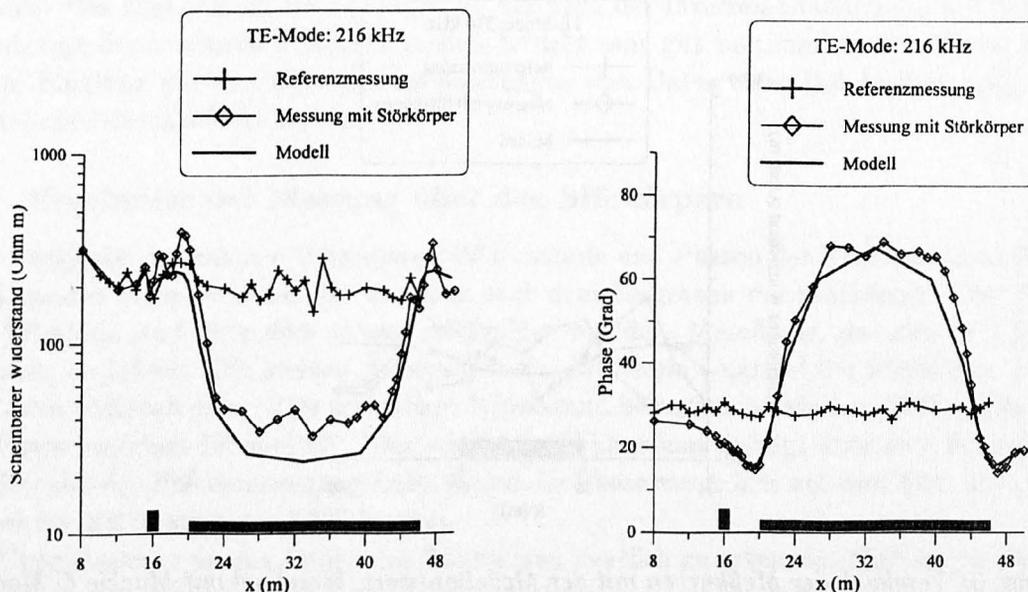


Abbildung 8: Profildarstellung der RMT-Meßdaten: TE-Mode 216 kHz. Die Meßdaten werden verglichen mit synthetischen Daten, die mit dem 3D-Programm von Mackie & Madden berechnet wurden. Das Profil ist in Abb.2 als gestrichelte Linie bei  $y = 18$  m zu finden.

In *Abb.8* sind der scheinbare Widerstand und die Phase des Profils  $y = 18\text{ m}$  längs des Metallrohres dargestellt. Die Lage des Profils ist auf der rechten Seite der *Abb.2* als gestrichelte Linie zu erkennen. Zusätzlich wird hier ein Vergleich mit den Referenzdaten und dem Ergebnis einer 3D-Vorwärtsmodellierung mit dem Programm von Mackie & Madden gezogen. Das verwendete Modell ist in *Abb.7* zu sehen. Der 3-Schichtfall ist das Ergebnis einer 1D-Inversion der Referenzdaten mit dem  $\Psi$ -Algorithmus (Schmucker, 1974). In diesem 3-Schichtfall ist ein quaderförmiger guter Leiter, der das Metallrohr repräsentiert, eingebettet. Das Ergebnis der Modellierung stimmt sehr gut mit den Meßwerten überein.

Ein wesentliches Ziel der Arbeit ist es, die Interpretationsfehler bei 1D- und 2D-Auswertungen von oberflächennahen dreidimensionalen Störkörpern zu untersuchen. Invertiert man die Meßwerte der TE-Mode an dem Punkt, der sich über der Mitte des Metallrohres befindet, mit einem 1D-Inversionsprogramm nach Marquardt, so erhält man einen  $1/2\text{ m}$  mächtigen guten Leiter von  $3\ \Omega\text{m}$  in einer Tiefe von  $4,4\text{ m}$  Tiefe, statt der richtigen Tiefe von  $1,7\text{ m}$ . Das Modell und dessen Anpassung ist in *Abb.9* zu sehen. Im Gegensatz zur Phase konnte der scheinbare Widerstand sehr gut angepaßt werden.

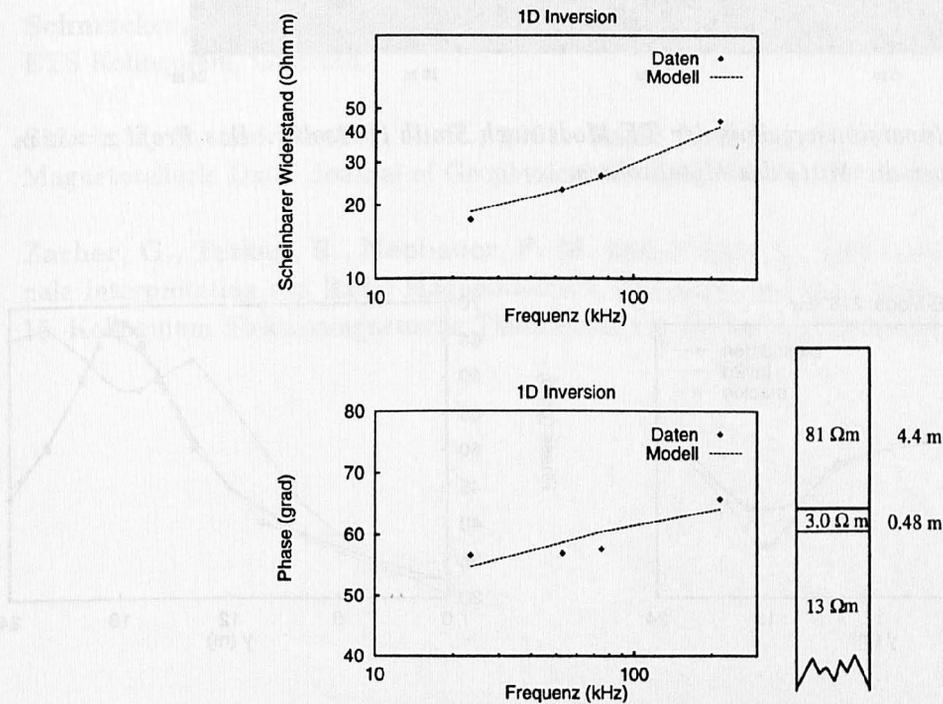


Abbildung 9: Anpassung und Modell einer 1D-Inversion der TE-Mode nach Marquardt. Die Meßdaten stammen von dem Punkt 18/32, der sich über der Mitte des Metallrohres befindet.

*Abb.10* zeigt das Ergebnis einer 2D-Inversion der TE-Mode nach Smith & Booker(1991). Das dargestellte Profil  $x = 32\text{ m}$  verläuft senkrecht über die Mitte des Metallrohres. Man erhält ein Minimum des scheinbaren Widerstandes bei  $y = 18\text{ m}$ , jedoch in einer Tiefe zwischen  $3$  und  $7\text{ m}$ . Für das oben beschriebene Profil ist die Anpassung der 2D-Inversion an die Felddaten, sowie das Ergebnis der 3D-Modellierung in *Abb.11* für die Frequenz  $216\text{ kHz}$  dargestellt. Im Gegensatz zum scheinbaren Widerstand wurde die Phase bei der 2D-Inversion von Smith & Booker schlecht angepaßt.

Der charakteristische Kurvenverlauf ist bei der 3D-Vorwärtsrechnung besser wiedergegeben als

bei der Inversionsrechnung, da sich bei der Anpassung einzelne Meßungenauigkeiten in einer Frequenz auf die anderen Frequenzen auswirken können.

Rheinbraun, 2d-Inversion TE-Mode, Profil x=32

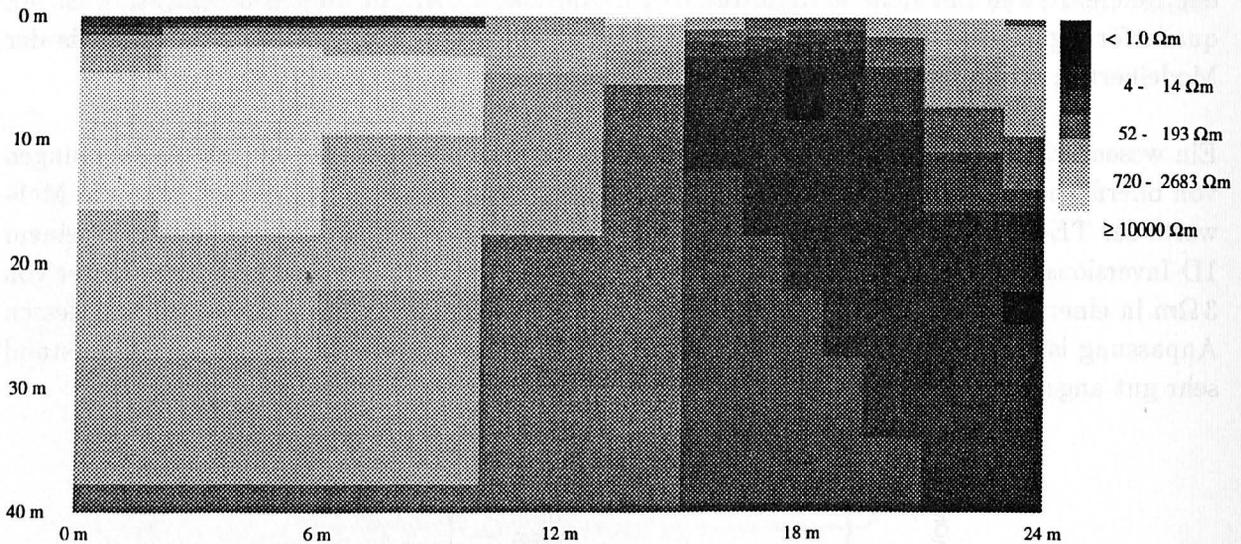


Abbildung 10: 2D-Inversionsergebnis der TE-Mode nach Smith & Booker. Das Profil  $x = 32$  m verläuft senkrecht über die Mitte des Metallrohres.

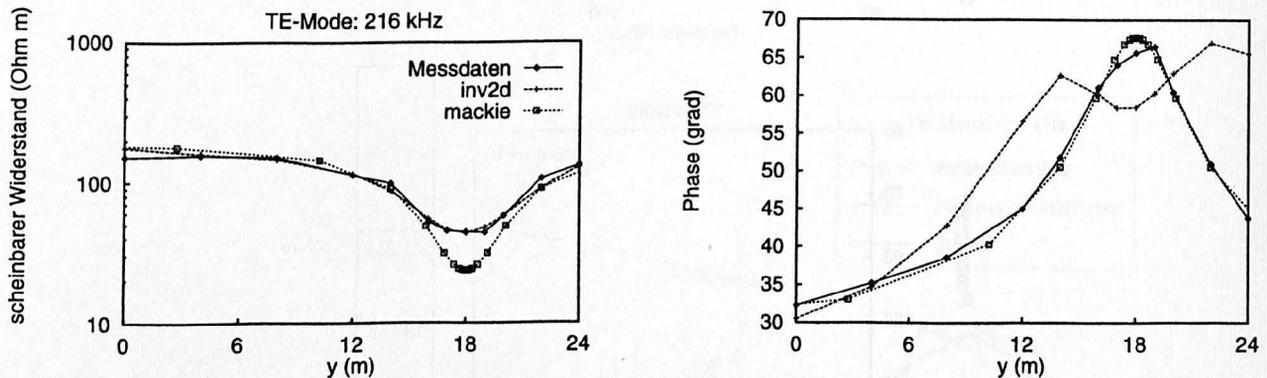


Abbildung 11: Anpassung der 2D-Inversion an die Felddaten für die Frequenz 216 kHz. Zusätzlich ist das Ergebnis der 3D-Vorwärtsrechnung dargestellt.

## 5 Schlußfolgerung und Ausblick

Aus den bisherigen Ergebnissen kann man schließen, daß kleinere Anomalien mit der Radiomagnetotellurik nicht erfaßbar sind. Nur sehr langgestreckte Objekte sind für die TE-Mode, sowohl im scheinbaren Widerstand als auch in der Phase, zu erkennen. Die 1D- und 2D-Inversionen liefern bei der Tiefenabschätzung für die Störkörper zu große Werte. Erste Ansätze einer 3D-Modellierung, die die Anomalien der Störkörper wiedergeben, wurden bereits gemacht. In Zukunft wird versucht, den Ursachen der falschen Tiefenbestimmung auf den Grund zu gehen.

Mit den Daten, die über dem Rohr gemessen wurden, werden Interpretationsfehler von weiteren Inversionsprogrammen untersucht werden.

## 6 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei der Firma Rheinbraun bedanken. Speziell bei Dr. B. Wutzler für die ständige Betreuung und die Unterstützung bei der Auswahl des Meßgeländes, sowie für die Bereitstellung des Baggers für das Ein- und Ausgraben der Störkörper.

## 7 Literatur

**Mackie, R. L., Madden, T. R. and Wannamaker, P. E., 1993.** Three-dimensional magnetotelluric modelling using difference equations — Theory and comparisons to integral equation solutions. *Geophysics*, **58**, No. 2, 215-226.

**Schmucker, U., 1974.** Erdmagnetische Tiefensondierung mit Langperiodischen Variationen, ETS Kolloquium, Grafrath.

**Smith, J. T. and Booker, J. R., 1991.** Rapid Inversion of Two- and Three-Dimensional Magnetotelluric Data. *Journal of Geophysical Research*, **96**, No. B3, 3905-3922.

**Zacher, G., Tezkan, B., Neubauer, F. M. und Müller, I., 1994.** Ein- und Zweidimensionale Interpretation von Radio-Magnetotellurik Messungen auf einer Altlast in Köln-Ossendorf, 15. Kolloquium Elektromagnetische Tiefenforschung, Höchst im Odenwald, 457-463.