

# Gemeinsame Inversion von Gleichstrom-Geoelektrik und CSAMT Daten am Standort Münchehagen

H.-M. Maurer, Institutionen för Geofysik, Viallavägen 16, S - 75236 Uppsala

## 1 Einleitung

Im Rahmen des BMFT-Verbundvorhabens Deponieuntergrund wurden im Mai 1992 von der Firma Geometra skalare CSAMTMAP-Messungen im Umfeld der Sonderabfalldeponie Münchehagen, Niedersachsen durchgeführt. Bei der Auswertung der Daten zeigte sich eine große Diskrepanz zwischen den Ergebnissen der Gleichstromgeoelektrik und denen der elektromagnetischen Methoden.

Hier wird jetzt ein Lösungsvorschlag mit einem anisotropen elektrischen Widerstand vorgestellt. Durch eine gemeinsame Inversion beider Datensätze werden eindimensionale anisotrope Widerstandsmodelle bestimmt, die alle Meßwerte gut erklären und lateral korreliert sind. Die auftretenden Anisotropiefaktoren sind allerdings ungewöhnlich groß. Die Tiefenlage einer Schichtgrenze, die als Süß- Salzwassergrenze interpretiert wird, ist geringer als von der Geoelektrik angegeben, da durch Anisotropie eine größere Tiefe vorgetäuscht wird.

## 2 Prinzip der CSAMTMAP-Methode

Ein geerdeter horizontaler elektrischer Dipol als Sender erzeugt ein elektromagnetisches Wechselfeld mit einer festen Frequenz in einem Abstand von ca. 2 km vom Meßgebiet. Am Meßort wird bei einer skalaren Messung die Komponente des elektrischen Feldes  $E_x$  parallel zum Profil und die Komponente der magnetischen Induktion  $B_y$  senkrecht zum Profil bei dieser Frequenz in Betrag und Phase gemessen. Nacheinander werden verschiedene Frequenzen im Audiofrequenzbereich (ca. 1 Hz – 10 kHz) durchgeschaltet. Danach wird der Meßvorgang mit dem Empfänger am nächsten Profilverpunkt wiederholt, während der Sender ortsfest bleibt.

Beim CSAMTMAP-Verfahren wird das elektrische Feld in kontinuierlichen Profilen in einem Raster von 5 – 30 m vermessen. Die räumlich wenig variablen Komponenten der magnetischen Induktion werden nur an wenigen Basisstationen registriert. Durch dieses Verfahren wird es möglich, Verzerrungen in den Sondierungskurven zu eliminieren, die durch oberflächennahe Widerstandsinhomogenitäten hervorgerufen werden.

## 3 Messungen am Standort Münchehagen

Die CSAMTMAP-Messpunkte liegen auf einem 2km langen Profil in SW-NE Richtung. Das Profil verläuft entlang der Kreisstraße 44 östlich der Deponie.

Der Sender, ein horizontaler elektrischer Dipol mit einer Länge von 850 m, befand sich östlich der Deponie in ca. 2000 m Entfernung mit einer Orientierung in NE-SW Richtung ungefähr parallel zum Meßprofil (siehe Abb. 1).

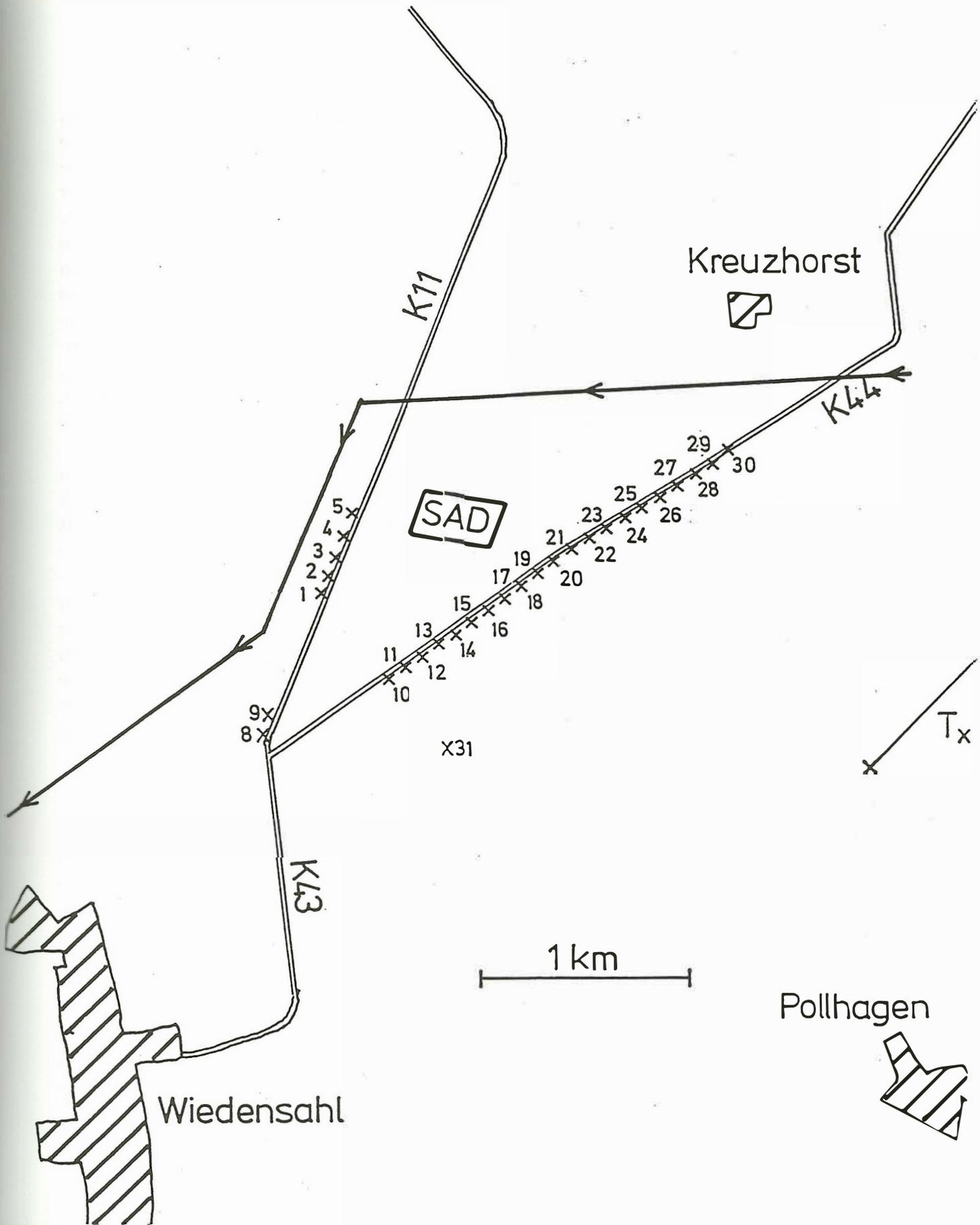


Abbildung 1: Lage der Meßpunkte und des Sendedipols im Meßgebiet Münchehagen

Auf dem gleichen Profil wurden vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Hannover, Schlumberger-Gleichstrom-Sondierungen durchgeführt (Profil 3086). Ebenso existieren Ergebnisse von Messungen nach dem Horizontalspulenverfahren (MaxMin-Gerät der Firma APEX). Eine Interpretation und zusammenfassende Darstellung der Gleichstrom- und MaxMin Messungen wurde von Kollodziej (1992) durchgeführt. Die beiden Meßmethoden führen zu unterschiedlichen Ergebnissen für die elektrischen Widerstände in diesem Meßgebiet. Kollodziej vermutet als Ursache der Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen der beiden Methoden eine Anisotropie des elektrischen Widerstandes, hervorgerufen durch senkrechte salzwassergefüllte Klüfte. Seine Interpretation stützt sich aber im wesentlichen auf die Geoelektrik-Ergebnisse, da die Datenqualität besser ist und die MaxMin-Messungen nur eine geringere Eindringtiefe haben. Die Tatsache, daß die Widerstände, die aus den Elektromagnetik-Messungen resultieren, kleiner als die Gleichstrom-Widerstände sind, deutet jedoch eher auf eine Anisotropie hervorgerufen durch horizontale Schichten, die nicht einzeln auflösbar sind.

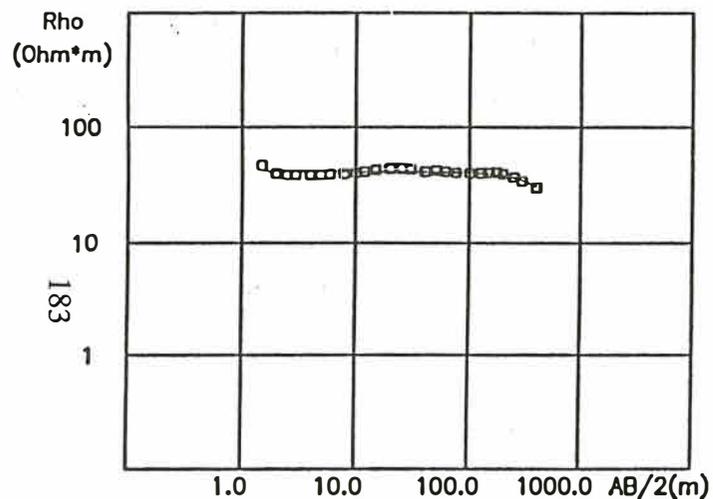
Die Widerstände, die sich bei der Auswertung der CSAMTMAP-Daten ergeben, liegen ebenfalls deutlich niedriger als die Widerstände aus den Gleichstromsondierungen. Durch Nachmessungen sowohl mit elektromagnetischen Verfahren (MaxMin) als auch mit Gleichstromverfahren wurde verifiziert, daß es sich nicht um Meßfehler handelt. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen am Beispiel von Meßpunkt 23 beide Datensätze gegenübergestellt, einmal mit dem bestpassenden isotropen Modell für die Gleichstromdaten und das andere mal für die Elektromagnetikdaten. Dargestellt sind jeweils links die Gleichstrom-Geoelektrik Meßdaten und rechts die CSAMTMAP-Daten, die am gleichen Meßort registriert wurden. Die durchgezogenen Linien sind links die Geoelektrik-Response und rechts die CSAMTMAP-Response für ein isotropes Schichtmodell, dessen Parameter in der Mitte stehen. Es ist deutlich zu erkennen, das es kein isotropes Modell gibt, das gleichzeitig beide Datensätze innerhalb ihrer Fehlergrenzen erklären kann.

### 3.1 Anisotropie

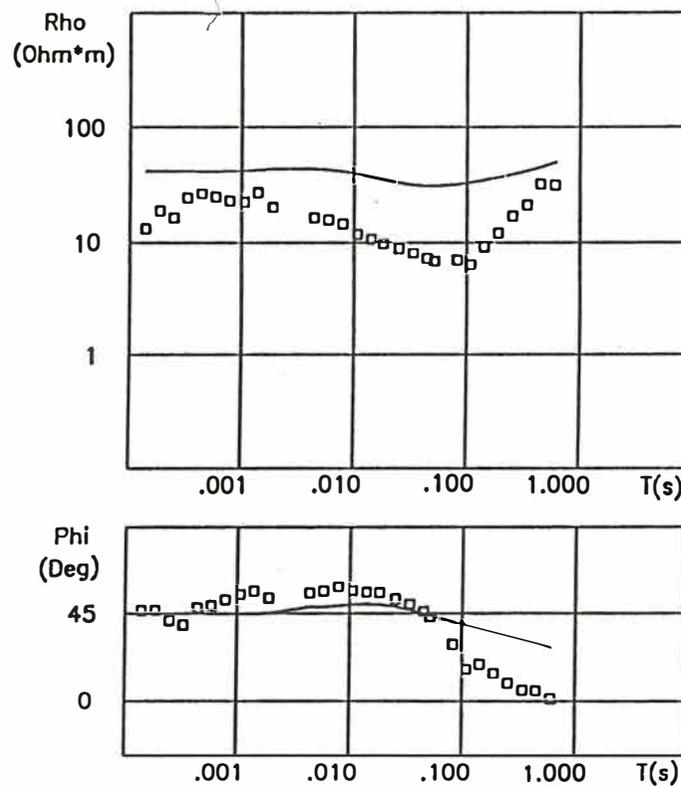
Eine Möglichkeit, diese Diskrepanz zu erklären, ist eine Anisotropie des elektrischen Widerstandes durch horizontale Feinschichtung. Besteht ein Medium aus einer Wechsellagerung von zwei Materialien mit unterschiedlichem Widerstand und mit Schichtmächtigkeiten, die unterhalb der Auflösungsgrenze der Meßmethode liegen, ergibt sich  $\rho_h$ , der Widerstand in horizontaler Richtung, als Parallelschaltung der Einzelwiderstände. Entsprechend setzt sich der Widerstand in vertikaler Richtung  $\rho_v$ , aus einer Reihenschaltung zusammen. Dabei gilt immer  $\rho_h \leq \rho_v$ . Elektromagnetische Meßverfahren liefern im wesentlichen den horizontalen Widerstand ( $\rho_{AC} = \rho_h$ ), während bei den Gleichstromverfahren der geometrische Mittelwert  $\rho_{DC} = \sqrt{\rho_h \rho_v}$  bestimmt wird. Jedes Verfahren für sich alleine liefert keine Hinweise auf Anisotropie (Krajew, 1957, Jupp & Vozoff, 1977).

Ein wesentlicher Punkt ist, daß bei Gleichstrommessungen die ermittelten Schichtmächtigkeiten  $h_{DC}$  durch Anisotropie verfälscht werden, und zwar um den Anisotropiefaktor  $f$ . Dabei ist  $h_{DC} = fh$  mit  $f = \sqrt{\rho_v / \rho_h}$ ,  $f \geq 1$ . Der Anisotropiefaktor ist immer größer oder gleich eins, dadurch liegen die Schichtgrenzen zu tief, die aus DC-Messungen beim Vorliegen einer solchen Anisotropie bestimmt wurden.

MUE76.GTS



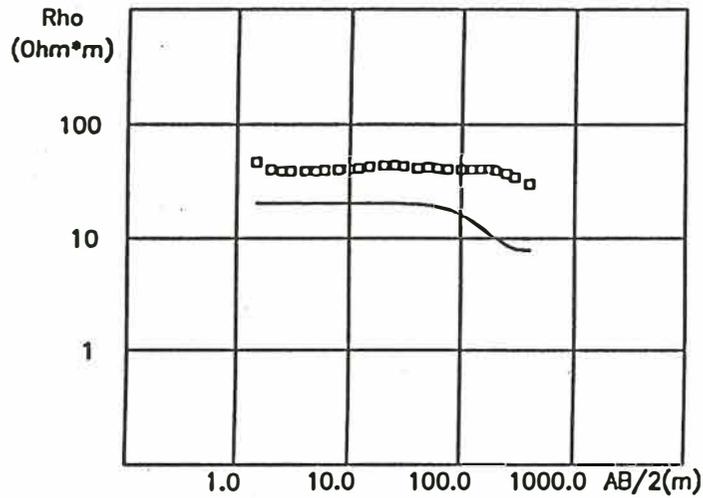
MUE23\_1 S3



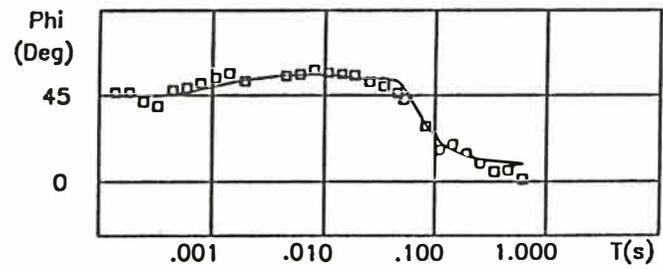
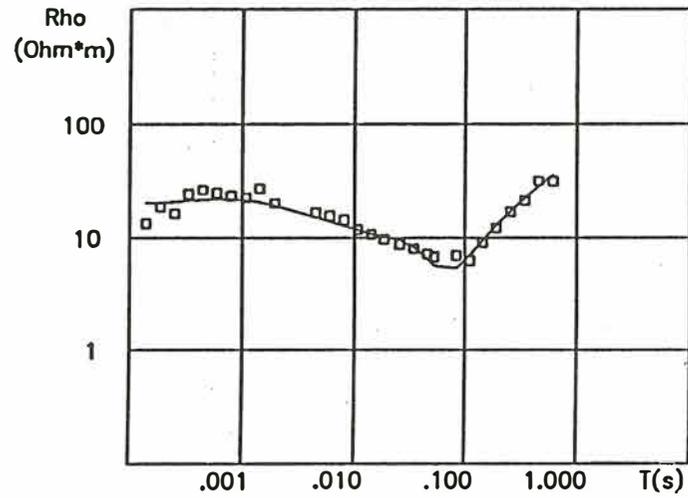
ABWEICHUNG	15.5	%		
RHOH, RHOV(OHM*M), AF,	40.7	40.7	1.00	209.
	16.0	16.0	1.00	

Abbildung 2: Gleichstrom-Geoelektrik-Daten (links) und CSAMT-Daten (rechts) von Punkt 23 (Quadrate). Die durchgezogenen Linien zeigen die Response des isotropen Modells, das an die Geoelektrik-Daten angepaßt wurde.

MUE76.GTS



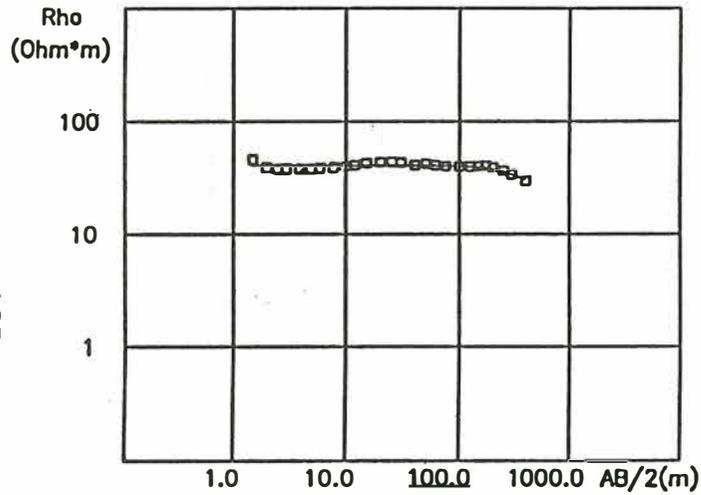
MUE23\_1 S3



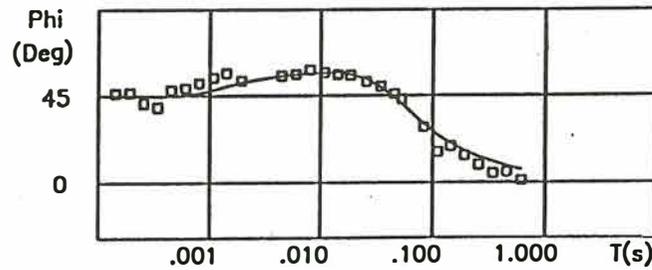
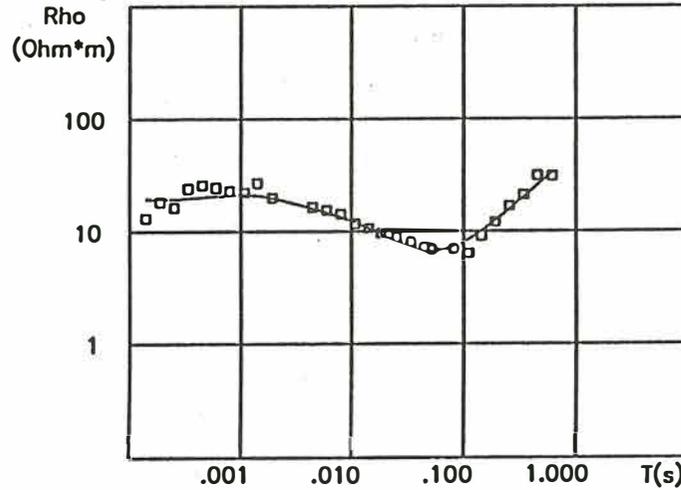
ABWEICHUNG 7.18 %			
RHOH, RHOV(OHM*M),	AF,	D(M)	
20.0	20.0	1.00	68.9
5.95	5.95	1.00	302.
30.6	30.6	1.00	

Abbildung 3: wie Abb. 2, aber an die CSAMT angepaßt.

MUE76.GTS



MUE23\_1 S3



ABWEICHUNG	9.76	%		
RHOH, RHOV(OHM*M),	AF,	D(M)		
19.4	86.1	2.11	81.4	
5.12	86.1	4.10		

Abbildung 4: Gleichstrom-Geoelektrik-Daten (links) und CSAMT-Daten (rechts) von Punkt 23 (Quadrate). Die durchgezogenen Linien zeigen die Response des anisotropen Modells, das an beide Datensätze gemeinsam angepaßt wurde. Rechts stehen die Modellparameter Horizontalwiderstand, Vertikalwiderstand, Anisotropiefaktor und Schichtmächtigkeit.

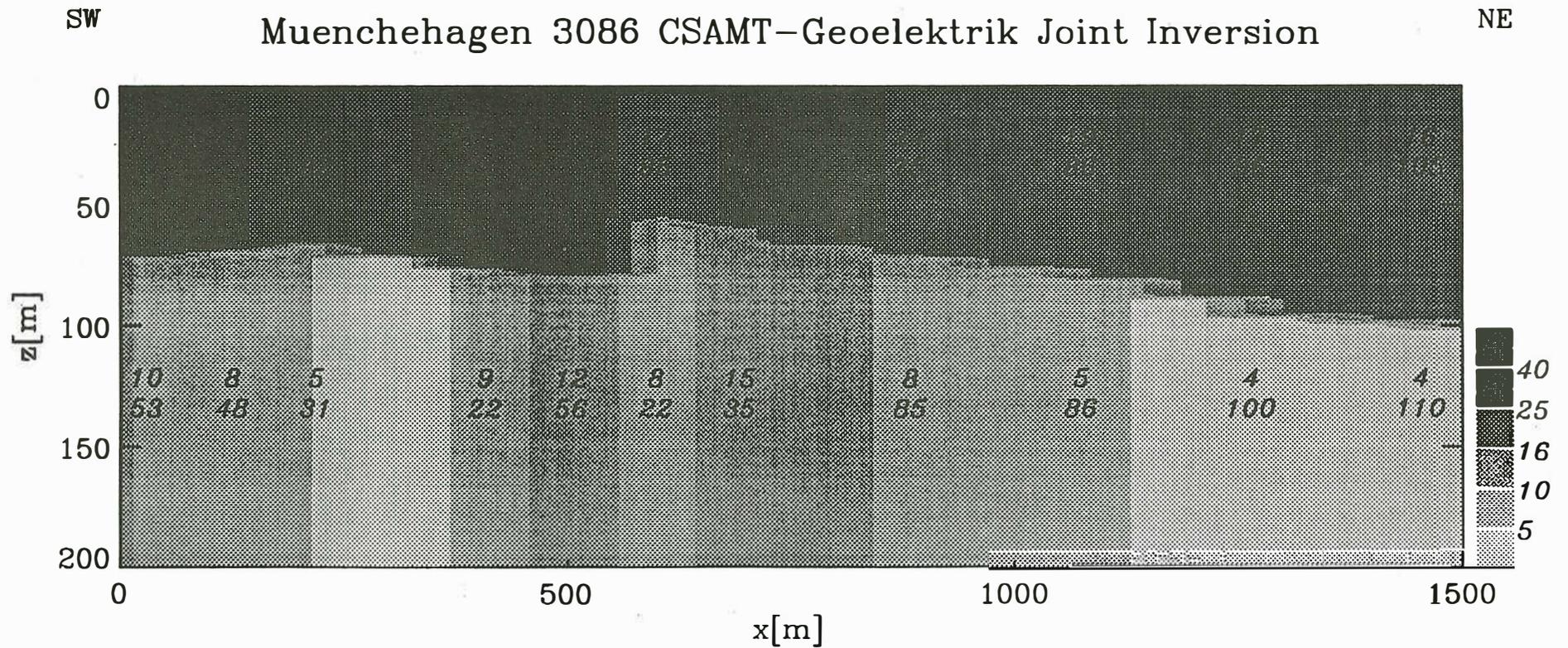


Abbildung 5: Profildarstellung der Ergebnisse der gemeinsamen Inversion von Geoelektrik- und CSAMT-Daten mit anisotropen Modellen. Die obere Zahl gibt den Horizontalwiderstand, die untere den Vertikalwiderstand in  $\Omega\text{m}$  an. An der eingezeichneten Schichtgrenze ändert sich vor allem der Horizontalwiderstand.

## 3.2 Ergebnisse

Abb. 4 zeigt das Ergebnis einer gemeinsamen Inversion beider Datensätze. Dazu wurde ein Programm nach dem Marquardt-Verfahren erstellt. Da für beide Datensätze keine Fehlergrenzen zur Verfügung standen, wurden die Gleichstromdaten willkürlich nach dem optischen Eindruck der Kurvenstreuung doppelt gewichtet. Ein zusätzlicher freier Parameter ist bei dieser Inversion der Anisotropiefaktor  $f$  in jeder Schicht.

Im Gegensatz zu Jensen (1977), dem nur langperiodische passive Magnetotellurikmessungen zur Verfügung standen, existiert bei dem hier vorgestellten Datensatz ein größerer überlappender Tiefenbereich beider Methoden. Weiterhin hängen die CSAMT-Daten im Übergangsbereich und im Nahfeld (hier bei Frequenzen  $< 20$  Hz) sowohl vom Horizontal- als auch vom Vertikalwiderstand ab.

Mit dieser gemeinsamen Inversion ist es möglich, bereits mit einem einfachen anisotropen Zweischichtmodell sowohl die Elektromagnetikdaten als auch die Gleichstromdaten zu erklären. Die Anisotropiefaktoren sind allerdings mit Werten bis zu 5 ungewöhnlich groß. Auf Abb. 5 ist das ganze Profil in dem Bereich dargestellt, in dem Daten von beiden Meßverfahren vorliegen. Durch die gemeinsame Inversion zeigt sich im gesamten Profilverlauf eine Schichtgrenze in ca. 50 m bis 90 m Tiefe mit Horizontalwiderständen von 20 – 30  $\Omega\text{m}$  oberhalb der Grenze und 4 – 10  $\Omega\text{m}$  unterhalb. Die Vertikalwiderstände liegen durchgängig bei 30 – 100  $\Omega\text{m}$ . An der Grenze ändert sich also im wesentlichen der Horizontalwiderstand. Die Grenze taucht nach Nord-Osten hin ab und zeigt einen Versatz zwischen den Punkten 18 und 20. Möglich erscheint die Interpretation dieser Schichtgrenze als Süß/Salzwassergrenze zwischen Oberflächenwasser und salinaren Wässern größerer Dichte, die mit den Schichten des Münder Mergels in Verbindung stehen.

## 4 Zusammenfassung

Die gemeinsame Inversion von Gleichstrom- und elektromagnetischen Sondierungen gibt im Meßgebiet Münchehagen Hinweise auf eine ausgeprägte Anisotropie des elektrischen Widerstandes, die mit einer der Methoden alleine nicht bestimmt werden kann. Da die Tiefen, die aus der Geoelektrik bestimmt wurden, durch die Anisotropie verfälscht werden, müssen die bisher vorliegenden Modelle in dieser Hinsicht korrigiert werden.

## 5 Literatur

- Jensen, U., 1985. Gemeinsame Interpretation magnetotellurischer und geoelektrischer Sondierungen über horizontal gelagerten Sedimenten, Diplomarbeit, Institut für Geophysik, Göttingen.
- Jupp, D. L. B. & Vozoff, K., 1977. Resolving Anisotropy in Layered Media by Joint Inversion, *Geophysical Prospecting*, 25, 460-470.
- Kolodziej, A. W., 1992. Zusammenfassende Bearbeitung geoelektrischer und elektromagnetischer Messungen aus dem Umfeld der SAD Münchehagen (Niedersachsen), Berichtband und Anhang 1, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Krajew, A. P., 1957. Grundlagen der Geoelektrik, VEB Verlag Technik, Berlin.