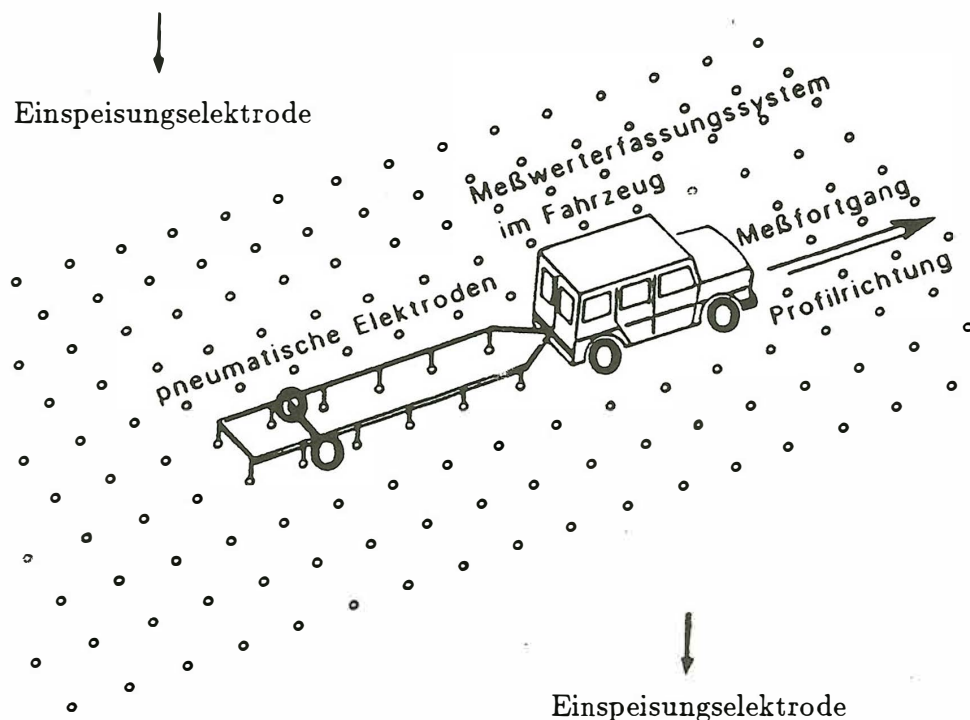


# Modellrechnungen zur geoelektrischen Kartierung am Schloss Rotenburg

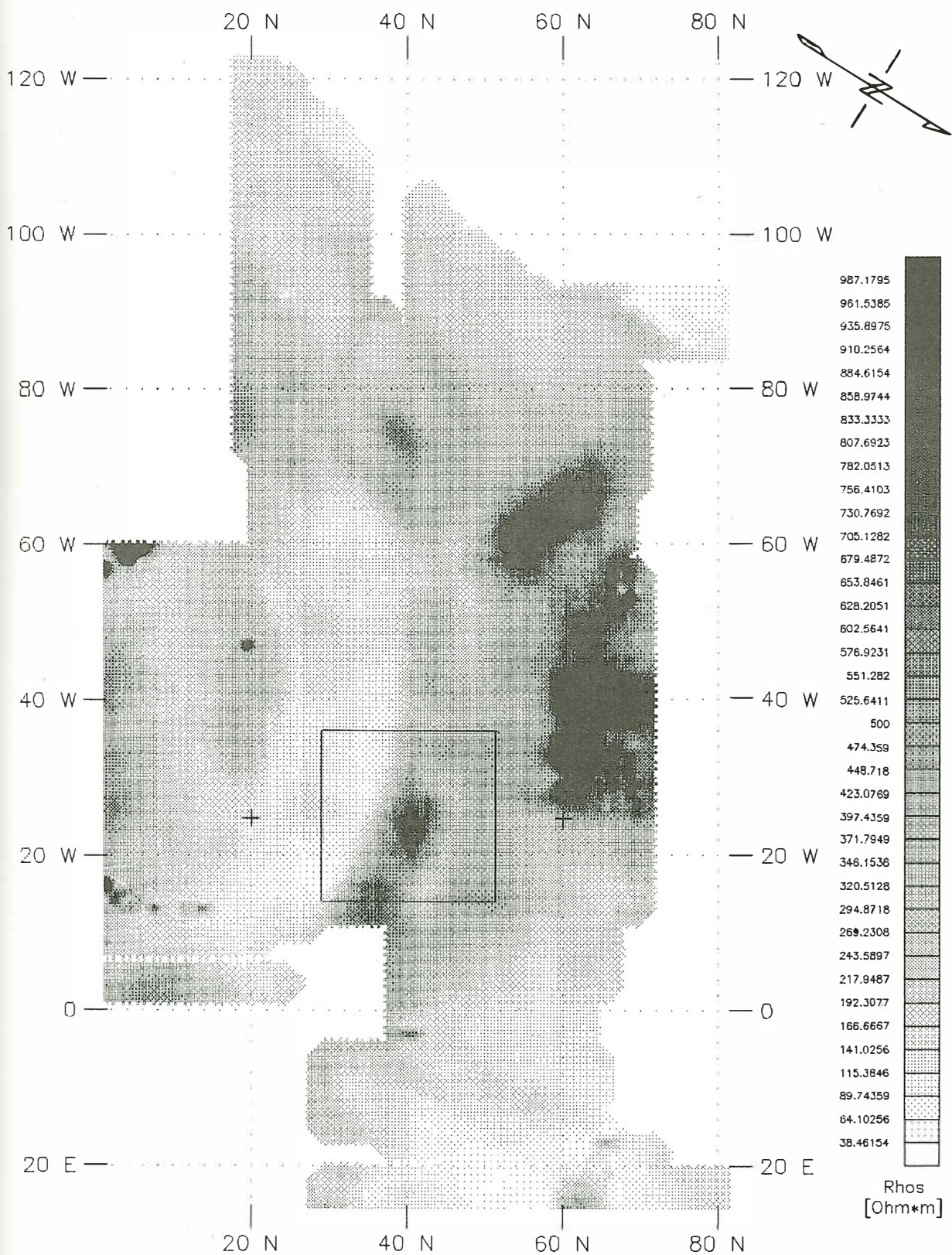
W. Südekum & K. Spitzer (Hannover)

## 1 Einführung in das Meßsystem

Im Juni 1993 wurde eine geoelektrische Kartierung auf dem Gelände des Schlosses Rotenburg in Rotenburg/Wümme bei Bremen durchgeführt. Diese Messungen dienten der Erprobung der mobilen Elektrodengruppe (MEG), eines neuen Meßsystems, daß, von einem Fahrzeug gezogen, in der Lage ist, 12 Elektroden gleichzeitig pneumatisch abzusenken und computergesteuerte Messungen mit beliebigen Sonden/Elektroden-Kombinationen durchzuführen (**Abb. 1**). Üblicherweise werden Vierpunktmessungen durchgeführt (zwei Meßsonden, zwei Einspeisungselektroden) und scheinbare Widerstände berechnet, die zweidimensional auf die Oberfläche oder mit Hilfe von Pseudosektionen auf verschiedene Eindringtiefen projiziert werden (Kartierung, **Abb. 2**). Hier wurden für die Modellrechnungen Messungen mit fixierten Einspeisungselektroden durchgeführt. Die Meßapparatur ist bei Südekum (1994) detailliert beschrieben. Über die archäologischen Hintergründe und die geoelektrische Kartierung selbst wird an anderer Stelle berichtet werden.



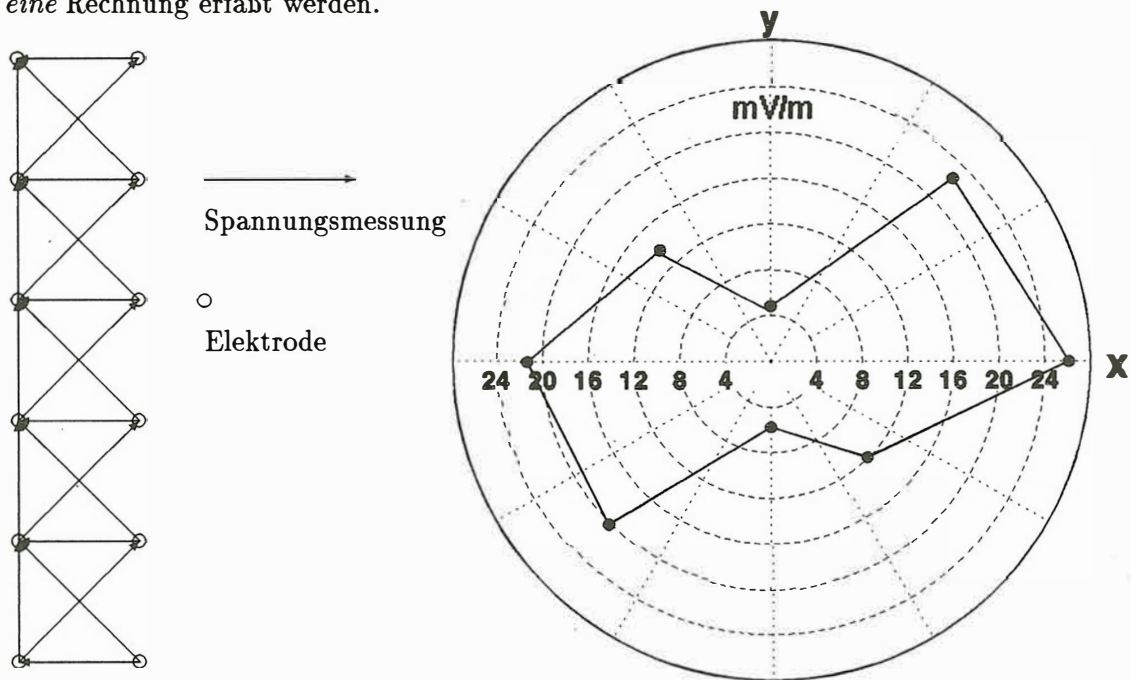
**Abb. 1:** Mobile Elektrodengruppe (MEG). Die Elektroden am Fahrzeuganhänger können pneumatisch abgesenkt und wieder eingezogen werden. Üblicherweise werden beliebige Sonden/Elektroden-Konfigurationen innerhalb der MEG geschaltet. Für die Modellrechnungen sind die Einspeisungselektroden fixiert worden.



**Abb. 2:** Die Widerstandskartierung auf dem Gelände des Schlosses Rotenburg mit Elektrodenabstand  $AB = 3\text{ m}$  und Sondenabstand  $MN = 1\text{ m}$  im Maßstab 1:750. Der eingerahmte Bereich wurde ein weiteres Mal für die Modellrechnungen mit fester Quellkonfiguration (Kreuze) vermessen.

## 2 Spezielle Elektrodenkonfiguration für dreidimensionale geoelektrische Modellrechnungen

Der auf **Abb. 2** eingerahmte Bereich wurde nochmals vermessen, wobei die Einspeisungselektroden für alle Messungen außerhalb dieses Planquadrates fixiert wurden (Kreuze). Mit der MEG wurde dann auf einem Raster mit einem Knotenpunktabstand von 1 m das aufgebaute elektrische Feld so vermessen, daß für jeden Rasterpunkt acht Spannungswerte radial im Abstand von  $45^\circ$  aufgenommen werden konnten (**Abb. 3**). Das Fixieren der Quellpunkte erschien im Hinblick auf die sich anschließenden dreidimensionalen Modellrechnungen als günstig, da man dann nur jeweils eine Vorwärtsrechnung pro Quellkonfiguration ausführen muß, d.h. alle Meßwerte können jeweils durch *eine* Rechnung erfaßt werden.



**Abb. 3:** Linkes Teilbild: Schaltung der mobilen Elektrodengruppe. Durch Befahren nebeneinanderliegender Profile ergeben sich für jeden Rasterpunkt Spannungsmessungen in acht verschiedene Richtungen. Rechtes Teilbild: Betrag des elektrischen Feldes als Beispiel am Meßpunkt (47,18) in Abhängigkeit der Richtung.

## 3 Die Modellrechnungen

Die Modellrechnungen zu diesen Messungen unterscheiden sich von denen zu den vorhergehenden Schlumberger-Messungen, was die Konfiguration der Elektroden betrifft. In diesem Fall liegt das zu untersuchende Objekt zwischen den Einspeisungselektroden. Durch das Reziprozitätsprinzip sind bei den Modellrechnungen zu Schlumbergermessungen Einspeisungs- und Meßelektroden vertauscht, so daß nur *eine* Vorwärtsrechnung für *eine* Schlumbergersondierung ausgeführt werden muß. Die Quellen liegen dann somit innen und das Potential wird „weit“ davon entfernt betrachtet. Im hier untersuchten Fall betrachtet man das Potential zwischen zwei Quellen, was bei der Diskussion der Fehler nochmal zur Sprache kommen wird. Die numerischen Modellrechnungen sind bei Spitzer (1993) und (1994) beschrieben.

Die Berechnung des scheinbaren Widerstandes stellte sich in diesem Fall als ungünstig heraus,

weil

1. quer zum Feld sehr kleine Meßwerte entstanden und
2. gewisse Sonden/Elektroden-Konfigurationen zu ungünstigen Geometriefaktoren für die Berechnung des scheinbaren Widerstandes führten.

Deshalb wurden die acht Meßwerte zum Absolutwert des elektrischen Feldes transformiert. Durch einen niederfrequenten Einspeisungsstrom (in den meisten Fällen 73 Hz), der zwar Sondenpolarisierungen weitestgehend vermeidet, muß man jedoch auch auf Richtungsinformationen für das elektrische Feld verzichten. Der absolute Betrag des elektrischen Feldes ist dann unmittelbar Indikator für die Widerstandsverteilung im Halbraum und wurde als Parameter für die Modellrechnungen benutzt. Um die in der Natur des Feldes liegenden großen Feldstärken in der Nähe der Pole für die Darstellung zu unterdrücken, wurde das Feld an der Oberfläche eines homogenen Halbraums des Widerstandes  $\rho = 40 \Omega m$  subtrahiert. **Abb. 4** zeigt die Differenz der Meß- und Halbraumdaten. Deutlich erkennt man die Anomalien wieder, die bereits in der Widerstandskartierung von **Abb. 2** zu sehen sind.

Der Nachteil bei dieser Art von Messung ist, daß nur begrenzt Aufschluß über Tiefenabhängigkeiten gewonnen wird. Die Leitfähigkeitsstrukturen im vorgestellten Modell (**Abb. 7**) beschränken sich daher nur auf den oberflächennahen Bereich. Informationen über Tiefenabhängigkeiten müssen deshalb beispielsweise über zusätzliche punktuelle Schlumbergersondierungen erzielt werden.

**Abb. 7a** zeigt die Leitfähigkeitsstruktur im Bereich von der Erdoberfläche bis in eine Tiefe von 0.7 m. In diesem Bereich existieren noch keine signifikanten Leitfähigkeitskontraste. Das ändert sich jedoch im Tiefenbereich von 0.7 m bis 1.5 m (**Abb. 7b**). Dort könnten hochohmige Mauerreste (schwarze Bereiche) liegen, welche die gemessenen Anomalien erklären würden. Auf **Abb. 7c** zeichnet sich eine Struktur ab, bei der es Hinweise auf eine größere Tiefenerstreckung gibt. Hier würde sich eine verfüllte Grabenstruktur anbieten, die noch deutlicher im größeren räumlichen Zusammenhang auf **Abb. 2** zu sehen ist.

**Abb. 5** zeigt das vom Modell erzeugte elektrische Feld in der gleichen Darstellungsweise wie die Meßdaten auf **Abb. 4**.

## 4 Gittergröße und Diskretisierungsfehler

Im betrachteten Fall wurde ein Gitter von 57 x 57 x 30 Knoten ( $\approx 100\,000$  lineare Gleichungen) gewählt, so daß im Bereich  $x = 29$  m bis  $x = 51$  m und  $y = 14$  m bis  $y = 36$  m (Planquadrat) auf jeden vollen Meter ein Knotenpunkt fällt (Punkte in den **Abb. 4 - 7**). Die Ränder des Gitters sind 100 m vom Zentrum entfernt. Das Zentrum des Gitters hat die Koordinaten  $x = 40$  m und  $y = 25$  m, die Einspeisungselektroden sind bei  $x = 20$  m,  $y = 25$  m und  $x = 60$  m,  $y = 25$  m lokalisiert. Durch die Rasterung von 1 m im Planquadrat erhält man im homogenen Fall Diskretisierungsfehler von etwa 3 - 4 %. Eine engere Rasterung würde zwar einen besseren Anpassungsfehler ergeben, andererseits aber die durch das Programm vorgegebene maximale Dimensionierung des Gitters übersteigen. Zusätzliche Gitterlinien nach außen ergeben keine merkliche Verbesserung der Response im Bereich des Planquadrates. Auf **Abb. 6** ist die prozentuale Abweichung zwischen Modell- und Meßdaten aufgetragen. In einigen Bereichen sind durchaus noch Verbesserungen zu erzielen, in weiten Bereichen ist jedoch eine Anpassung von etwa  $\pm 5\%$  erreicht, was bereits etwa dem Diskretisierungsfehler entspricht.

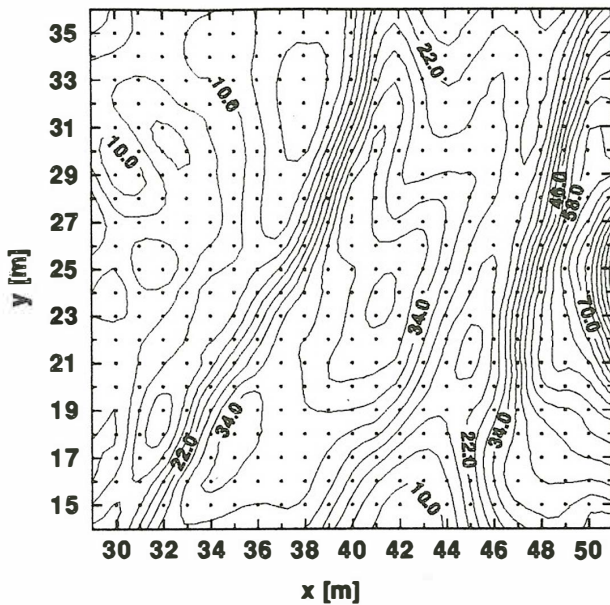


Abb. 4: Meßwerte des elektrischen Feldes im Planquadrat  $x = 29 \text{ m}$  bis  $x = 51 \text{ m}$  und  $y = 14 \text{ m}$  bis  $y = 36 \text{ m}$ . Die Stützstellen sind an den Knotenpunkten des Gitters (Punkte). Für die Darstellung wurden die Feldwerte eines homogenen Halbraums des spezifischen Widerstandes von  $\rho = 40 \Omega\text{m}$  abgezogen.

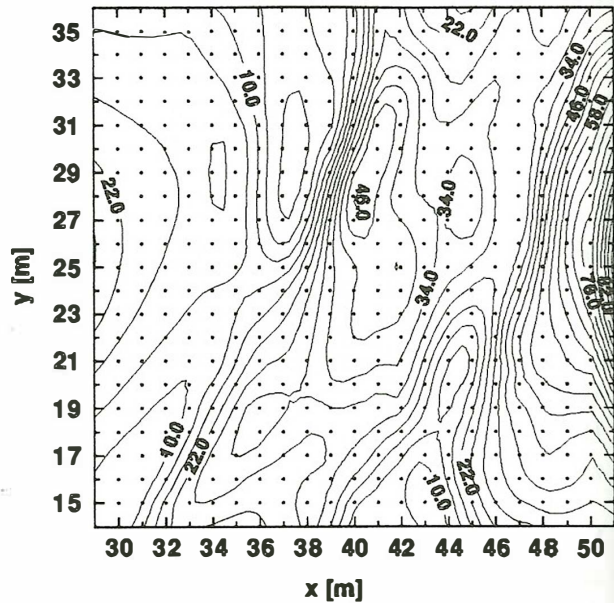


Abb. 5: Aus dem Widerstandsmodell (Abb. 7) berechnete Werte des elektrischen Feldes (minus Werte des homogenen Halbraums  $\rho = 40 \Omega\text{m}$ ). Darstellungsweise wie in Abb. 4.

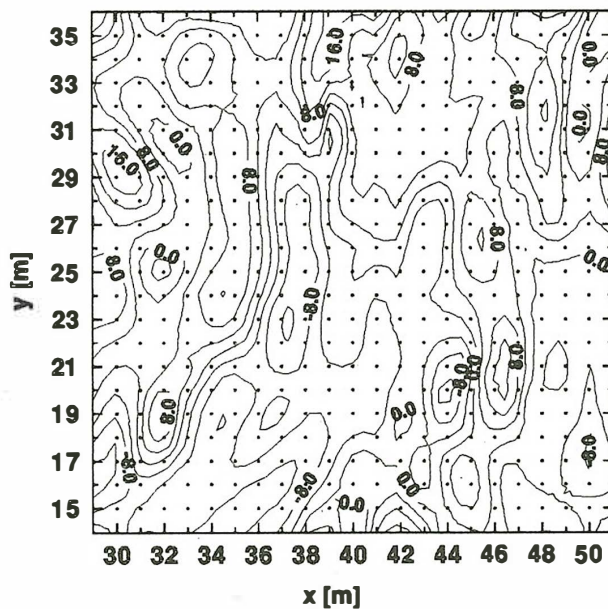
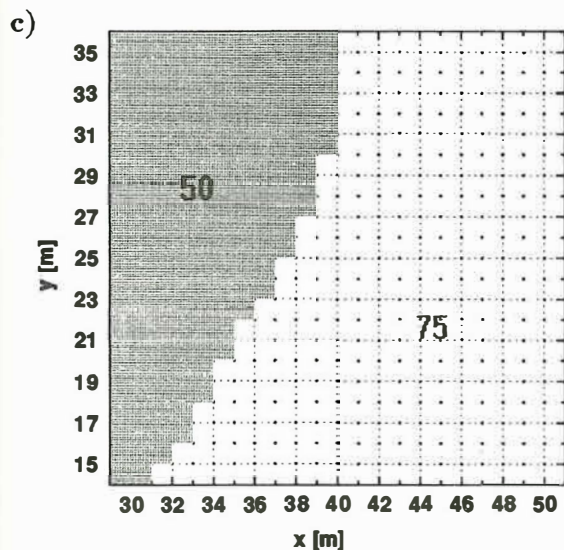
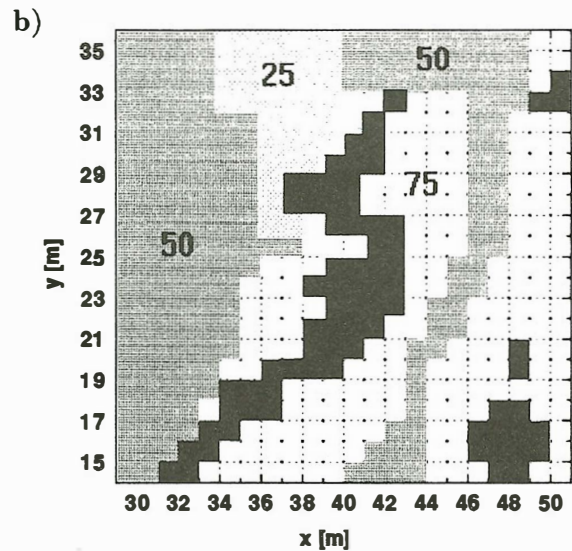
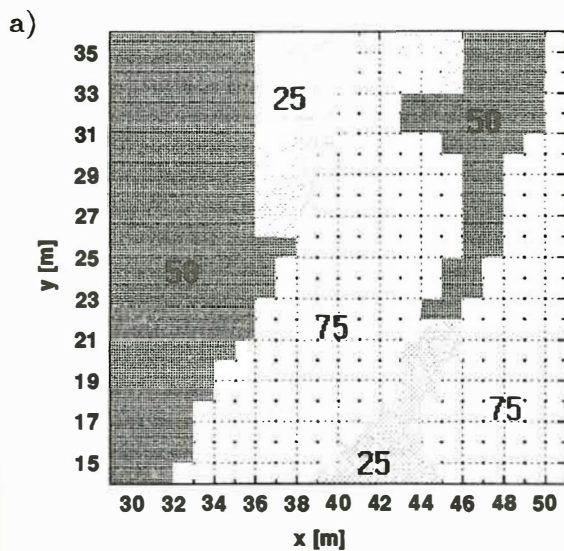


Abb. 6: Relative Abweichung zwischen Modell- und Meßdaten in Prozent. Nur wenige Bereiche zeigen Fehler von mehr als 10%.



**Abb. 7:** Das Widerstandsmodell in drei verschiedenen Tiefenbereichen: a) 0 - 0.7 m b) 0.7 m - 1.5 m c) 1.5 - 9 m. Darunter schließt sich ein homogener Halbraum mit  $\rho = 75 \Omega m$  an. Die Zahlen geben den spezifischen Widerstand in  $\Omega m$  an. Die schwarzen Bereiche im Teilbild b) sind mit dem spezifischen Widerstand von  $\rho = 450 \Omega m$  belegt.

## 5 Literatur

- Spitzer, K., 1993.** Bericht über dreidimensionale geoelektrische Modellrechnungen nach der Methode der Finiten Differenzen, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung – Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben, Archiv-Nr. 111551, Hannover.
- Spitzer, K., 1994.** Bericht über dreidimensionale gleichstromgeoelektrische FD-Modellrechnungen mit symmetrisierten Koeffizientenmatrizen mittels der Methode der vorkonditionierten konjugierten Gradienten, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung – Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben, Archiv-Nr. 112229, Hannover.
- Südekum, W. & Ifkovits, W., 1994.** Vorrichtung zur oberflächennahen geoelektrischen Kartierung, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung – Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben, Archiv-Nr. 111965, Hannover.