

Messungen der komplexen elektrischen Leitfähigkeit in Feld und Labor

M. Kötter, N. Schleifer, J. Bigalke, A. Junge *

Einleitung

Die Entwicklung der Geoelektrik-Apparatur SIP-256 zur Bestimmung der komplexen elektrischen Leitfähigkeit fand im Rahmen des Graduiertenkollegs „Archäologische Analytik“ statt. Ziel ist es, innerhalb dieses DFG-Projekts, die Polarisierbarkeit als einen weiteren bodenspezifischen Parameter in der archäologischen Prospektion zu etablieren, aber auch grundsätzlich die Auflösbarkeit oberflächennaher 3D-Objekte in der Geoelektrik zu untersuchen.

Die ersten Messungen beschränkten sich auf das Labor bzw. auf bereits bekannte archäologische Strukturen. Mit der Anwendung verschiedener Elektrodenanordnungen sollte zunächst die Tiefenauflösung der jeweiligen Meßkonfiguration untersucht werden. Ziel war es außerdem, die Reproduzierbarkeit der physikalischen Parameter, sowie die Position der Strukturen in der anschließenden Inversion zu überprüfen. In dem vorliegenden Beitrag sollen die ersten Ergebnisse dieser Untersuchungen vorgestellt werden.

Die Apparatur

Um die Feldmessungen innerhalb eines vernünftigen Zeitrahmens durchführen zu können wurde mit Hilfe von T. Radic (TU Berlin) und dem Ingenieurbüro Hoffmann (Berlin) das Konzept der "intelligenten" Elektrode entwickelt. Diese Elektroden, auch Remote Units (RU's) genannt, übernehmen sowohl die Stromeinspeisung, als auch die Potentialmessung. Das eingespeiste Stromsignal wird dabei wahlweise von einem externen bzw. internen Frequenzgenerator vorgegeben. In der Regel entspricht die Signalform einem Frequenzspektrum, das sich aus vier Grundfrequenzen zusammensetzt. Dadurch erhält man die Phasenwerte zu vier unterschiedlichen Frequenzen.

Die Meßdaten werden direkt in den RUs verarbeitet, digitalisiert und in digitaler Form an die zentrale Steuereinheit übertragen. Der Vorteil dieses "Preprocessings" besteht in der Reduzierung des Datenrückflusses zur Steuereinheit und damit in einer Verkürzung der Meßzeit. Die Übertragung erfolgt nach jedem Einspeisezyklus. Dadurch kann man bereits während der Messung die Datenqualität testen und, falls notwendig, korrigierend eingreifen. Gesteuert wird der Meßablauf von einem Laptop, auf dem auch die anschließende Datenverarbeitung und Inversion erfolgt. Für eine ausführlichere Beschreibung der SIP-256 sei auf Bigalke et al. (1999) verwiesen.

* Alle: Institut für Meteorologie u. Geophysik der J.W. Goethe Universität Frankfurt a.M.

Ablauf einer 2D- und 3D-Messung

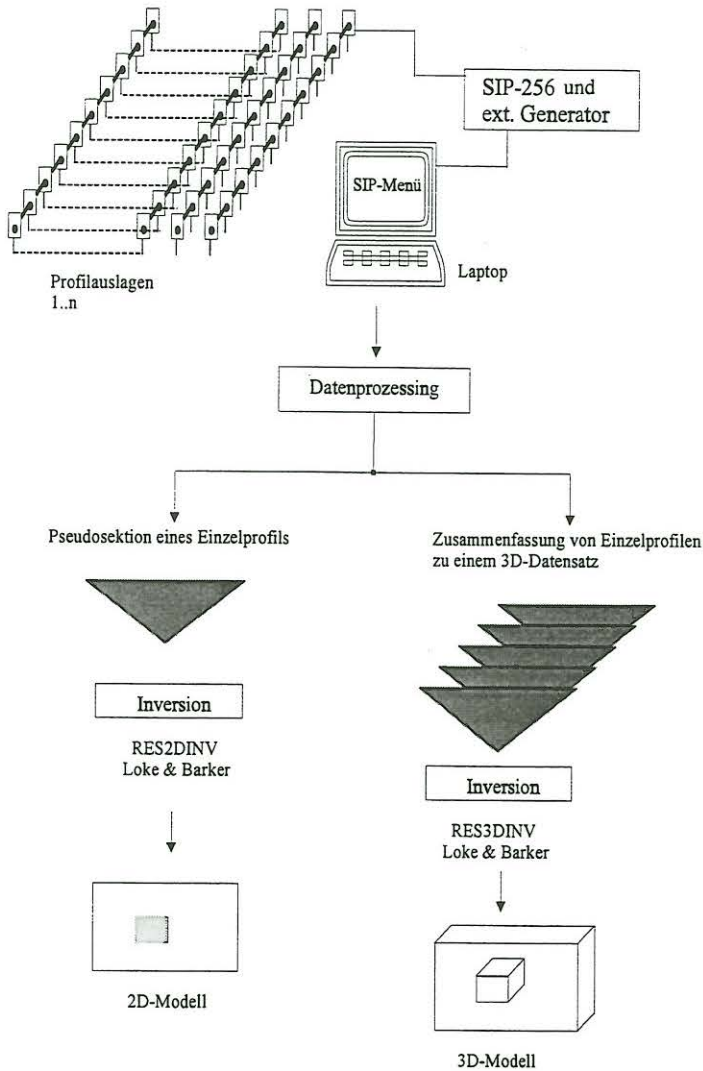


Abb. 1: Ablauf einer 2D- bzw. 3D-Messung mit der SIP-256 sowie der anschließenden Auswertung bis hin zum Modell

3D-Labormessung

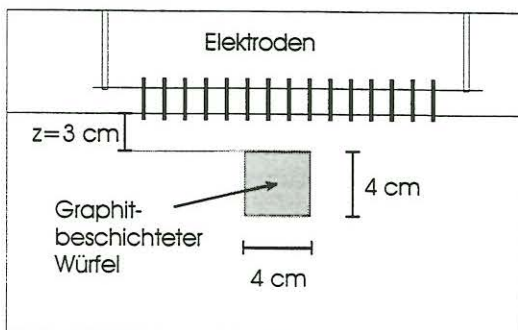
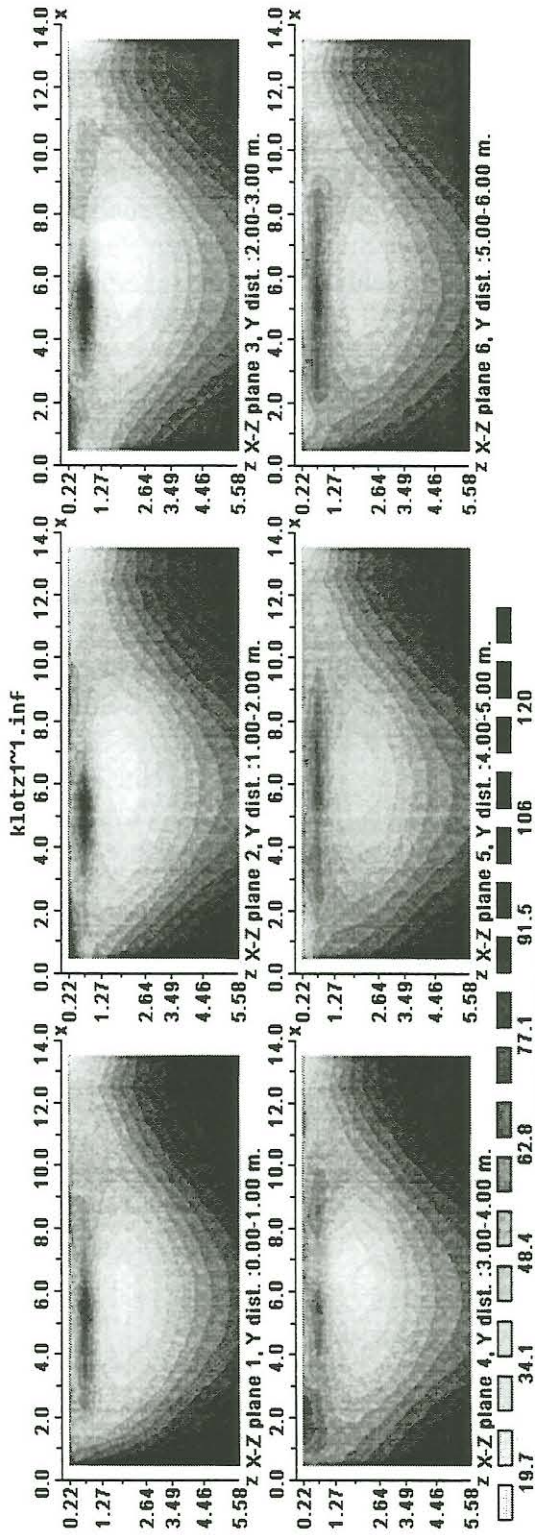


Abb. 2: Messungen im Sandtrog

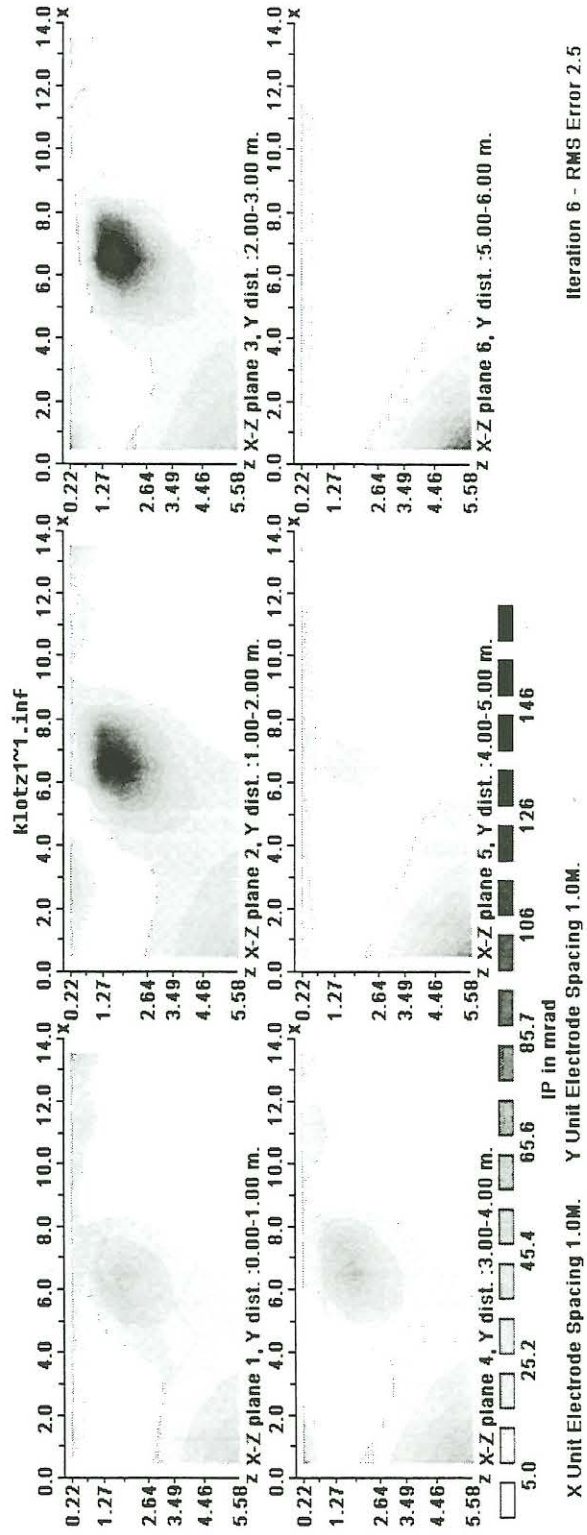
In *Abb. 1* ist schematisch der Ablauf einer Feldmessung skizziert. Bei 3D-Prospektionen werden mehrere Profile parallel zueinander gemessen und danach wahlweise zu einem "Pseudo-3D-Datensatz" zusammengefaßt oder einzeln ausgewertet. Der Stand der selbstentwickelten Auswertesoftware erlaubt zur Zeit noch nicht die Bearbeitung eines kompletten 3D-Datensatzes, der mit Hilfe eines Elektroden-Arrays erstellt wurde.

Invertiert werden die Daten mit den Programmen RES2DINV bzw. RES3DINV von Loke & Barker (Campus Geophysical Instruments Ltd.).



X Unit Electrode Spacing 1.0M. Y Unit Electrode Spacing 1.0M.

Iteration 6 - RMS Error 1.9%



X Unit Electrode Spacing 1.0M. Y Unit Electrode Spacing 1.0M.

Iteration 6 - RMS Error 2.5

Abb. 3: Vertikalschnitte der invertierten Widerstände (oben) u. Phasen (unten)

Als bekanntes Objekt wurde ein mit etwa 2 mm dicken Graphitplatten beschichteter Holzwürfel mit Kantenlängen von 4 cm in den Sand eingegraben. Seine Oberkante befand sich dabei 3 cm unter der Oberfläche des Sandes. Von der Graphitbeschichtung waren deutliche Effekte, sowohl in der Polarisierbarkeit (Oberflächenpolarisation), als auch im elektrischen Widerstand zu erwarten. Abb. 3 zeigt das invertierte 3D-Modell der Pol-Dipol-Messung, eines aus sechs Profilen zusammengesetzten Datensatzes.

Die Profile befanden sich mit ihrer Mitte über dem Würfel, wodurch sich ein 3D-Datensatz ergab, in dessen Zentrum sich der Würfel befindet. Bei den folgenden Abbildungen von Labormessungen sei darauf hingewiesen, daß die Skalen auf den Elektrodenabstand von 2 cm normiert sind. Deutlich zu erkennen ist, daß sich der Störkörper in den Phasen wesentlich schärfer und deutlicher von seiner Umgebung abzeichnet als in den scheinbaren Widerständen. Die Zentren der Anomalien im Untergrundmodell entsprechen bei beiden Parametern der realen Lage des Würfels.

Da es in der archäologischen Prospektion wichtig ist, die Position und Ausdehnung von Objekten möglichst genau zu bestimmen, wäre in diesem Fall die Polarisierbarkeit für die Lokalisierung des Objekts der Widerstandsmessung vorzuziehen.

Vergleich: Dipol-Dipol- und Pol-Dipol-Anordnungen bei Feld- und Labormessungen

Im nächsten Schritt galt es herauszufinden, bis zu welchen Tiefen Aussagen über mögliche Strukturen gemacht werden können. Zu diesem Zweck fanden Labor- und Feldmessungen mit Dipol-Dipol und Pol-Dipol-Anordnungen statt. Die SIP-256 ermöglicht es, innerhalb weniger Minuten zwischen den einzelnen Meßkonfigurationen zu wechseln. Dabei bleibt die Lage der Elektroden zwischen den Messungen unverändert, womit die Voraussetzungen für einen Vergleich erfüllt sind.

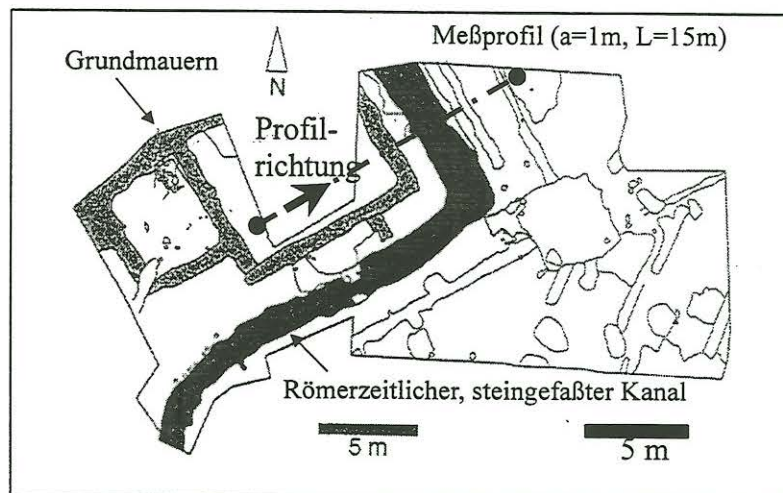


Abb. 4: Skizze des Meßprofils über einem römischen Kanal

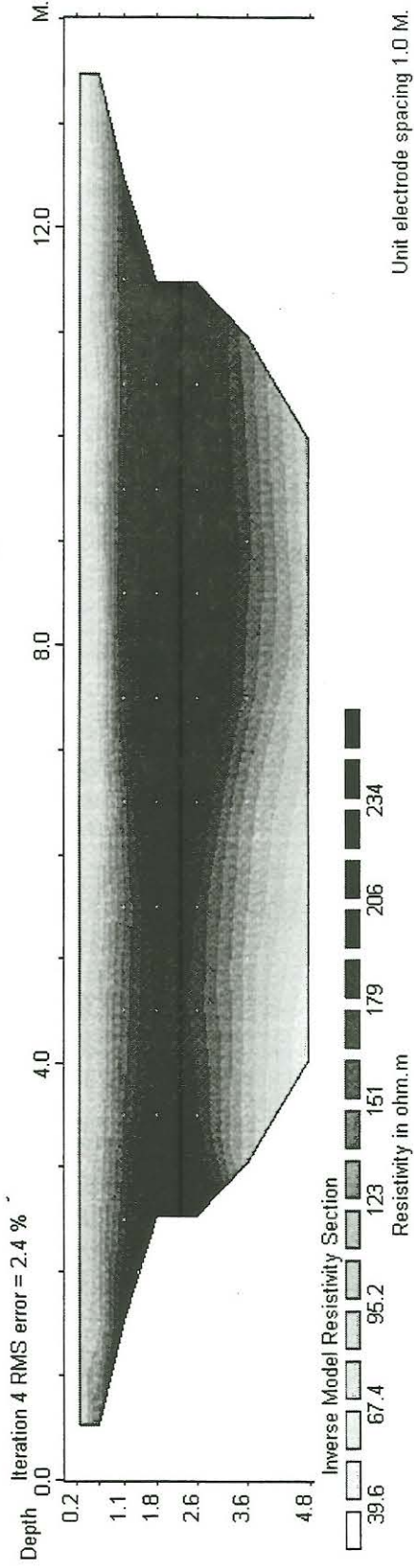
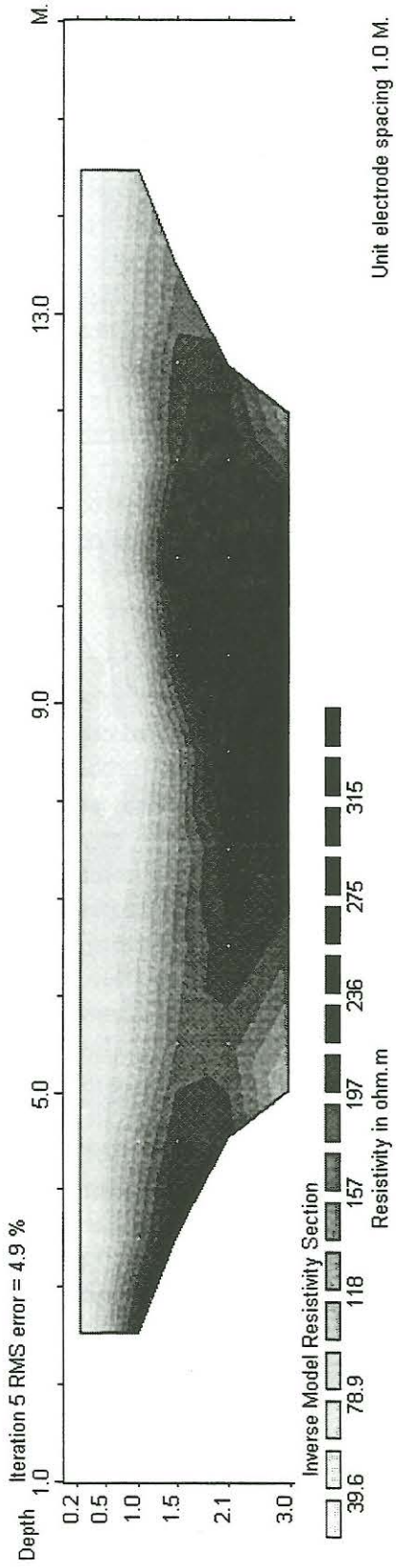


Abb. 5: Inversionsergebnisse der Feldmessungen mit Dipol-Dipol- (oben) und Pol-Dipol-Anordnung (unten)

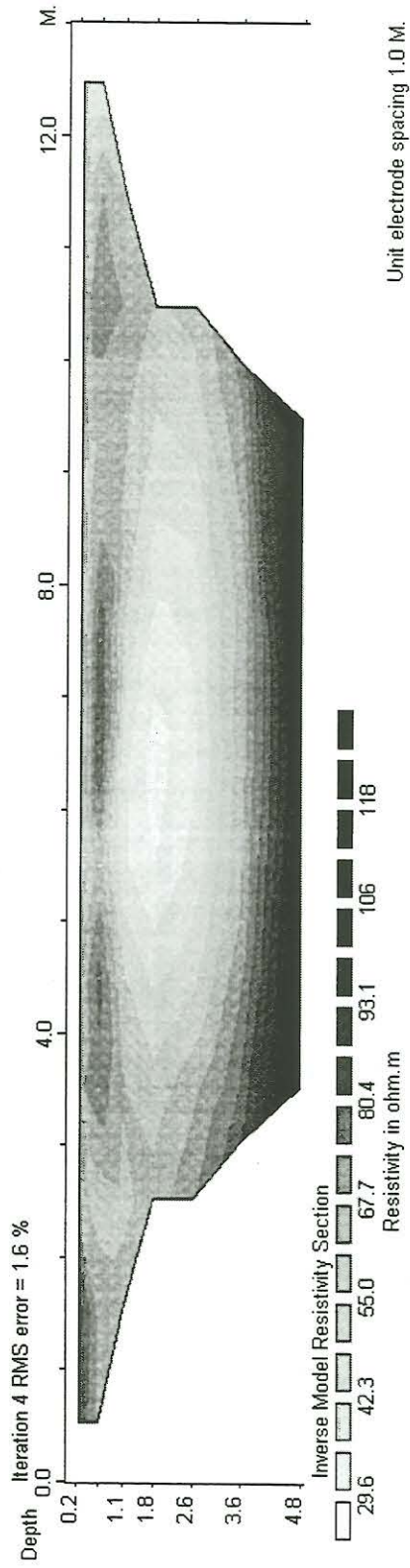
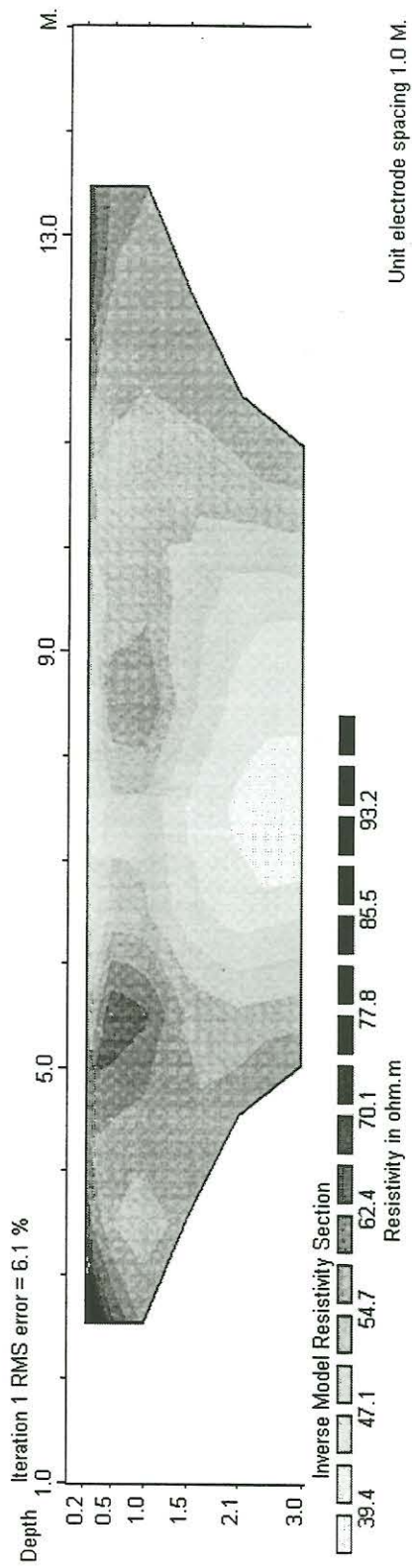


Abb 6: *Inversionsergebnisse der Labormessungen mit Dipol-Dipol- (oben) und Pol-Dipol-Anordnung (unten)*

Im Feld wurden die Messungen über einem römischen, steingefassten Kanal in der Nähe von Groß Gerau durchgeführt (Abb. 4). Die Oberkante des Kanals befindet sich etwa 2 m tief unter der Oberfläche und sein Querschnitt beträgt etwa 2 m in der Breite und 1,5 m in der Höhe. Diese Abmessungen sind aus Ausgrabungen der Archäologen bekannt. Eine Auslage von 16 Elektroden (Edelstahlspießen) im Abstand von jeweils 1 m wurde sowohl bei der Dipol-Dipol- als auch Pol-Dipol-Messung verwendet. Im Labor diente der bereits bei den 3D-Messungen verwendete Graphitwürfel als Objekt, diesmal jedoch in einer Tiefe von $z=6$ cm (vgl. Abb. 2). Die Elektrodenanordnung ist mit den oben beschriebenen 3D-Messungen identisch. Bei diesem Vergleich beschränkten wir uns auf die Auswertung der 2D-Datensätze der Widerstandsmessungen, da bei den Feldmessungen wie erwartet keine Polarisierungseffekte auftraten.

Die Inversion der 2D-Datensätze erfolgte mit dem Programm RES2DINV. Die Skala ist bei den Labormessungen auf den Elektrodenabstand von 2 cm normiert. Weiter ist darauf zu achten, daß der Graphitwürfel, im Gegensatz zu dem Steinkanal einen niedrigeren Widerstand besitzt als seine Umgebung, was sich jedoch nicht auf die Tiefenauflösung der Elektrodenanordnungen auswirkt.

Ergebnisse

Bei den Inversionsergebnissen der Messungen im Feld (Abb. 5 oben) und Labor (Abb. 6 oben) wird deutlich, daß bei identischer Auslage die Dipol-Dipol-Anordnung nur eine relativ begrenzte Tiefenreichweite besitzt. Aussagen können nur über die Lage der Oberkante der Strukturen gemacht werden. Die Pol-Dipol-Anordnung dagegen (Abb. 5 u. 6 unten) erfaßt in beiden Fällen die komplette Ausdehnung der verborgenen Strukturen. Beide Methoden liefern somit zwar übereinstimmende Ergebnisse, ist man jedoch an tieferliegenden Strukturen interessiert, so ist die Pol-Dipol-Anordnung mit der höheren Tiefenreichweite klar von Vorteil. Damit bestätigen sich bei den ersten Testmessungen die Ergebnisse bisher bekannter Veröffentlichungen (Oldenburg und Li 1999; Apparao et al. 1997), die ebenfalls der Pol-Dipol-Anordnung eine größere Tiefenreichweite zuordnen.

Bei Abbildung 5 sei darauf hingewiesen, daß es sich bei dem Bereich mit erhöhtem Widerstand am linken Rand der Inversionsergebnisse wahrscheinlich um eine erfaßte römische Mauer handelt, jedoch kann deren Ausdehnung und Form zum linken Rand hin nicht als sicher angenommen werden. Grund dafür ist, daß allgemein die Darstellung der Randbereiche nicht nur auf wenigen Meßdaten beruht, sondern auch auf einer Interpolation durch das Inversionsprogramm. Man sollte deshalb nur den Anomalien in ihrer Ausdehnung und Form trauen, die nicht unmittelbar am linken, bzw. rechten Rand liegen. Der Rand ist dabei mit einer Breite von etwa dem doppelten Elektrodenabstand anzunehmen, wobei er zur Tiefe hin breiter wird.

Fazit

Die Ergebnisse erster Messungen mit der SIP 256 haben gezeigt, daß der Ansatz, die Induzierte Polarisation in der archäologischen Prospektion zu etablieren, zu einer Verbesserung der Lokalisierung verborgener Strukturen führen kann. Labormessungen haben gezeigt, daß sich polarisierbare Objekte wesentlich schärfer in ihren Umrißen abzeichnen und damit genauere Hinweise über die Lage und Ausdehnung eines Objekts liefern können. Gilt es tieferliegende Strukturen zu untersuchen, bestätigt sich, daß die Pol-Dipol-Anordnung mit ihrer größeren Tiefenreichweite klar der Dipol-Dipol-Anordnung überlegen ist. Beide Methoden liefern jedoch zuverlässige Ergebnisse und erlauben eine genaue Detektion der verborgenen Strukturen.

Literatur

- Apparao A., Silvarama Sastry R. und Subrahmanya Sarma V. (1997). *Depth of detection of buried resistive targets with some electrode arrays in resistivity prospecting*. Geophysical Prospecting 45, 365-375.
- J. Bigalke, N. Schleifer, M. Kötter, A. Junge (1999). *SIP256: Eine mehrkanalige IP-Apparatur zur schnellen Bestimmung der komplexen elektrischen Leitfähigkeit des Untergrundes* DGG Mittlg. 4/1999, 36-44.
- M. H. Loke & R. D. Barker (1996). *Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion* Geophysical Prospecting 44, 499-523.
- Oldenburg D. W. und Li Y. (1999). *Estimating depth of investigation in dc resistivity and IP survey*. Geophysics 64, 403-416.