

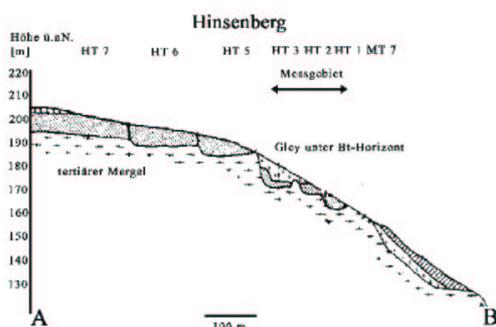
## **Multielektroden-DC-Widerstandsmessungen an tertiären Terrassenschottern bei Laubenheim / Nahe**

Simon Schneider

Institut für Meteorologie und Geophysik, Johann Wolfgang Goethe - Universität, Frankfurt am Main.

### **Naturräumlicher Überblick**

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im nördlichen Teil des Mainzer Beckens im Rhein Hessischen Berg- und Hügelland. Es ist begrenzt von Hunsrück und Saar-Nahe-Senke im Westen, der Ingelheimer Rheinebene im Norden, dem Oberrheinischen Tiefland im Osten sowie dem Pfälzer Wald im Südwesten.



**Abbildung 1:** Das Untersuchungsgebiet Laubenheim, Hinsenbergrain. Bohrprofil 14, Laubenheim, Hinsenbergrain (nach: GÖRG, 1984) Markiert ist der Bereich, der von den geoelektrischen Messungen abgedeckt wird. Rechts: Ausschnitt der Topographischen Karte 6013 Bingen. Markiert sind die Bohrungen der Arbeitsgruppe Görg (GÖRG, 1984) (nummerierte Punkte), die von Görg identifizierten Terrassenkanten (gestrichelt) und die Lage der geoelektrisch vermessenen Profile (Linien) (~1500\*875m Ausschnitt aus: TK25, 6013 Bingen)

### **Vorhandene Untergrundmodelle**

Ein detailliertes Untergrundmodell des in dieser Arbeit untersuchten Gebietes liefern die Bohrungen der Arbeitsgruppe um Görg (GÖRG, 1984).

Eine wichtige Fragestellung ist die Abschätzung der Hebungsraten der einzelnen Schollen und des Gesamtkomplexes des Rheinischen Schiefergebirges. Diese werden durch zeitlich an bestimmte Klimaperioden gebundene Terrassenstrukturen und die jeweiligen Sprunghöhen der Terrassenkanten ermittelt. Da bei senkrechten Bohrungen keine genauen Aussagen über die Lage und Sprunghöhen einer Terrasse gemacht werden können, ist es für Geographen und Geologen von Interesse, ein Verfahren an der Hand zu haben, welches genaue Aussagen über eben diese vertikalen Versätze liefert.

Wie stark der Einfluß von Hebungsprozessen auf die Terrassenbildung tatsächlich war, zeigt sich bei Betrachtung der zur Nahe an die Hauptterrasse 1 (HT1) anschließenden Mittelterrasse 7 (MT7). Sie liegt mit ihrer Basis etwa 18 Meter unter der Akkumulationsebene der HT1. Da im Allgemeinen der Zeitraum zwischen Bildung der Akkumulationsebene und der Basis dem Zeitraum eines Interglazials zugeschrieben wird, kann die Hebung von etwa 20 Metern einem Zeitraum von etwa 50'000 Jahren (beispielsweise das Rieß-Würm-Interglazial, nach GÖRG, 1984) zugeordnet werden. Mit dieser Zeitangabe ergibt sich eine mittlere Hebungsrate von 0,4mm pro Jahr.

Mit Methoden der Geophysik kann nun versucht werden, solche Terrassenbasen in ihrer Tiefenerstreckung genauer zu untersuchen und zu definieren, so dass die Frage nach Hebungsraten fundierter diskutiert werden kann.

## Messung und Datenbearbeitung

Die SIP-256 ist eine „Multielektrodenapparatur zur schnellen Bestimmung der komplexen elektrischen Leitfähigkeit des Untergrundes“ (BIGALKE et al, 1999) Sie basiert auf dem Konzept der Intelligenten Elektroden, bei dem in jeder einzelnen Elektrode die Messdaten in Form von Zeitreihen gespeichert werden und schon ein Teil des Prozessings (Signalverarbeitung) durchgeführt werden kann. Gesteuert werden die Remote Units (RU's) durch eine zentrale Einheit, die Base-Box, welche mit einem PC (Laptop) verbunden ist.

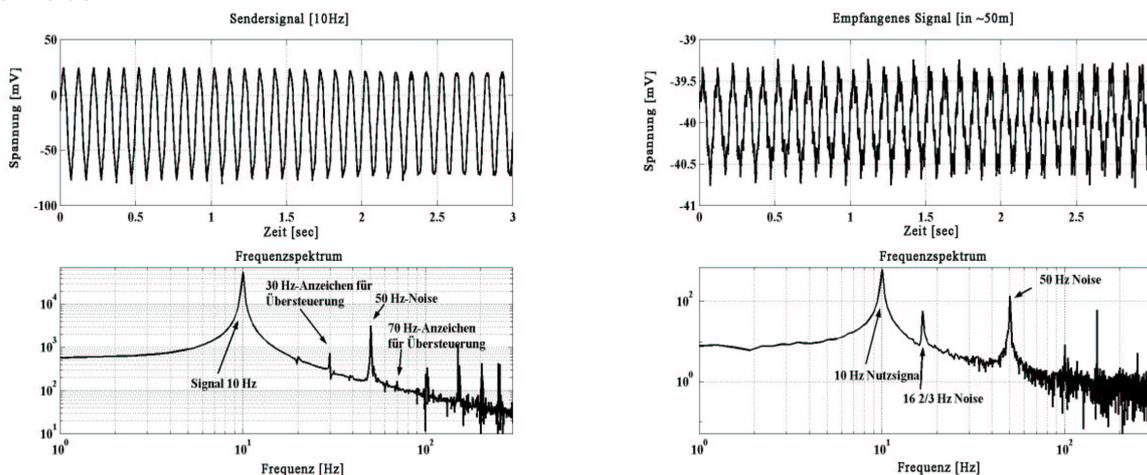
Über ein Scriptfile, welches nach und nach von der Base abgearbeitet wird, können einzelne Elektroden angesprochen werden und über ein in der RU implementiertes Relais als Strom- oder Potentialelektroden definiert werden.

Der Zeitaufwand des Aufbaus liegt bei zwei eingearbeiteten Nutzern und 30 Elektroden in 2-Meter-Abständen bei etwa 20 Minuten.

Die Daten der Potentialelektroden in normaler und reverser Richtung zur Stromelektrode werden getrennt abgespeichert, was dazu beiträgt, zwei vollständige Sektionen miteinander vergleichen zu können (Hin- und Rückmessungen).

## Das Nutzsignal

Das Nutzsignal wird als Zeitreihe des Stroms von einer in der Base integrierten RU aufgezeichnet. Ein Nutzsignal bei 10 Hz kann im Feld mit einer schnellen Fourieranalyse schnell identifiziert werden und bietet zudem die Chance, eventuell auftretende Oberwellen (bei ungeraden Vielfachen der Nutzsignalfrequenz) zu erkennen und so eine mögliche Übersteuerung der RU in Einspeisnähe zu vermeiden.



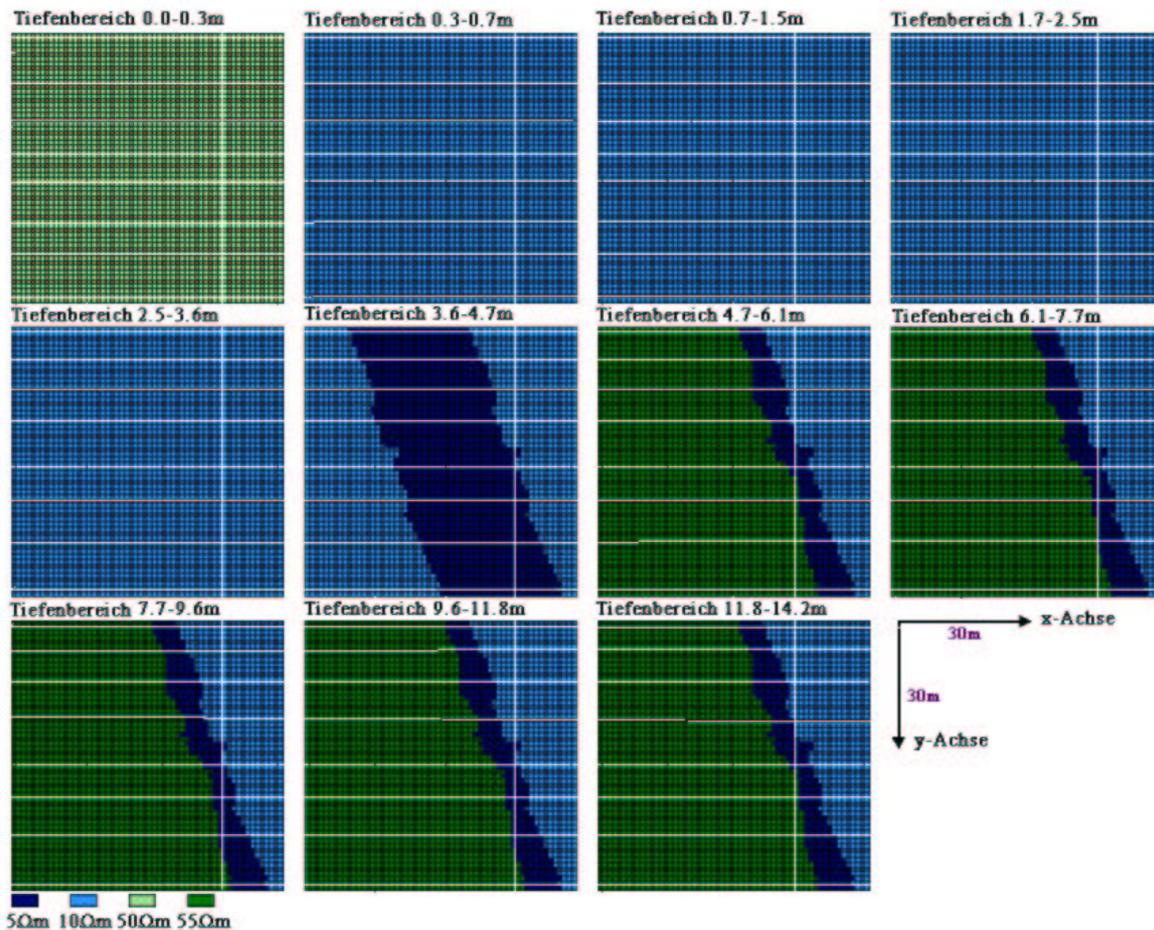
**Abbildung 2:** Links: Darstellung eines leicht übersteuerten Signals. Man erkennt deutlich die erste ungerade Vielfache der Nutzfrequenz bei 30 Hz und die dritte ungerade vielfache bei 70 Hz. Ein eindeutiges Indiz für die Übersteuerung der RU-Einheiten, welche durch zu hohe Wahl der Signalamplitude verursacht wird. Zudem ist das Noise bei 50 Hz zu sehen. Rechts: Aufzeichnung eines 10 Hz-Signals (siehe oben) in einer Entfernung von etwa 50 Metern zur Einspeisung (PDI-Konfiguration).

## Das Untergrundmodell für Laubenheim, Hinsenber

Das hier gezeigten 3D-Modell wird in Tiefen-Scheiben (z-Scheiben), deren jeweilige Mächtigkeiten darüber angegeben werden, dargestellt. Es beschreibt ein geologisches Modell, das nur auf den Vorinformationen beruht.

Es wurde mit einem Elektrodenabstand von 2m und einem Profilabstand von 2m mit dem Programm Res3Dmod von LOKE (LOKE, 1997) berechnet. Es befinden sich 30\*30 Elektroden auf der Modelloberfläche.

Das Modell zeigt eine oberste Bodenschicht ( $z=0.0-0.3\text{m}$ ), die durch landwirtschaftliche Nutzung durchlockert ist und so einen relativ hohen spezifischen Widerstand ( $50 \Omega\text{m}$ ) aufweist. Die darunter liegende Schicht ( $z=0.3-3.5\text{m}$ ) stellt den durchfeuchteten Sand- und Kiesuntergrund dar ( $10 \Omega\text{m}$ ), der auf dem harten Terrassenbildner aufliegt.

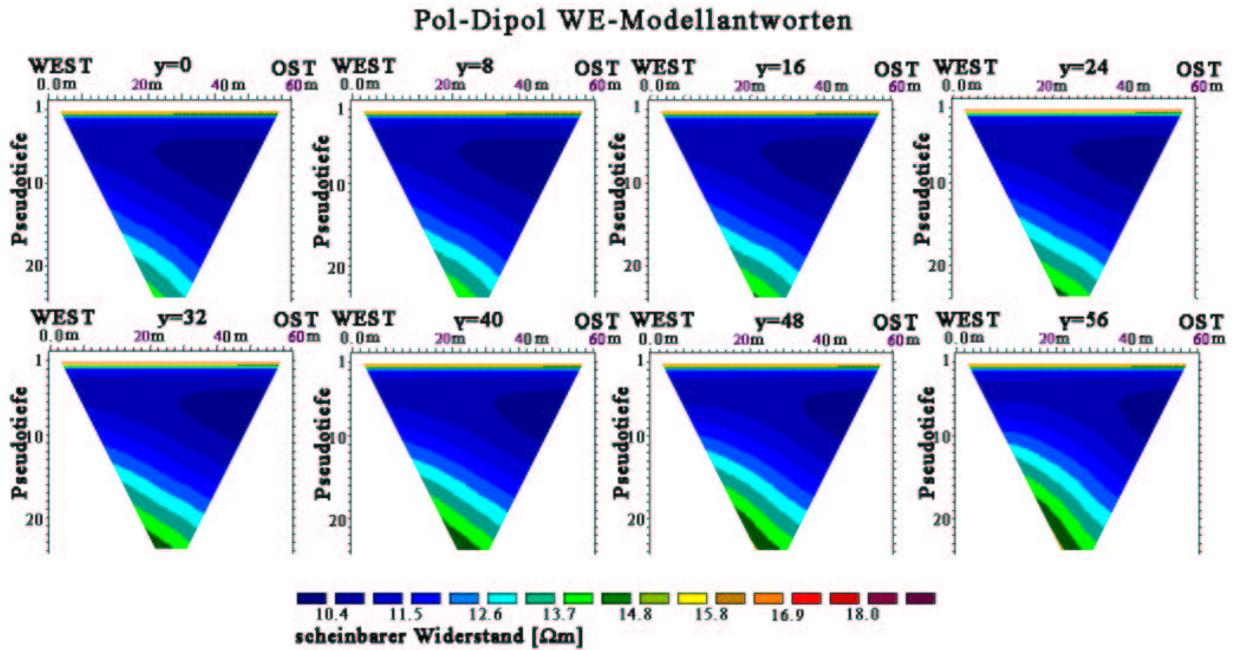
**Vorab-Untergrundmodell Laubenheim, Hinsenberg**

**Abbildung 3:** 3D-Modell des Untergrundes für das Untersuchungsgebiet Laubenheim, Hinsenberg. Die Widerstandswerte sind unten links angegeben, die Tiefenbereiche der einzelnen z-Scheiben stehen jeweils links darüber. Die im Weiteren gezeigten Profile verlaufen entlang der hellen Linien.

In der Literatur findet man häufig Bemerkungen zu terrassenbegleitenden Wassersystemen (BIBUS, 1980; BECK, 1977). Dass es bei einem Niveau von etwa 190m über NN eine solche wasserangereicherte Schicht gibt, zeigen verschiedene Brunnen (Affenbergbrunnen oder Keßlersbergbrunnen) und kleine Zuläufe an Trollbach und Hummelbach (siehe hierzu die Topographische Karte der Region). Ein solches auf der Terrasse aufliegendes Wassersystem ist mit einem geringen Widerstand ( $5 \Omega\text{m}$ ) modelliert. Dieser begründet sich in der hohen Ionenkonzentration, da sich die Grundwasservorräte aus Niederschlagswasser nähren, welches beim Durchdringen der oberen Bodenschichten (Löß) viele Minerale auslöst (Lessivierung).

Der Terrassenbildner selbst ( $Z=4.7-14.2\text{m}$ ) wird durch einen Widerstandsbereich mit Werten des trockeneren Mergels dargestellt ( $55 \Omega\text{m}$ ) und leicht schräg zu x- und y-Achse modelliert. Hierdurch können mit einem möglichst kleinen Modellblock (kürzere Rechenzeit) verschiedene Profile mit unterschiedlichem Verlauf zur Modellterrasse untersucht werden.

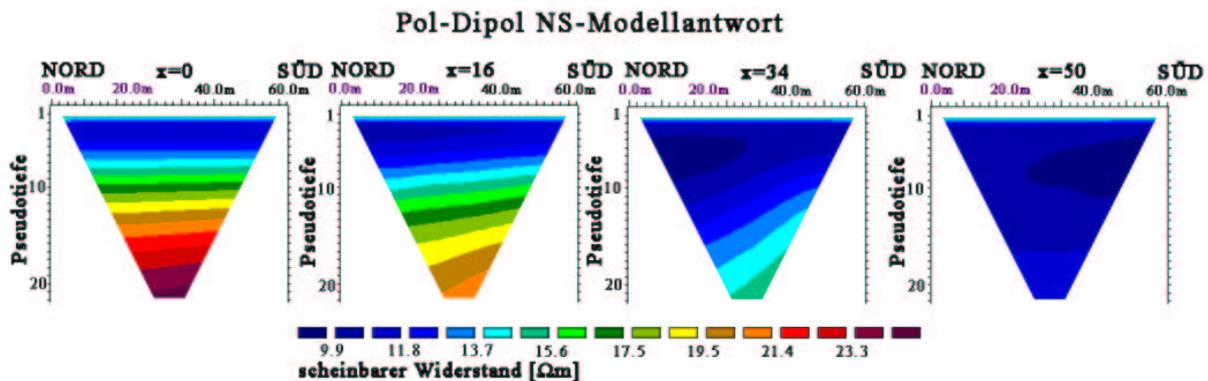
Zur Darstellung der Modellantworten wurden aus dem Modellblock einzelne Pseudosektionen, die in ihrer Anordnung in etwa den Realprofilen entsprechen, ausgesucht. Hierbei identifiziert der y-Wert jeweils über der Mitte der Sektion, an welchem Punkt das jeweilige Profil gestartet wird (die Position der ersten Stromelektrode).



**Abbildung 4:** Modellantwort für das Modell Laubenheim, Hinsenberg mit Pol-Dipol-Konfiguration (PDI). Man erkennt die schräge Streichrichtung der Terrassenkante an der „Wanderung“ des Widerstandskontrastes nach Osten (berechnet mit Res3Dmod, LOKE, 1997).

Bei Profilen in NS-Richtung kann die Projektion eines guten, sich an die Oberfläche annähernden Leiters gesehen werden. Diese schräge Schichtung stammt aber von der sich entlang des Profils von Westen her annähernden Terrasse.

Ein solcher Effekt wird in der Auswertung der Realdaten eine entscheidende Rolle spielen. Er trägt zu einer besseren 3D -Interpretation des Untergrundes bei.



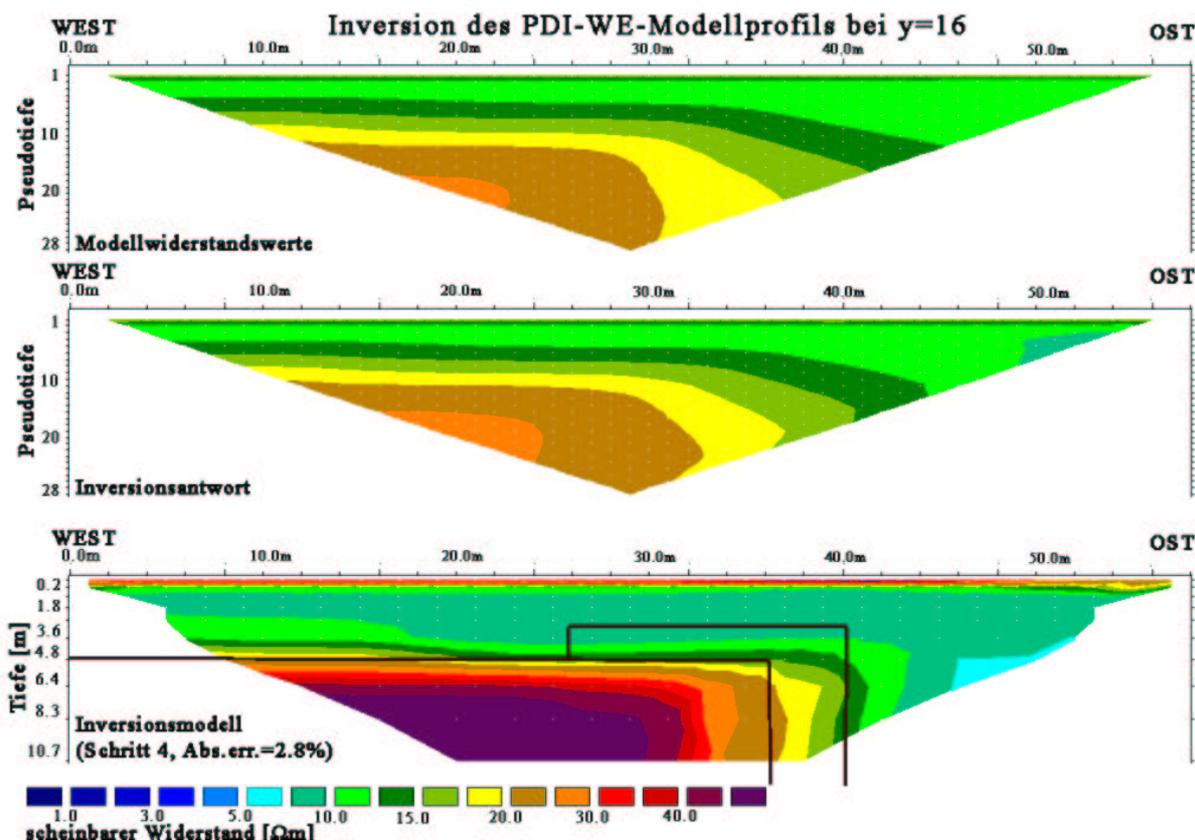
**Abbildung 5:** Modellantwort Für das Modell Laubenheim, Hinsenberg einiger ausgewählter NS-Profile bei Pol-Dipol-Konfiguration.

In den Nord-Süd-Profilen ist auffällig, dass der 3D-Effekt der Terrasse schon bei Profil  $x = 50$  (und früher) verschwunden ist. Die Messungen „sehen“ die Terrasse schon bei nur wenigen Metern Versatz nach Osten nicht mehr.

Bei dem hier erwähnten 3D-Effekt werden seitlich des Profils auftretende Strukturen bei einer 2D-Inversion direkt unter das Profil projiziert, was die spätere Lokalisierung eines Störkörpers behindert.

## Inversion der Modelldaten

Um ein Modell und seine Modellantwort zu festigen, wird die Modellantwort mit der gleichen Routine wie real gewonnene Daten bearbeitet und invertiert. Eine solche Vorgehensweise kann zusätzliche Informationen auf die Prozesse innerhalb des Inversionsprogramms (welche nicht sehr exakt beschrieben sind) geben. Zu diesem Zweck wurden die mit dem oben gezeigten Modell gewonnenen Modellantworten mit dem Programm Res2Dinv invertiert.

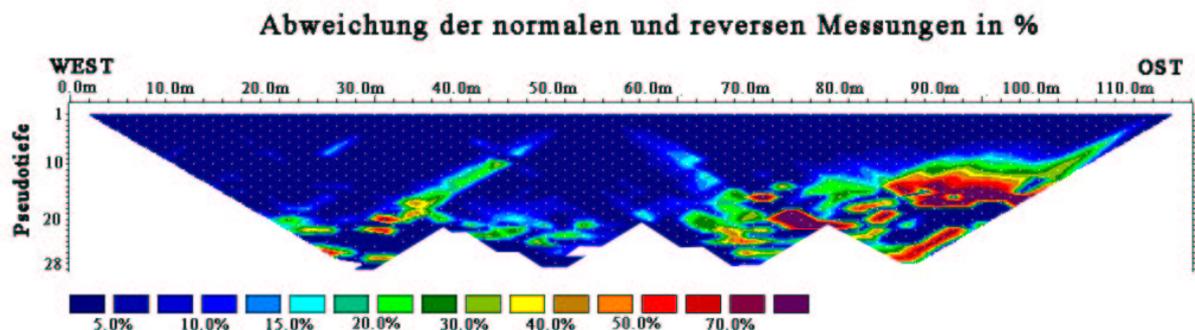


**Abbildung 6:** Das Inversionsergebnis bei Pol-Dipol-Konfiguration des Modells Laubenheim, Hinsenberg in einem x-Achsen-(West-Ost-) Profil (Anfangselektroden bei  $y=16$ ). Oben: Modellantwort (die Widerstandsverteilung bei einer fiktiven Messung an der Oberfläche des Modells), Mitte: Inversionsantwort (die Widerstandsverteilung bei einer fiktiven Messung auf der Oberfläche des Inversionsmodells), Unten: Inversionsmodell mit tatsächlichem Modellaufbau

Vergleicht man die Inversionen, so sieht man, wie gut sich die Oberkante des Modells widerspiegelt, wie schlecht aber die genaue horizontale Lage der Abbruchkante dargestellt wird (nur auf etwa 3 - 4m genau).

### Differenzbetrachtung von Messungen in normaler und reverser Richtung

Da immer alle Elektroden das Potential messen und die Stromelektrode kontinuierlich wandert, erhält man eine Pseudosektion durch Potentialelektroden, die noch nicht Stromelektrode waren (normale Richtung), und eine Sektion der Elektroden, die schon zur Stromeinspeisung herangezogen wurden (reverse Richtung). Man erhält also zwei Datensätze des gleichen Untergrundbereichs (Reziprozitätsprinzip).



**Abbildung 7:** Die Abweichung der Messungen in normaler und reverser Richtung des nördlichen WE-Gesamtprofils (PDI-Konfiguration) in Prozent zum Mittelwert beider Messungen. (Abweichung in  $\Omega m$  zwischen beiden Messungen dividiert durch {Mittelwert beider Messungen dividiert durch 100} )

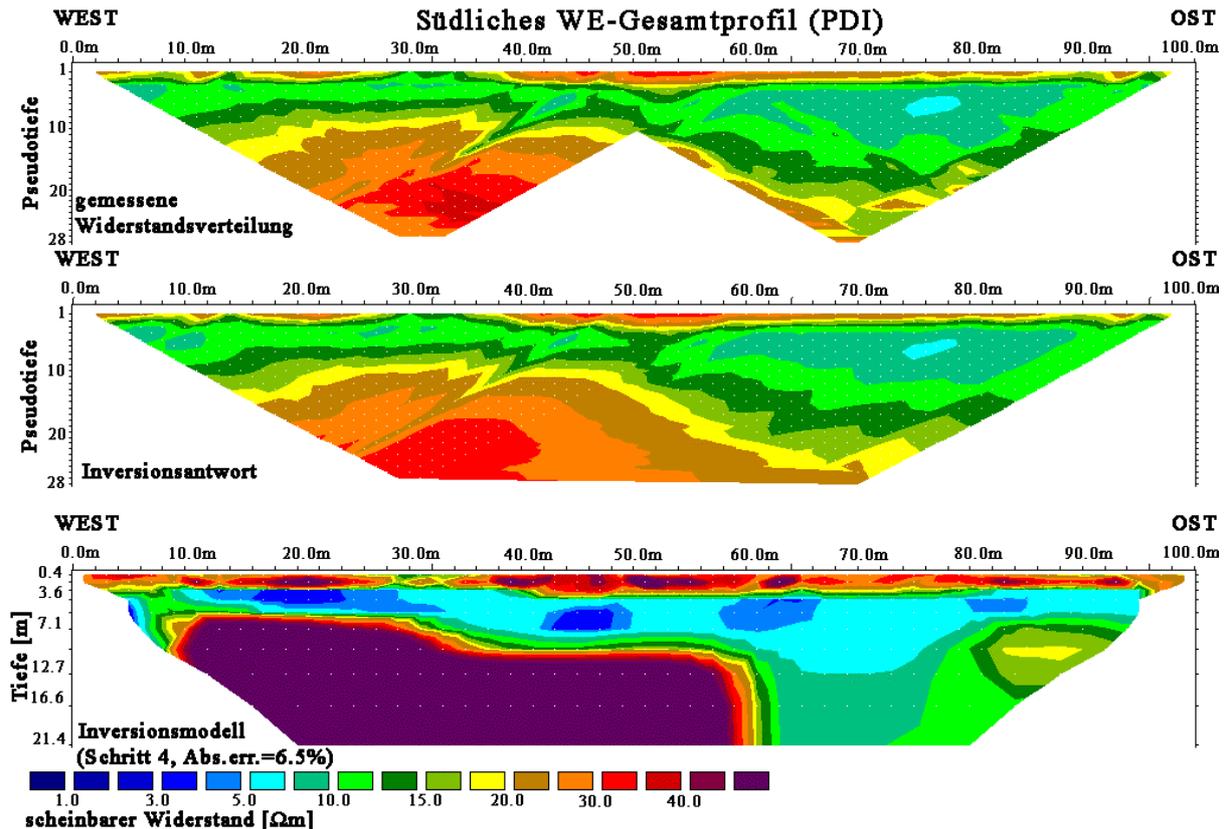
Abweichungen von weniger als 10% sind die Regel. Das sich die Bereiche größerer Abweichung in Spuren zeigen, ist nicht verwunderlich, wenn man sich überlegt, das Anomaliekörper bei Messungen

mit Pol-Dipol-Konfiguration eine sogenannte Anomaliespur in den Messwerten ergeben. Da die Richtung dieser Spuren davon abhängt, in welcher Richtung die Potentialelektroden zur Stromeinspeisung liegen, entstehen Bereiche großer Abweichung zwischen normaler und reverser Messung an eben diesen Anomaliespuren.

## Vergleich von Modell und Beobachtung

Für alle Profile gelten die Parameter:

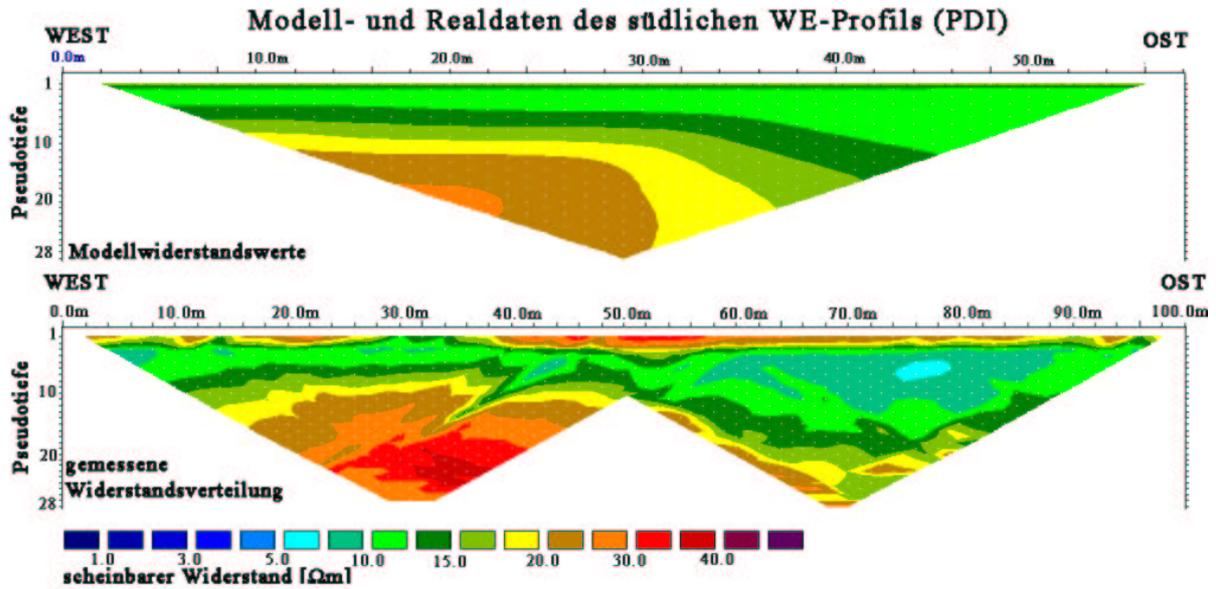
- 2 Meter Elektrodenabstand bei 31 Elektroden
- 60 Meter Einzelprofillänge
- unendliche Elektroden ca. 200 Meter entfernt, senkrecht zum Profil



**Abbildung 8:** Das Inversionsergebnis des südlichen WE-Gesamtprofil (PDI-Konfiguration) Oben: Die gemessenen Widerstandsdaten Mitte: Die berechnete Inversionsantwort (Widerstandsverteilung bei einer fiktiven Messung entlang der Oberfläche des Inversionsmodells) des Inversionsmodells. Unten: Das Inversionsmodell nach Inversionsschritt 4 mit einer Abweichung der Inversionsantwort von 6.5% zu den Realdaten.

Vergleicht man nun die Modellantworten (die berechneten Widerstandsverteilungen) mit den tatsächlich gemessenen Widerstandsverteilungen, so fällt auf, dass sie in den für die Interpretation wesentlichen Merkmalen übereinstimmen.

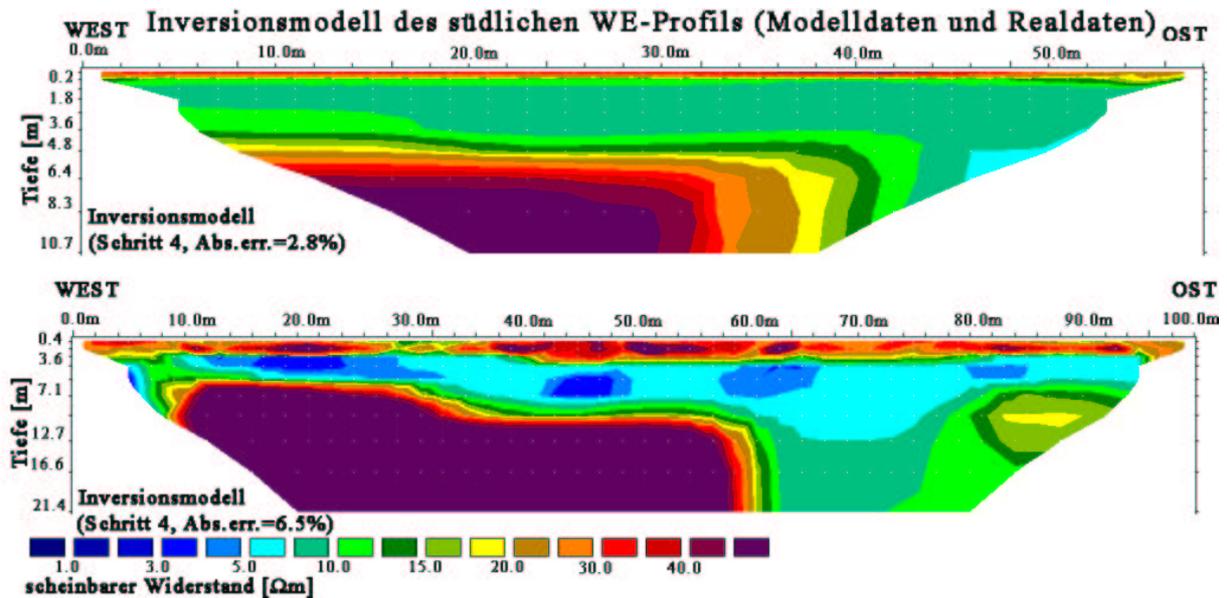
Die hier gezeigte Pseudosektion der Pol-Dipol-Sektion des südlichen West-Ost-Gesamtprofils zeigt die aus den Modellrechnungen zu erwartende Widerstandsverteilung. Die große Übereinstimmung zwischen Modellwiderstandsverteilung und gemessener Widerstandsverteilung zeigt sich in den stark übereinstimmenden Wertebereichen (um 20  $\Omega$ m für die Terrassenstruktur, <12  $\Omega$ m für den niederohmigen Bereich). Einzig die Deckschicht scheint im Modell eine zu geringe Mächtigkeit zu haben.



**Abbildung 9:** Vergleich von Modelldaten (oben) und Realdaten (unten). Für die zweidimensionale Modellantwort des 3D-Modells Laubenheim, Hinsenberg wurde das West-Ost-Profil bei  $y=16$  ausgewählt (entspricht in etwa der Positionierung des Profils über der Terrassenkante, wie sie in den Realmessungen zu erwarten ist).

Was das südliche Profil vom nördlichen unterscheidet, ist in erster Linie die Verschiebung der Terrassenkante nach Osten. Die WE-Profile sind auf der Nord-Süd-Achse 120 m voneinander entfernt. Zudem ist das südliche Profil leicht nach Osten verschoben, so dass die Abbruchkante der Terrasse einen Versatz von 55 m nach Osten zeigt.<sup>1</sup>

Der Vergleich von Modellinversion und Messdateninversion zeigt, wie gut das Inversionsprogramm arbeitet und mit welchen Unsicherheiten man bei einer ausschließlichen Interpretation der Inversionsergebnisse rechnen muss. Diese Aussage ist möglich, da man den Untergrundaufbau der Modellantworten genau kennt und so die Inversion der Modelldaten gut bewerten kann.



**Abbildung 10:** Vergleich von Modellinversion (oben) und Messdateninversion (unten) des südlichen WE-Profiles (PDI). Die Modellinversion entspricht hier dem tatsächlichen Modell (siehe oben).

<sup>1</sup> Dies entspricht einer Streichrichtung der Kante von etwa 335,4° zu Nord.

## Der Untergrund unter dem Messgebiet Laubenheim, Hinsenberg

Es zeigt sich im Vergleich der Modelldaten und der Messdaten, dass das Untergrundmodell der Vorabstudie eine gute Beschreibung der tatsächlichen Verhältnisse des Untergrundes liefert. Leider kann das Modell das Nord-Süd-Messprofil nicht ausreichend beschreiben. Die Betrachtung der NS-Modellprofile zeigt aber, dass schon kleine Änderungen der Profillage über 3D-Strukturen gänzlich andere Widerstandsverteilungen liefern können.

Der schlechtleitende Bereich, der im Modell mit einer für Ackerland üblichen Mächtigkeit angenommen wurde, muss durch eine mächtigere, lessivierte Bodenschicht (Löß) ersetzt werden.<sup>2</sup> In den Bohrprofilen ist eine entsprechende Bodenfolge beschrieben (Ah-Bt-Horizonte). Das in den Bohrprofilen Gleyboden unter dem Bt-Horizont identifiziert wurde, deutet auf feuchteres Milieu hin. Dies wird in den Widerstandsdaten dadurch belegt, dass sich anschließend an den trockenen, lessivierten Oberboden ein Bereich geringeren Widerstands befindet. Nach den Bohrdaten wird dieser Bereich durch Schotter und Kiese, die unter dem Gley anliegen, gebildet. Die Schichtgrenze zwischen diesen Bodeneinheiten (Görg gibt sie in etwa 6m an, GÖRG, 1984) kann mit der Geoelektrik nicht aufgelöst werden. Schotter- und Kieskörper können Wasserspeicher sein und so in Zusammenhang mit mineralreicher Bedeckung zu sehr geringen Widerständen in den Pseudosektionen führen.

Unter diesem Bereich findet sich der tertiäre Mergel als Terrassenbildner mit einer nach Osten abfallenden Terrassenkante von etwa 3 bis 4m Sprunghöhe. Die von Görg in seinem Untergrundprofil gezeigte Oberflächenstruktur des Terrassenkörpers kann jedoch nicht belegt werden.

Da man beim Vergleich der Modell- und der Messdateninversion erkennt, dass die horizontale Oberflächenstruktur gut aufgelöst wird, ist davon auszugehen, dass die Bohrprofile ein falsches Bild der Terrassenstruktur darstellen. Auch die horizontale Lage der Terrassenkante wird zum Profil von Görg leicht verschoben (um etwa 8 bis 10m).

Ergänzend zu den bisher vorhandenen Daten kann nun auch die Streichrichtung der Terrassenkante beschrieben werden (~335° zu Nord).

Es ist aufgrund der hier gezeigten Daten möglich, eine erste Abschätzung der Hebungsrate im Zeitraum der Entstehungen der HT1 und der HT2 zu erstellen. Die hier gefundene minimale Sprunghöhe von 4m verweist auf eine deutlich geringere Hebungsrate, als es die bisher bekannten Daten vermuten lassen. Für die fiktive Zeitdauer von 50'000 Jahren eines Interglazials (siehe oben) bedeutet dies eine Hebungsrate von nur 0.08mm pro Jahr. Eine solche Hebungsrate liegt deutlich unter der für die nachfolgende Terrassenbildung (HT1-MT7) angenommene von etwa 0.4mm pro Jahr. Genauere Aussagen über die Sprunghöhe eines solchen Terrassenkomplexes können Messungen mit einer größeren Zahl Elektroden und damit einer größeren Eindringtiefe (größeres L/2) ermöglichen.

### Fazit

Nach dem Vergleich von Modellantwort mit Realdaten und Modellinversion mit der Messwertinversion wird das Untergrundmodell, welches auf geologischen und geographischen Untersuchungsmethoden beruht, von den Widerstandsmessungen im Wesentlichen bestätigt.

Die Geoelektrik liefert in diesem Fall Antworten auf Fragestellungen welche von einfache Bohrungen nicht befriedigend gelöst werden. Die Abfolge der Bodenhorizonte kann kein Ziel geoelektrischen Messungen sein, da hier der entscheidende Parameter, der spezifische Widerstand oder die Leitfähigkeit der einzelnen Bodenschichten, nicht in dem für die Messung erforderlichen Maß Änderungen vorweist.

Geoelektrische Kartierungs- und Sondierungen können aber mit geringem Zeitaufwand auf Fragen wie zum Beispiel Sprunghöhe und Verlauf einer Untergrundstruktur schneller und genauer Auskunft geben als herkömmliche Bohrkartierungen.

Obgleich die für diese Messungen verwendete Multielektrodenapparatur SIP-256 bisher nur für archäologische Untersuchungen verwendet wurde, ist festzustellen, dass sie auch für geologisch und geographische Fragestellungen zu empfehlen ist. Es können große Flächen und sehr lange Profile (unter Benutzung leistungsstärkerer Nutzsignalgeneratoren noch erheblich längere Profile als die hier vermessenen) mit, im Vergleich zu früheren Methoden, sehr geringem Zeitaufwand untersucht werden.

---

<sup>2</sup> Braunerden-Pseudogley-Bodengesellschaften zeichnen sich durch die Standorte auf silikatreichem Untergrund aus, was einen erhöhten Widerstand der Bodenschichten unterstützen würde (nach SCHMIDT: Böden, in: LIEPKE und MARCINEK, 1995).

## Literatur

- Beck, N., 1977: Flußflächen im unteren Nahegebiet als Glieder der quartären Reliefentwicklung im nördlichen Rheinhessen. In: Domrös, M. et al (Hrsg.): Festschrift 41, deut. Geographische Tagung, Mainz
- Bibus, E., 1980: Zur Relief-, Boden- und Sedimententwicklung am unteren Mittelrhein, Frankfurter geow. Arbeiten, Serie D, Bd. 1
- Bigalke, J; Junge, A; Schleifer, N; Kötter, M, 1999: SIP-256: Eine mehrkanalige IP-Apparatur zur schnellen Bestimmung der komplexen elektrischen Leitfähigkeit des Untergrundes, DGG Mitteilungen 4
- Görg, L, 1984: Das System pleistozäner Terrassen im Unteren Nahetal zwischen Bingen und Bad Kreuznach, Dissertation, Universität Marburg
- Liedtke, H., und Marcinek, J. (Hrsg) , 1995: Physische Geographie Deutschlands, Justus Perthes Verlag, Gotha
- Loke, M. H., 1997: 3D resistivity & IP inversion modeling using the finite-difference and finite-element methods, Geoelectrical Imaging 2D & 3D, Version 2.11