

# Ein Vergleich von Widerstandsmessungen mit einem Multielektrodensystem und dem OhmMapper™

R. Ziekur\* & M. Grinat\*

\* Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Hannover, Germany  
E-mail: [Regine.Ziekur@gga-hannover.de](mailto:Regine.Ziekur@gga-hannover.de); [Michael.Grinat@gga-hannover.de](mailto:Michael.Grinat@gga-hannover.de);

## Einleitung

Die Bestimmung von spezifischen elektrischen Widerständen bzw. Leitfähigkeiten im Untergrund erfolgt nach wie vor überwiegend mit Strom- und Messelektroden, die in den Boden gesteckt werden (galvanische Ankopplung). Insbesondere bei Oberflächen mit sehr hohen spezifischen Widerständen (z. B. trockene Sande) ist die Ankopplung der Elektroden jedoch mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden oder – wie beispielsweise auf versiegelten Flächen – nahezu unmöglich. Dieses Problem ergab sich auch bei der Untersuchung von Permafrostböden und führte dazu, dass vor knapp 40 Jahren intensiv damit begonnen wurde, geoelektrische Messsysteme ohne galvanische Ankopplung an den Untergrund zu entwickeln (TIMOFEEV 1973, 1974). Hierfür bot sich die Übertragung des elektrischen Feldes auf kapazitivem Weg an im Gegensatz zur galvanischen Ankopplung wie in der klassischen Gleichstrom-geoelektrik. Dieses Prinzip macht sich neben wenigen anderen Herstellern auch die Fa. Geometrics (USA) beim OhmMapper™ zunutze, dessen erste Version vor etwa 10 Jahren auf dem Markt erschien.

In Anbetracht der schnellen Datengewinnung und der Möglichkeit zu Messungen auf versiegelten Flächen (urbane Gebiete) erscheint der OhmMapper™ als eine interessante Ergänzung zu herkömmlichen Gleichstromgeoelektrik-Systemen (DC).

## Der OhmMapper™

In der einfachsten Ausführung besteht der OhmMapper™ aus einem Sender mit zwei Koaxialkabeln zu beiden Seiten und einem Empfänger, der ebenfalls mit zwei Koaxialkabeln versehen ist (Abb. 1). Sowohl im Sender- als auch im Empfängergehäuse befinden sich neben der entsprechenden Elektronik je zwei Batterien für die Stromversorgung. Die Verbindung zwischen Sender- und Empfängerkabel stellt ein nichtleitendes Zugseil variabler Länge dar. Vom Sender wird ein elektrisches Feld erzeugt, das sich im Untergrund in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit ausbreitet und vom Empfänger gemessen wird. Die Daten werden über ein Kabel, das vom Empfängerkabel galvanisch getrennt ist, zur Messkonsole übertragen und gespeichert. Die Speicherkapazität der Konsole beträgt über 2 GB.

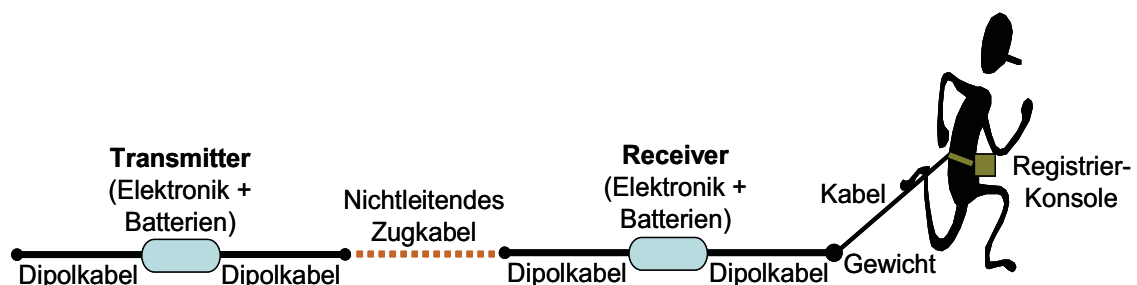
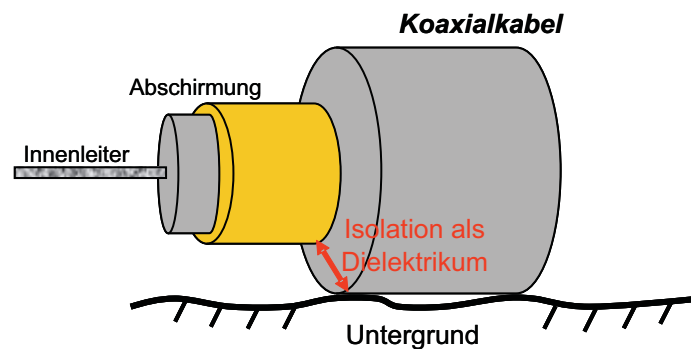
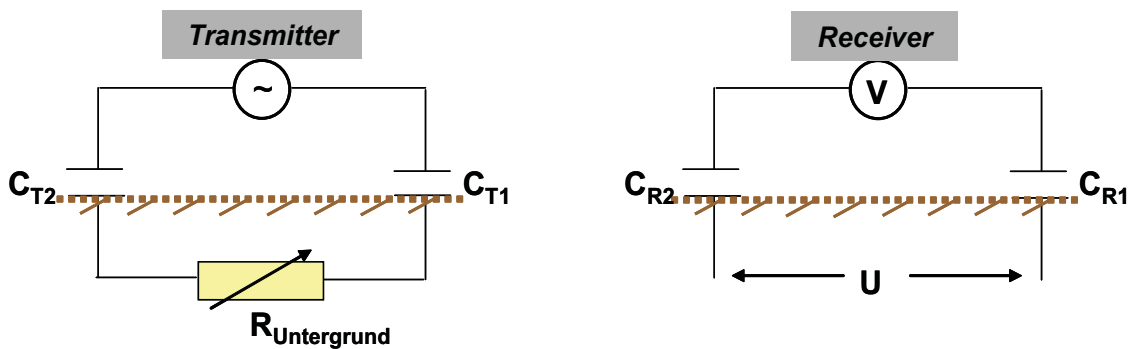


Abb. 1: Aufbau des OhmMappers™

Der vom Sender erzeugte Wechselstrom von 16,5 kHz wird an die Abschirmung der beiden Koaxialkabel angelegt (Abb. 2a). Die Abschirmung wirkt als Platte eines Kondensators und die Isolierung der Kabel als Dielektrikum, in dem Ladungsverchiebungen stattfinden. Der Erdboden stellt die andere Kondensatorplatte dar. Auf der Empfängerseite wird umgekehrt die Spannung im Untergrund kapazitiv aufgenommen und an der Abschirmung gemessen. Der auf der Senderseite eingespeiste Strom variiert zwischen 0,125 mA und 16 mA und wird automatisch den Untergrundbedingungen angepasst und dem Empfänger über ein aufmoduliertes 4-Hz-Signal mitgeteilt. Die Vorgänge auf Sender- und Empfängerseite sind in Abb. 2b in Form von Schaltbildern verdeutlicht.



**Abb. 2a:** Prinzip der kapazitiven Ankopplung beim OhmMapper™ (nach Geometrics)



**Abb. 2b:** Schematische Darstellung in Schaltbildern

Die Veränderung des Abstandes zwischen Sender und Empfänger durch unterschiedliche Seillängen ermöglicht die Erfassung unterschiedlicher Tiefen. Die Erkundungstiefe wird mit maximal ca. 20 m angegeben und entspricht damit dem Bereich, der i. a. auch mit dem Georadar erfasst werden kann. Die Tiefe ist darüber hinaus auch von den Kabellängen abhängig.

Standardmäßig sind die Koaxialkabel in Längen von 2,5 m und 5 m erhältlich und sorgen über die gesamte Länge für Ankopplung, so dass sie auch als Linien-Elektroden zu bezeichnen sind. Die Kapazität der 2,5 m langen Kabel wurde zu 205 bis 210 pF und die der 5 m langen zu 505 bis 510 pF ermittelt.

Der OhmMapper™ kann nach Aussage des Herstellers spezifische Widerstände im Bereich zwischen 1 Ohmm und 100.000 Ohmm erfassen. Die Signale können mit einer Zyklusrate von maximal 0,5 sec (2 Hz) aufgenommen werden.

Für den Betrieb von Sender und Empfänger werden jeweils 12 V DC und für die Konsole 28 V DC benötigt.

Die neueste Geräteausführung ermöglicht den gleichzeitigen Einsatz von maximal fünf Empfängern.

## Datenqualität

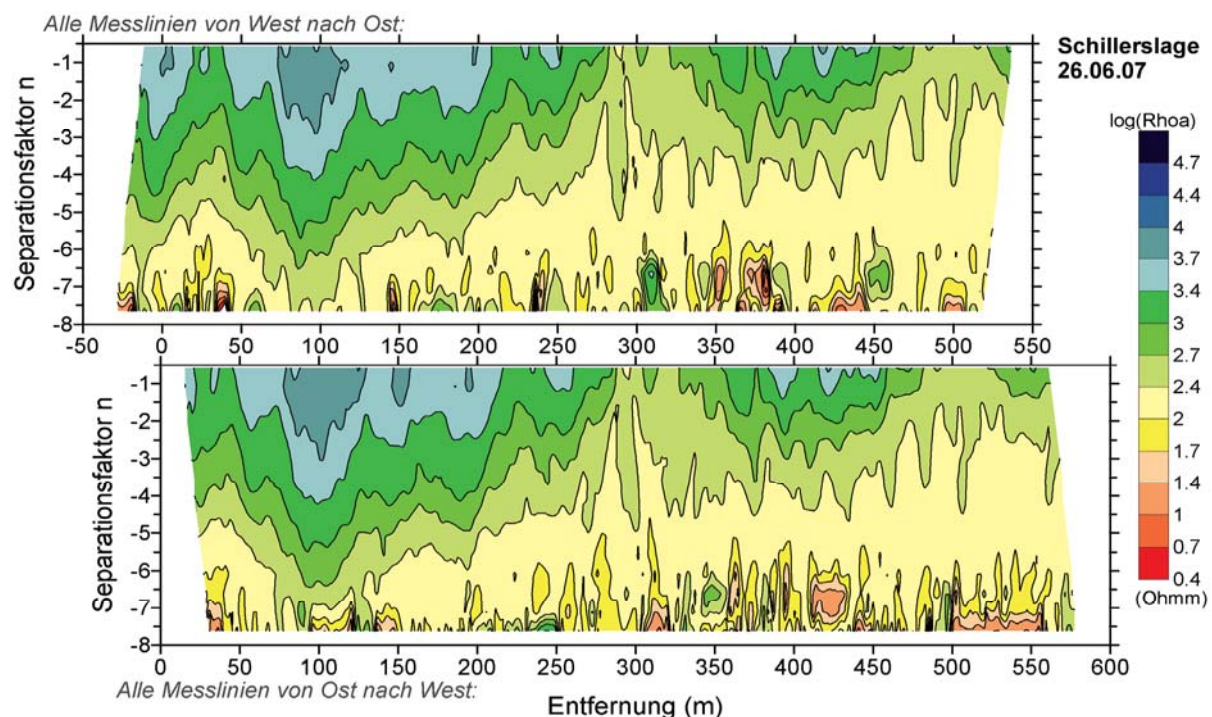
Der OhmMapper™ wurde in sechs unterschiedlichen Gebieten getestet. Das Hauptaugenmerk lag hier auf der Reproduzierbarkeit der gemessenen Daten und dem Vergleich mit Werten, wie sie die klassische Geoelektrik liefert. Für die DC-Messungen wurde eine Resecs-Apparatur eingesetzt.

Das OhmMapper™-System wurde überall von einem Fahrzeug gezogen, wodurch die Daten im Abstand von ca. 1,5 m (laterale Auflösung) registriert wurden mit einer Zyklusrate von 1 Hz.

Zur Unterscheidung von DC-Messungen wird im Folgenden für die Messungen mit dem OhmMapper™ auch die Bezeichnung CR für „capacitive resistivity“ (KURAS 2002) verwendet.

### a) Reproduzierbarkeit

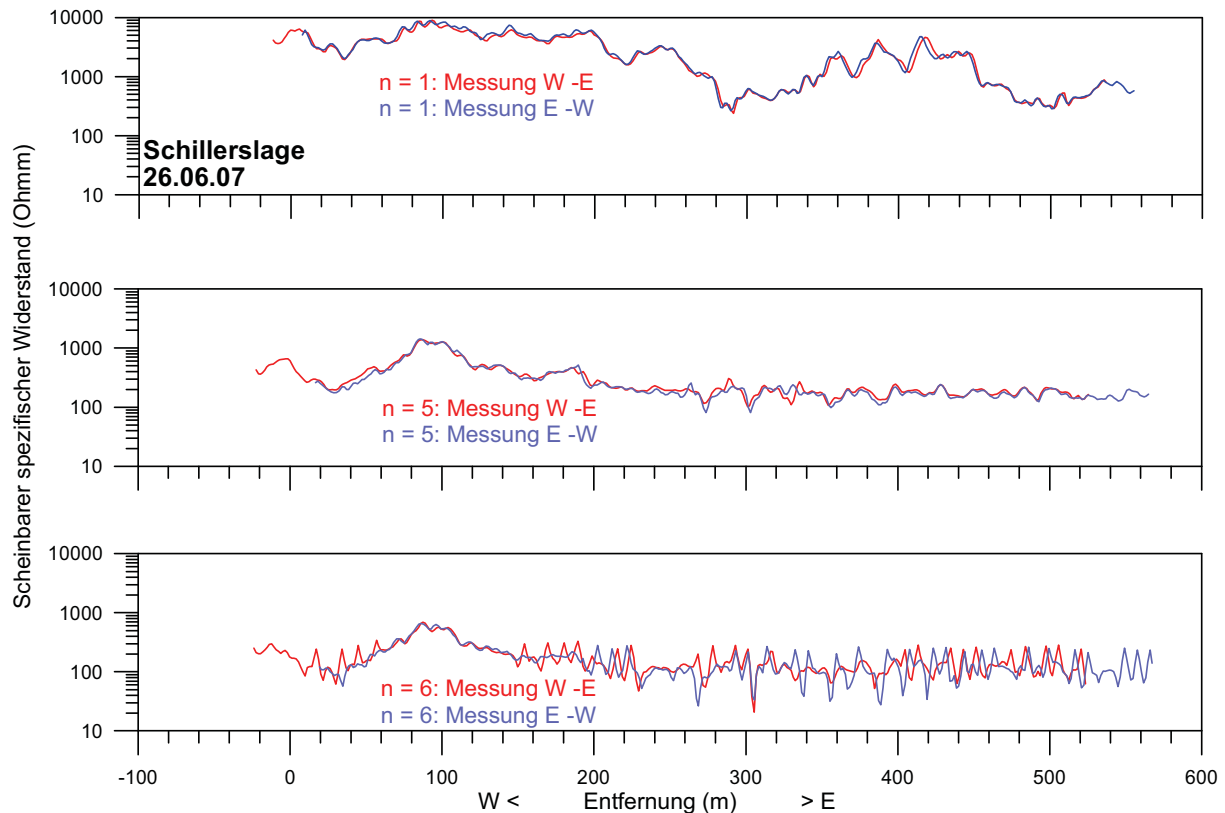
Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit wurden in drei Gebieten Testserien durchgeführt, bei denen das Profil jeweils in beide Richtungen mit demselben Sender-Empfänger-Abstand gemessen wurde. Abb. 3 zeigt die Pseudosektionen der Rohdaten des scheinbaren spezifischen Widerstandes aus dem Gebiet *Schillerslage*.



**Abb. 3:** Reproduzierbarkeitstest mit 5m-Dipolen in entgegengesetzter Richtung

Beide Darstellungen haben die Form eines Parallelogramms.

Bis zur Pseudotiefe  $n=5$  ist eine sehr zufriedenstellende Übereinstimmung gegeben, insbesondere vor dem Hintergrund, dass ein bewegtes System nicht exakt dieselbe Spur trifft. Mit zunehmender Tiefe ist dann der Einfluss gestörter Signale erkennbar, die zu einem sehr diffusen Bild führen.



**Abb. 4:** Scheinbare spezifische Widerstände mit 5m-Dipolen für drei unterschiedliche Sender-Empfänger-Abstände

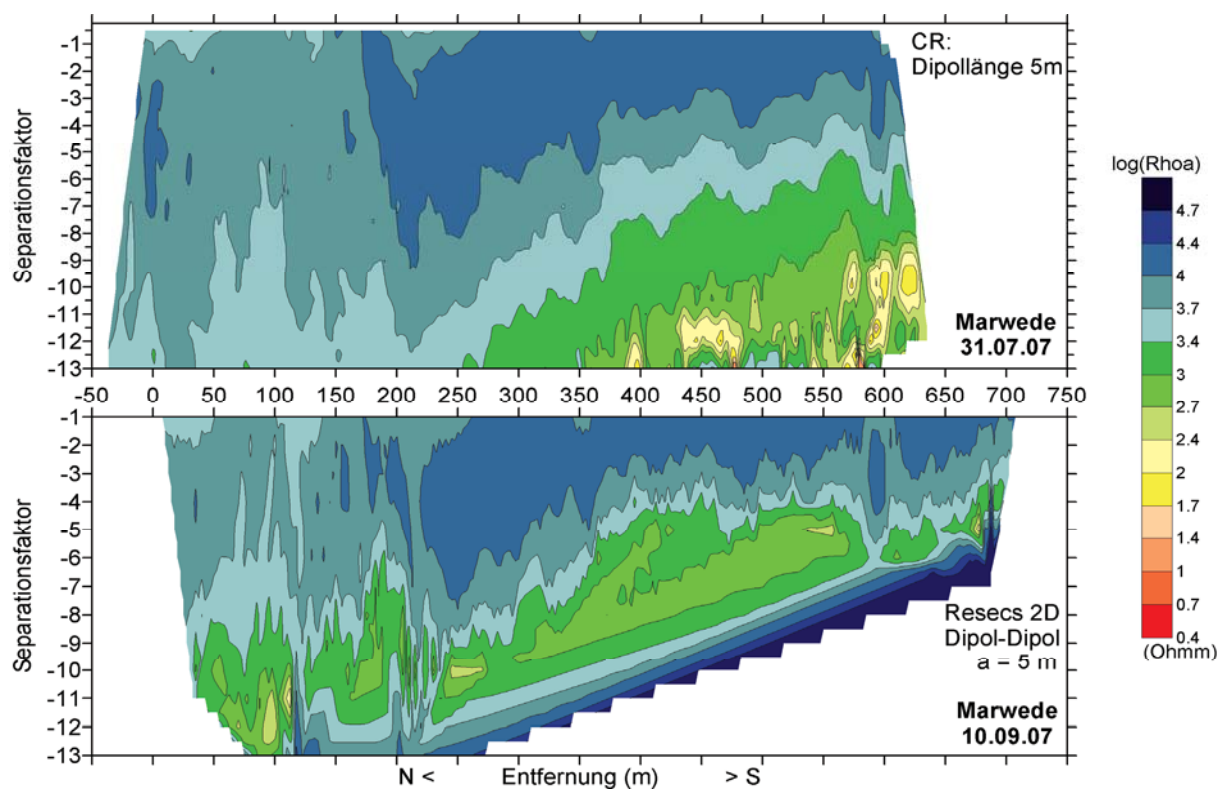
In Abb. 4 sind die scheinbaren spezifischen Widerstände des Profils für drei unterschiedliche Sender-Empfänger-Abstände ( $n=1$ , 5 und 6) dargestellt, was den Seillängen 5 m, 25 m und 30 m entspricht. Die Ergebnisse zeigen neben der guten Reproduzierbarkeit im oberen Bereich auch, dass Strukturen, die nur durch wenige Werte in Erscheinung treten, gut reproduzierbar sind. Der scheinbare spezifische Widerstand nimmt mit zunehmender Tiefe ab und relativ plötzlich, bei  $n=6$ , ist die Reproduzierbarkeit im Bereich der hochohmigen Struktur zwischen 60 m und 150 m zwar noch gut, verschlechtert sich aber in östlicher Richtung erheblich. Der Grund liegt in der Zunahme von gestörten Signalen, deren Ursache in einem zunehmend schlechter werdenden Signal-Noise-Verhältnis zu sehen ist. Auch in anderen Messgebieten wurde eine Verschlechterung beobachtet, die mit zunehmender Leitfähigkeit im Untergrund korreliert. Der Verstärkung kleiner Signale ist durch den Batteriebetrieb eine Obergrenze gesetzt, da die Stromeinspeisung maximal bis 16 mA möglich ist.

Auch die Ergebnisse aus den beiden anderen Messgebieten lassen eine gute Reproduzierbarkeit erkennen.

## b) Vergleich mit DC-Messungen

Die Vergleichsmessungen mit der Resecs-Apparatur konnten wegen des Zeitaufwandes nicht überall auf den gesamten Profillängen durchgeführt werden. Für einen optimalen Vergleich wurden nach Möglichkeit die drei Sonden-Elektroden-Kombinationen Wenner-Alpha, Wenner-Beta und Dipol-Dipol verwendet.

Hier werden die Ergebnisse aus zwei Gebieten vorgestellt, die sich im spezifischen Widerstand signifikant unterscheiden. Im Raum *Marwede* sind in den Sanden der Südheide tief reichend sehr hohe spezifische Widerstände von über 10.000 Ohmm bekannt. Bei *Hämelerwald* reichen mächtige Tone der Unterkreide mit ihren niedrigen Widerständen bis dicht unter die Oberfläche. Daher müsste sich dieses Gebiet für den Einsatz des OhmMappers™ als äußerst ungünstig erweisen.

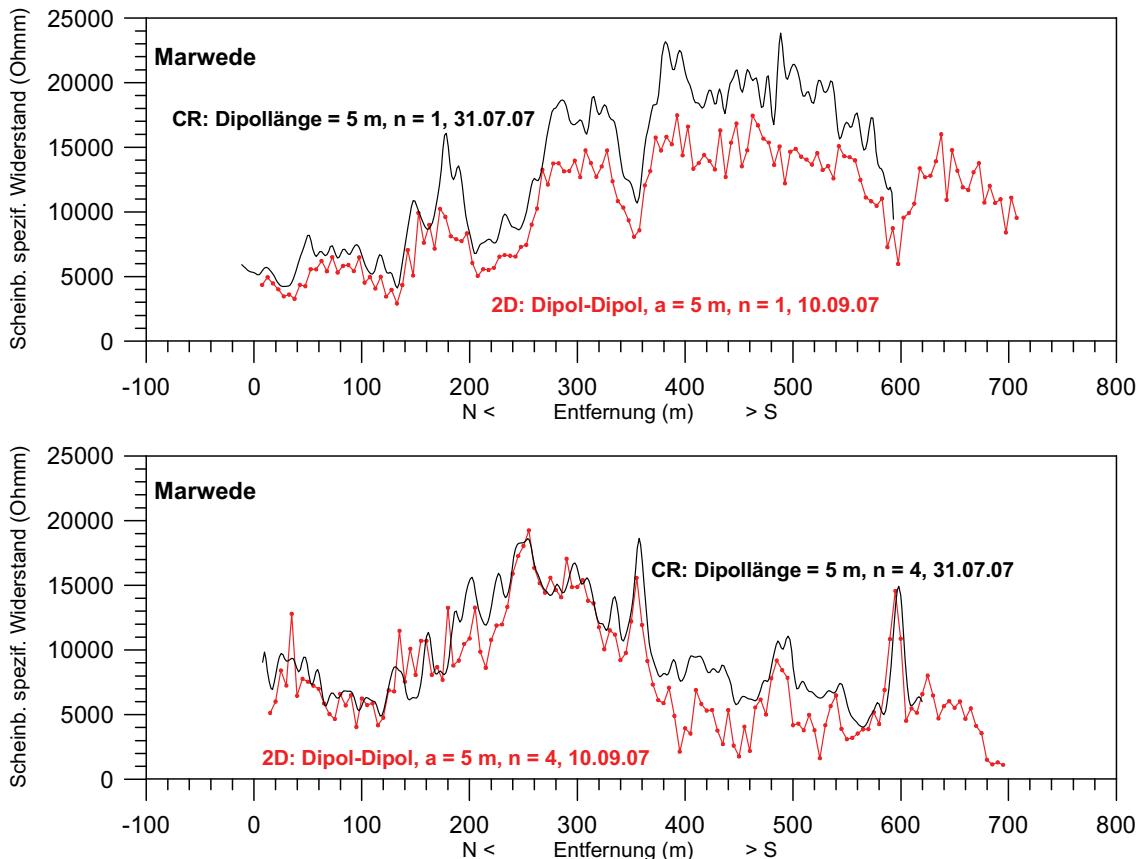


**Abb. 5:** Pseudosektionen der scheinbaren spezifischen Widerstände für CR- und DC-Messungen

Abb. 5 zeigt die Pseudosektionen aus dem Gebiet *Marwede*. Für die DC-Messungen wurde ein Dipolabstand von 5 m gewählt. Im unteren Teil der Abbildung sind die Ergebnisse der Dipol-Dipol-Messungen dargestellt und im oberen Teil die CR-Messungen mit Dipollängen von 5 m. Der zeitliche Abstand der Messungen betrug ca. sechs Wochen. Beide Ergebnisse zeigen im nördlichen Profilabschnitt tief reichend hohe scheinbare spezifische Widerstände um 5.000 Ohmm. In südlicher Richtung treten Werte über 10.000 Ohmm auf. Gleichzeitig verlieren die hohen Widerstände aber an Mächtigkeit, so dass im südlichen Bereich des Profils deutlich niedrigere Widerstände um 1.000 Ohmm schon in geringerer Tiefe anzutreffen sind. Beide Verfahren zeigen zwar eine sehr gute Übereinstimmung in der Tendenz, allerdings

differieren sie bezüglich der Mächtigkeiten. Die DC-Pseudosektion liefert geringere Mächtigkeiten.

Für dieses Profil sind in Abb. 6 die Einzelwerte des scheinbaren spezifischen Widerstandes für zwei Pseudotiefen ( $n=1$  oben,  $n=4$  unten) gegenüber gestellt. Für die Pseudotiefe  $n=1$  liegen die Werte der CR-Messungen über denen der DC-Messungen. Dagegen ist in der Pseudotiefe  $n=4$  eine wesentlich bessere Übereinstimmung gegeben. Die Abweichungen in Oberflächennähe sind mit größter Wahrscheinlichkeit auf unterschiedliche Durchfeuchtung infolge der zeitlichen Differenz der Messungen zurückzuführen.

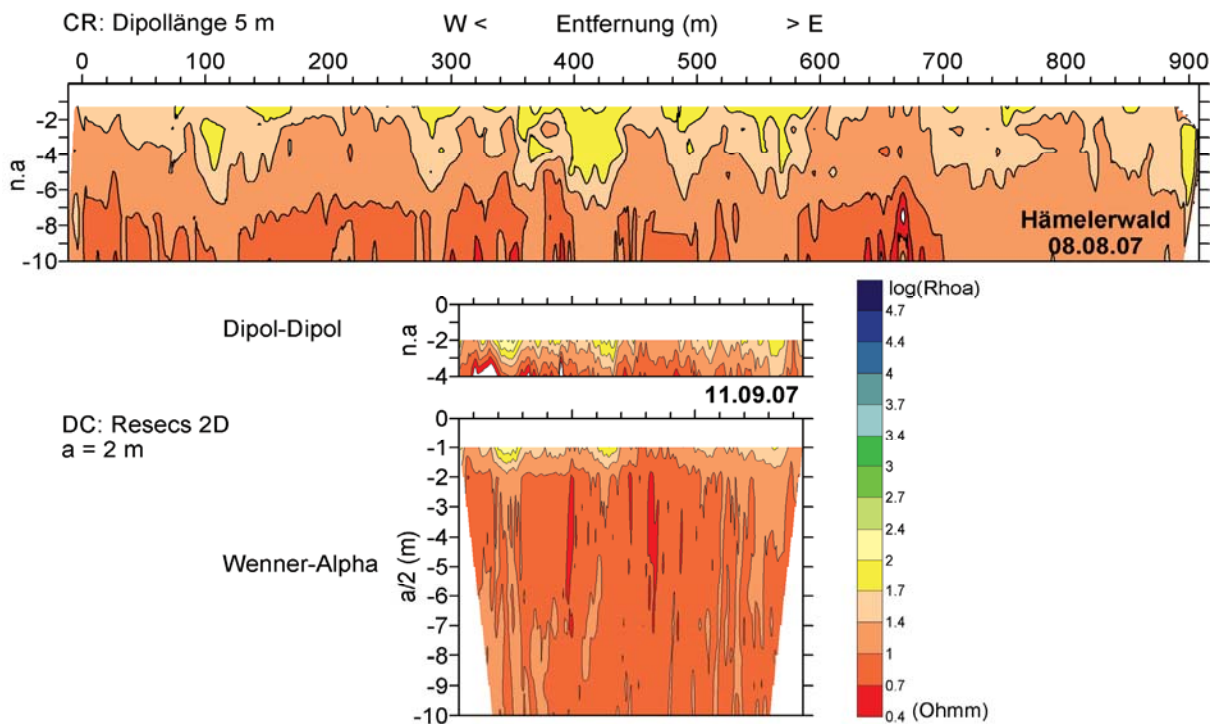


**Abb. 6:** Scheinbare spezifische Widerstände der CR- und DC-Messungen für die Tiefen  $n=1$  und  $n=4$

Bei den Messungen im stark leitfähigen Gebiet *Hämelerwald* (Pseudosektionen in Abb. 7) sind erwartungsgemäß die Grenzen des OhmMappers™ sehr schnell deutlich geworden. Bereits mit einer Seillänge von 10 m ( $n=2$ ) konnten auf dem 900 m langen Profil nur noch an sehr wenigen Stellen Signale empfangen werden. In Materialien mit niedrigen spezifischen Widerständen kommen nur sehr kleine Signale am Empfänger an, da der Sender den eingespeisten Strom nur begrenzt erhöhen kann, wie bereits oben erwähnt. Auch mit Dipollängen von 10 m konnte hier nur eine unwesentlich größere Eindringtiefe erreicht werden.

Die Kreidetone mit spezifischen Widerständen um 10 Ohmm und weniger werden von einer geringmächtigen Deckschicht überlagert, die streckenweise scheinbare spezifische Widerstände um 100 Ohmm aufweist. Diese Bereiche sind in den DC-Ergebnissen, von denen hier die Pseudosektionen der Dipol-Dipol- und der Wenner-Alpha-Messungen dargestellt sind (Abb. 7 Mitte und unten), ebenfalls gut zu erken-

nen. Der Elektrodenabstand betrug 2 m. Aus der Wenner-Alpha-Darstellung ist ersichtlich, dass die Tone in beachtlicher Mächtigkeit vorhanden sind.



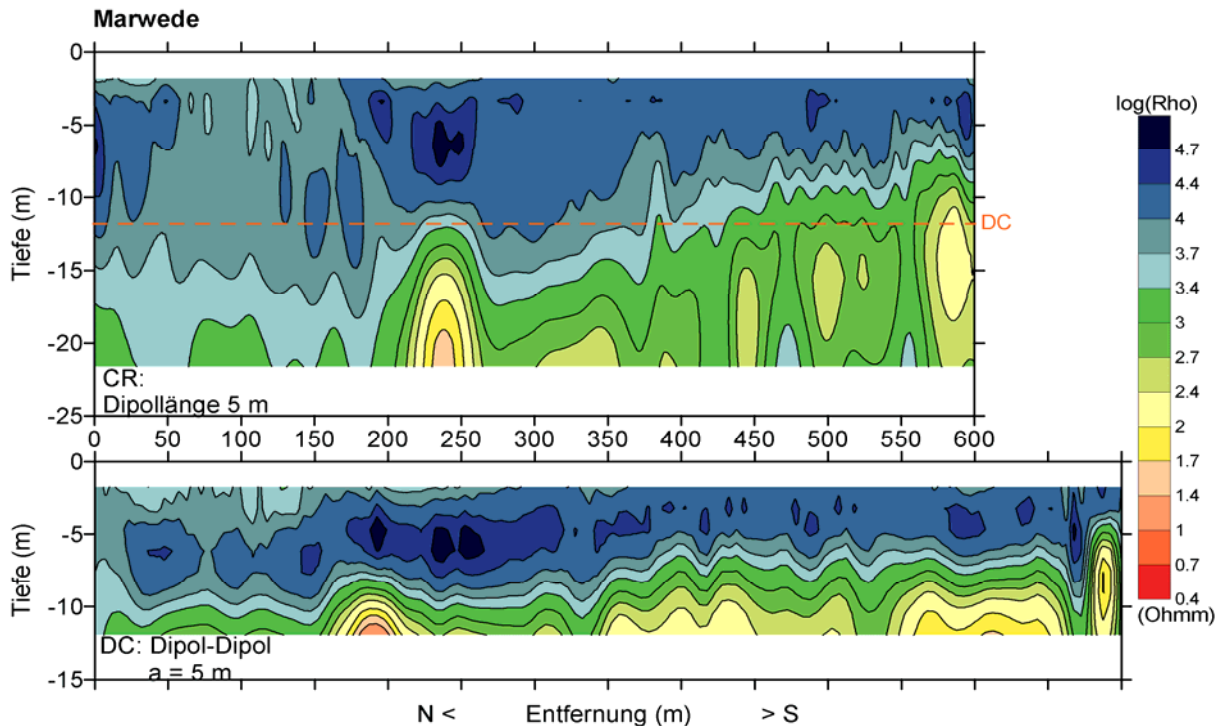
**Abb. 7:** Pseudosektionen der scheinbaren spezifischen Widerstände für einen gut leitenden Untergrund

## Erkundungstiefe

Bezüglich der Erkundungstiefe  $h$  werden vom Hersteller lediglich die folgenden Angaben gemacht: Für  $n=1$  beträgt  $h=0,416 \cdot \text{Dipollänge}$  und für  $n=3$  entspricht  $h$  der vollen Dipollänge, wobei  $n$  der Separationsfaktor ist (Sender-Empfänger-Abstand/Dipollänge). Darüber hinaus existieren keine weiteren Angaben.

Da kein linearer Zusammenhang zwischen der Tiefe und dem  $n$ -Faktor besteht, ist eine Grobabschätzung wie in der DC-Methode hier nicht möglich. Nur über eine Inversion der Daten sind Angaben zur Erkundungstiefe erhältlich. Hierfür wurde das Programm DC2dInvRes (GÜNTHER 2007) benutzt. Es ist, wie die kommerziellen Programme auch, speziell für gleichstromgeoelektrische Messungen entwickelt worden. In Abb. 8 sind die invertierten Daten für beide Verfahren aus dem Messgebiet *Marwede* dargestellt. Bei den CR-Messungen wurden Dipole von 5 m Länge eingesetzt. Für die DC-Messungen ist hier das Ergebnis der Dipol-Dipol-Messungen mit einem Elektrodenabstand  $a$  von 5 m gezeigt (Abb. 8 unten). Bei letzteren wurde eine Tiefe von ca. 12,5 m erreicht, während die CR-Messungen bei ca. 22,5 m enden. Zum besseren Vergleich ist die Untergrenze der DC-Ergebnisse im oberen Tiefenschnitt gestrichelt markiert. In beiden Darstellungen ist die deutliche Mächtigkeitsabnahme des hochohmigen Schichtpaketes in südlicher Richtung zu erkennen. In den CR-Ergebnissen ist dieses Paket über die gesamte Profillänge hinweg mächtiger ausgeprägt. Widerstände um 1000 Ohmm werden in den DC-Ergebnissen in geringerer Tiefe angetroffen. Die untersten Meter sind in beiden

Abbildungen von Artefakten geprägt. In den CR-Messungen treten sie noch erheblich stärker hervor. Dabei ist der Einfluss der unkorrigierten Daten nicht zu vernachlässigen. Für den obersten Bereich zeigen die DC-Ergebnisse eine bessere Auflösung.



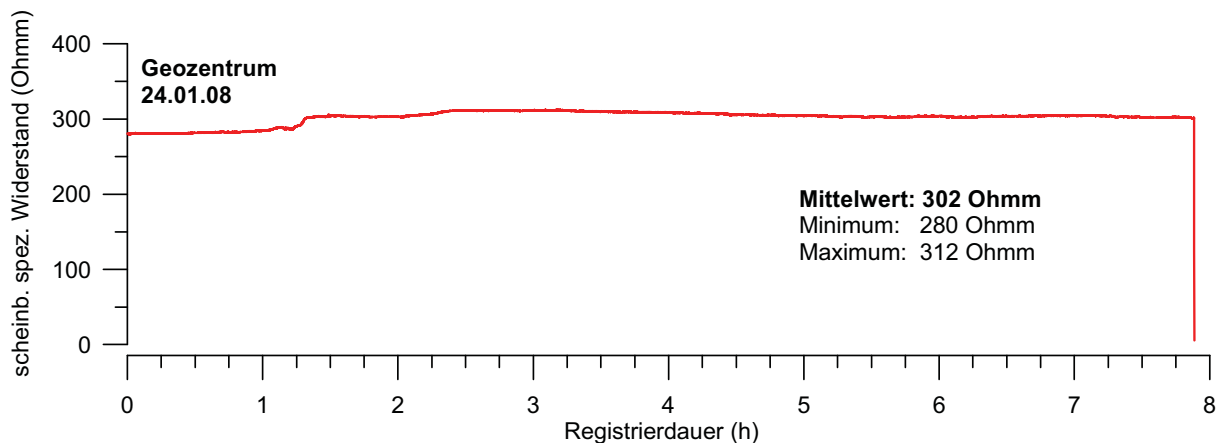
**Abb. 8:** Inversionsergebnisse von CR-Messungen (oben) und DC-Messungen (unten)

Bei der Benutzung der Inversionsprogramme und der Beurteilung der Ergebnisse muss bedacht werden, dass diese CR-Messungen zum einen mit einem bewegten System durchgeführt werden und zum anderen ein Wechselstrom von 16,5 kHz benutzt wird, so dass auch Induktionseffekte auftreten.

## Signalverhalten

Durch eine Langzeitregistrierung (Abb. 9) sollte das Verhalten des Signals über mehrere Stunden ermittelt werden und zugleich festgestellt werden, nach welcher Zeit ein batteriebedingter Spannungsabfall eintritt. Die Datenaufnahme erfolgte mit 1 Hz. Nach fast achtestündiger Registrierung sackte die Spannung innerhalb von vier Sekunden auf den fast Null ab. Während der gesamten Registrierdauer zeigte das Signal eine beachtliche Stabilität. Der geringfügige Anstieg nach ca. 1¼ Stunden ist derzeit noch nicht zu erklären. Möglicherweise beruht er auf Fremdeinwirkung. Über die gesamte Zeit betrachtet ergibt sich der Mittelwert zu 302 Ohmm, Minimum und Maximum betragen 280 Ohmm und 312 Ohmm. Die gesamte Registrierung ist frei von Störsignalen, Peaks o. ä. sind nicht erkennbar.





**Abb. 9:** Langzeitregistrierung: Datenaufnahme im Abstand von einer Sekunde

### Beurteilung des OhmMappers™

- Die Datengewinnung ist ein Vielfaches schneller als mit der konventionellen DC-Methode. Somit sind großflächige Messungen in einem zeitlich vertretbaren Rahmen möglich, mit denen eine schnelle Übersicht in einem Gebiet gewonnen werden kann und DC-Messungen ggf. gezielter angesetzt werden können.
- Durch Anpassung der Fahrgeschwindigkeit ist mit diesem bewegten System eine dichte Datenaufnahme möglich.
- Das System ist sehr robust und leicht zu handhaben und mit Ausnahme von kleinen Flächen bzw. kurzen Profilen nahezu überall einsetzbar.
- Die Erkundungstiefe ist auf ca. 10 bis 20 m begrenzt und entspricht damit dem Tiefenbereich, der i. a. auch mit dem Georadar erfasst werden kann.
- Durch die Möglichkeit der Erzeugung von kontinuierlichen Tiefensektionen des spezifischen Widerstandes stellt der OhmMapper™ eine wertvolle Ergänzung und Interpretationshilfe für Georadaruntersuchungen dar.
- Wesentliche Nachteile liegen in der begrenzten Erkundungstiefe gegenüber dem Multielektrodensystem und der nur auf hochohmige Gebiete beschränkten Einsatzmöglichkeit.
- Das System gestattet nur die Kartierung mit der Dipol-Dipol-Anordnung.
- Die Anwendbarkeit von DC-Interpretationsprogrammen (Inversion) ist möglich, wirft derzeit aber noch zahlreiche Fragen auf, wie z. B. die Wahl der Parameter für die Inversionsrechnung (HAUCK & KNEISEL 2006).
- Die Modifikation der Ausgabedatei durch den Hersteller wäre im Hinblick auf zusätzliche Informationen wünschenswert.

### Ausblick

Neben einigen weiteren systematischen Untersuchungen sollen in naher Zukunft die Einsatzmöglichkeiten des Systems für spezielle Fragestellungen (z. B. geologische Kartierung, Grundwassererkundung, Lagerstättenerkundung u. ä.) durch Testmessungen betrachtet und beurteilt werden.

## Literatur

- GÜNTHER, T. (2007): DC2dInvRes – Direct Current Inversion and Resolution. - <http://dc2dinvres.resistivity.net>.
- HAUCK, C. & KNEISEL, C. (2006): Application of Capacitively-coupled and DC Electrical Resistivity Imaging for Mountain Permafrost Studies. - Permafrost and Periglac. Process. 17: 169-177.
- KURAS, O. (2002): The capacitive resistivity technique for electrical imaging of the shallow subsurface. - Ph.D. thesis, University of Nottingham.
- TIMOFEEV, V.M. (1973): Experience of the use of high frequency electrical geophysical methods in geotechnical and geocryological field studies. - 3<sup>rd</sup> International Conference on Permafrost, NAUKA, Proceedings: 238-247.
- TIMOFEEV, V.M. (1974): The employment of capacitively-coupled sensors in engineering and geological studies. - Ph.D. thesis, University of Moscow [in Russian].