

**Anlage 15**

**Ergebnisse Geoelektrische Untersuchungen**

**UNTERSUCHUNGSBERICHT**  
**über**  
**geophysikalische Erkundungen zum Projekt**  
**BV Bundesautobahn A 94 Malching**  
**Kirchham / Einhausung Tutting**

**Auftraggeber:** Autobahndirektion Südbayern  
Herr Dipl.-Geol. Peter Jordan  
Bodenprüfstelle  
Bergsonstr. 30

**Auftragnehmer:** GEOLOG Fuß / Hepp GbR  
Ingenieurbüro für Geophysik und Geologie  
Lechrainstraße 64  
D-86163 Augsburg  
Tel.: 0821 8152441  
Fax: 0821 8152442

**Ausführende:** DIPL.-GEOPHYS. CHRISTIAN FUSS

---

13. Juni 2012

## INHALTSVERZEICHNIS

1.	Vorbemerkung .....	3
2.	Die Geoelektrischen Profilmessungen und die daraus abgeleiteten Modelle der Tiefenverteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes.....	3
3.	Ergebnis.....	4

## ANLAGEN

1	Lageplan der Messprofile 1, 1-2, 2, 2-2, 3, 4 und 5 (Maßstab 1:2000)
2	Schnittdarstellung der Ergebnisse des Geoelektrischen Tomografieprofils Profil P 1-1 0-176 m (Maßstab h 1:1000, v 1:500), Farbkodierung logarithmisch einheitlich, Schnittdarstellung der Ergebnisse und Interpretation
3	Schnittdarstellung der Ergebnisse des Geoelektrischen Tomografieprofils Profil P1-234 0-324 m (Maßstab h 1:500, v 1:1000), Farbkodierung logarithmisch einheitlich, Schnittdarstellung der Ergebnisse und Interpretation
4	Schnittdarstellung der Ergebnisse des Geoelektrischen Tomografieprofils Profil P2-1 0-120 m (Maßstab h 1:1000, v 1:500), Farbkodierung logarithmisch einheitlich, Schnittdarstellung der Ergebnisse und Interpretation
5	Schnittdarstellung der Ergebnisse des Geoelektrischen Tomografieprofils Profil P2-23 0-296 m (Maßstab h 1:1000, v 1:500), Farbkodierung logarithmisch einheitlich, Schnittdarstellung der Ergebnisse und Interpretation
6	Schnittdarstellung der Ergebnisse des Geoelektrischen Tomografieprofils Profil P3-123 0-324 m (Maßstab h 1:500, v 1:1000), Farbkodierung logarithmisch einheitlich, Schnittdarstellung der Ergebnisse und Interpretation
7	Schnittdarstellung der Ergebnisse des Geoelektrischen Tomografieprofils Profil P4-123 0-324 m (Maßstab h 1:500, v 1:1000), Farbkodierung logarithmisch einheitlich, Schnittdarstellung der Ergebnisse und Interpretation
8	Schnittdarstellung der Ergebnisse des Geoelektrischen Tomografieprofils Profil P5-12 0-232 m (Maßstab h 1:500, v 1:1000), Farbkodierung logarithmisch einheitlich, Schnittdarstellung der Ergebnisse und Interpretation

Verfahrensbeschreibung

## **1 Vorbemerkung**

Zur geophysikalischen Erkundung des geologischen Schichtaufbaus zu BV Bundesautobahn A 94 Malching Kirchham / Einhausung Tutting wurden am 16. Und 17. 11. 2011 geoelektrische Messungen entlang von 5, mit dem Auftraggeber vor Ort festgelegten, Profillagen einer Länge von insgesamt 1.796 m durchgeführt.

Die Erkundung erfolgte mittels geoelektrischer Multielektrodenmessungen mit einer Erkundungstiefe bis ca. max. 30 m unter GOK mit einem lateralen Elektrodenabstand von 4 m. Die Lage der Profile sowie die Messrichtungen sind dem Lageplan der Anlage 1 zu entnehmen. Als Messkonfigurationen wurden Wenner- und Dipol-Dipol-Anordnungen gewählt.

## **2 Die Geoelektrischen Profilmessungen und die daraus abgeleiteten Modelle der Tiefenverteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes**

Die Messungen wurden mit einer hochauflösenden geoelektrischen Multielektrodenapparatur vom Typ GeoTomMK1E100 RES/IP/SP der Firma GEOLOG 2000 realisiert. Insgesamt wurden die Elektroden mit einem jeweiligen Abstand von 4,0 m ausgebracht und mittels mehradriger Multicorekabel in serieller Anordnung mit der Sende- und Empfangseinheit der Apparatur verbunden. Die Auswahl der Mess- bzw. Sendeelektroden wurde vollautomatisch über einen  $\mu$ -Controller gesteuerten Kanalwahlschalter vorgenommen.

Die Datenaufnahme erfolgte über einen Steuerrechner mit dem Messwerterfassungs- und Bearbeitungsprogramm GeoTom MWE V 7.23-2 unter WIN XP. Die aufgenommenen scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstände der Profilstationen wurden bereits im Gelände während des Messablaufes auf ihre Datengüte hin kontrolliert und optimiert sowie nach Beendigung der jeweiligen Messsektionen gespeichert. Anschließend wurden diese Rohdaten in ein, den Anforderungen der 2-dimensionalen Auswerte- bzw. Inversions-Software entsprechendes, Dateiformat konvertiert. Eine Höheneinmessung der Profilstationen erfolgte aufgrund der relativ ebenen Geländeverhältnisse nicht. Die aufbereiteten Daten wurden mit Algorithmen für 2-dimensionale Untergrundstrukturen (Vorwärts- und Inversionsverfahren) interpretiert.

Die daraus berechneten Schichtmodelle der elektrischen Widerstandstiefenverteilungen wurden als interpolierte Schnittbilder mit Farbkodierung für die spezifischen elektrischen Widerstände ( $\text{Ohm} \cdot \text{m}$ ) in den Anlagen 2 bis 8 dargestellt. Die Untersuchungstiefen betragen bei den gewählten Elektrodenauslagen und Messstufen min. 20 m u.GOK. Entsprechend der lokalen geologischen Verhältnisse und der 2-dimensionalen Verteilung der spezifischen elektrischen Widerstände aus der Inversionsberechnung wurden geologische Einteilungen der farbkodierten Profilschnitte als Ergebnisdarstellungen vorgenommen (vgl. Anlage 2 bis 8).

Im Allgemeinen sind in Bereichen ohne zusätzliche Informationen aus z.B. Aufschlussbohrungen über Schichttiefen bzw. Schichtmächtigkeiten die absoluten Teufen von Schichtgrenzen weniger gut zu bestimmen als die relativen Änderungen der Schichtgrenzverläufe bzw. Materialänderungen.

### 3 Ergebnis

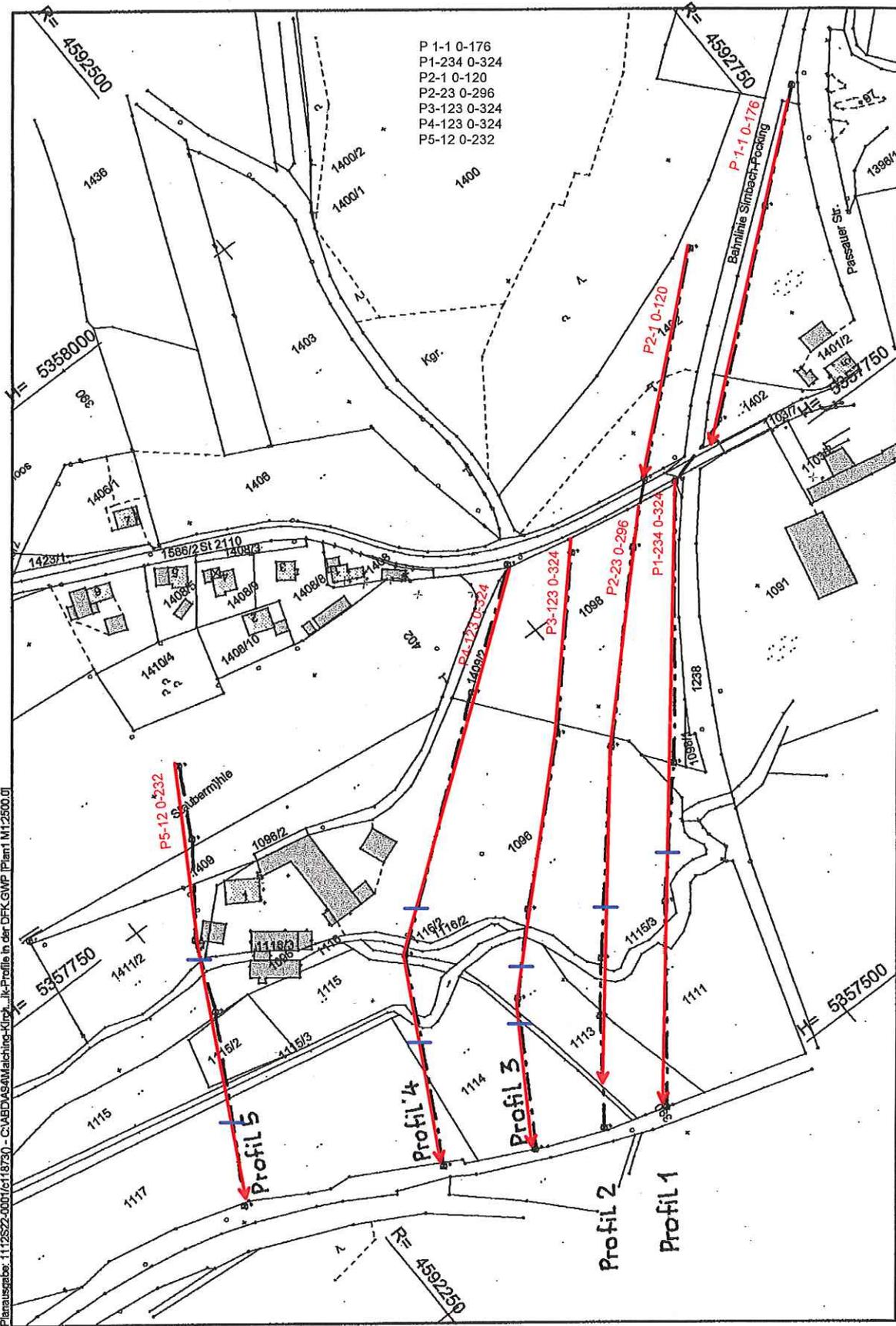
In den Schnittdarstellungen der Anlagen 2 bis 8 sind die, aus den Widerstandstiefenverteilungen der geoelektrischen Messungen interpretierten, Bereiche unterschiedlicher Materialzusammensetzung sowie interpretierbare Schichtgrenzverläufe dargestellt. Die elektrisch schlechterleitfähigen, vorwiegend kiesigen, sandig-schluffigen Bereiche lassen sich gut von den elektrisch besserleitfähigen, bindigeren Schichten (Schluffe/Tone/Sande) unterscheiden.

Die festgestellten Bereiche sehr niedriger Leitfähigkeiten mit untypischer Geometrie bezüglich geologischer Strukturen liegen in Bereichen, in denen Wasserleitungen vermutet werden. Die Ergebnisse der Messungen decken sich mit den Angaben von Anwohnern bezüglich der Lage der Leitungen. Die Messergebnisse werden interpretiert als Wasserleitungen, die in Richtung der Ortschaft Tutting und in Richtung des alten Bahnhofes Tutting laufen.

Augsburg, den 13.06. 2012

Christian Fuß (Dipl.-Geophysiker)

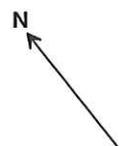




- P 1-1 0-176
- P1-234 0-324
- P2-1 0-120
- P2-23 0-296
- P3-123 0-324
- P4-123 0-324
- P5-12 0-232

Planrausgabe: 11.12.2012/0001/c118730 - C:\AED\AS\Matchings-Kurz...-Profile in der DFK.GWP [Plan1.M1.2500.d]

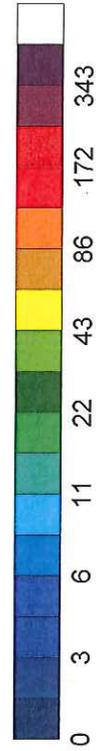
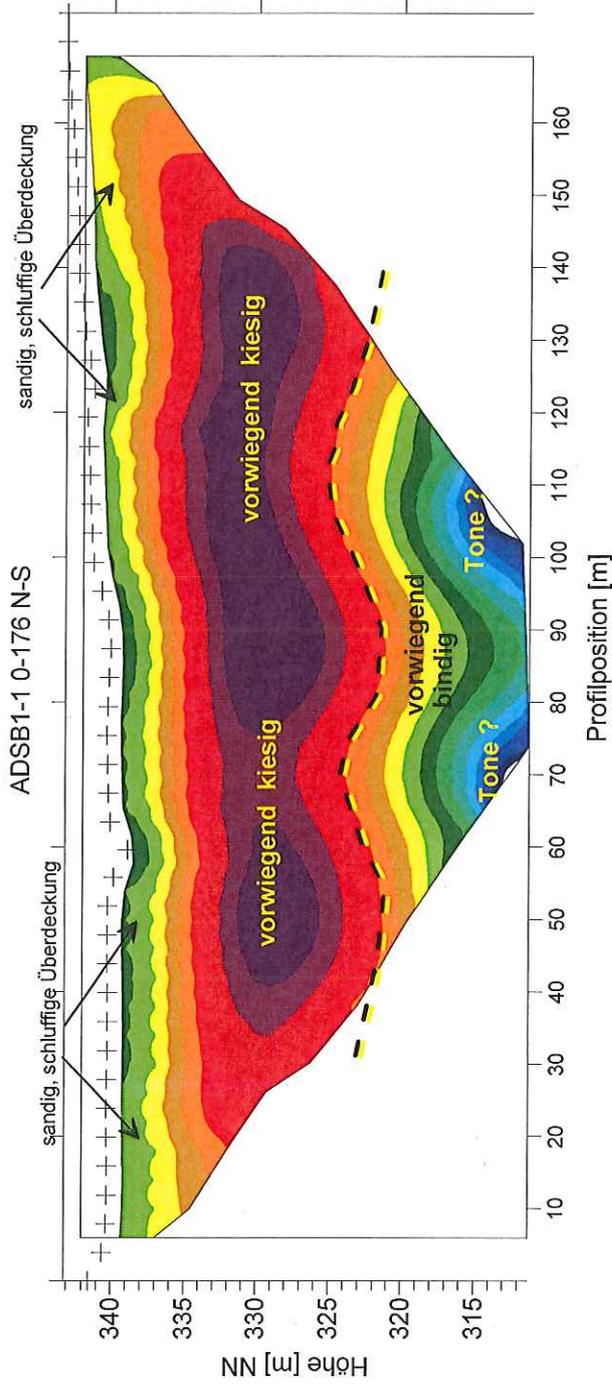
— interpretierte, vermutete Leitungslagen



Auftraggeber:	Autobahndirektion Südbayern Herr Dipl.-Geol. Peter Jordan Bodengrübstele Bergsonstr. 30 81245 München		
Projekt:	BV Bundesautobahn A 94 Malching Kirchham / Einhausung Tutting / Geophysikalische Erkundung Geoelektrische Tomografie		
Planbezeichnung:	Lageplan der Geoelektrik-Profile		
	Maßstab:	ca. 1 : 2000	Auftrags Nr.:
	Datum:	05.01.2012	ADSB-12-11
			Anlage:
			1



## ANLAGE 2 Geoelektrische Tomografie



Mh 1:1000 Mv 1:500  
 interpretierte Kiesbasis

Auftraggeber:	Autobahndirektion Südbayern Herr Dipl.-Geol. Peter Jordan Bodenprüfstelle Bergsonstr. 30 81245 München	
Projekt:	BV Bundesautobahn A 94 Malching Kirchham / Einhausung Tutting / Geophysikalische Erkundung Geoelektrische Tomografie	
Planbezeichnung:	Messprofil ADSB 1-1	
 LOG Lechrainstraße 64 86163 Augsburg Tel. 0821 8152441 Fax. 0821 8152442	Maßstab: 1 : 1000/500	Auftrags.Nr.: ADSB-12-11
	Datum: 15.12.2011	Anlage: 2

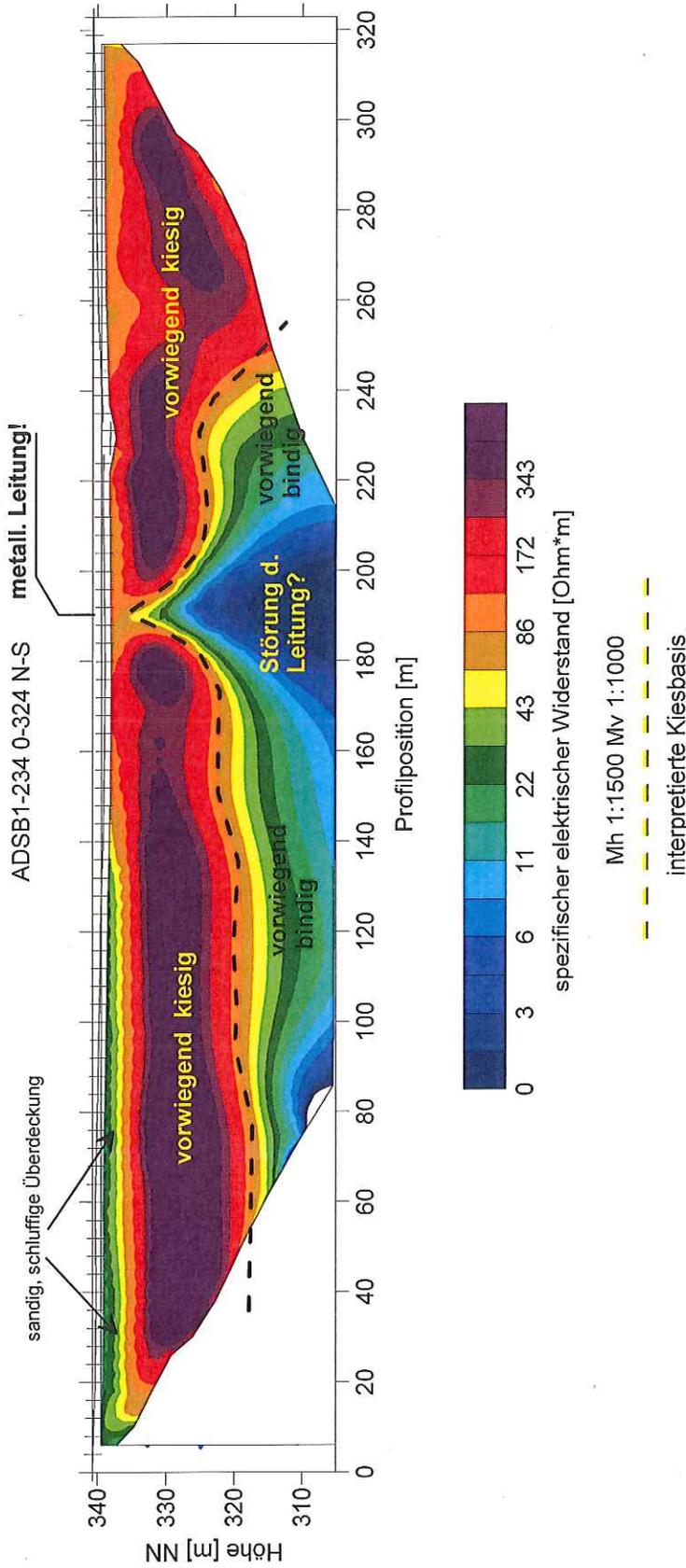


GEO

LOG

Lechrainstraße 64 86163 Augsburg  
Tel. 0821 8152441 Fax. 0821 8152442

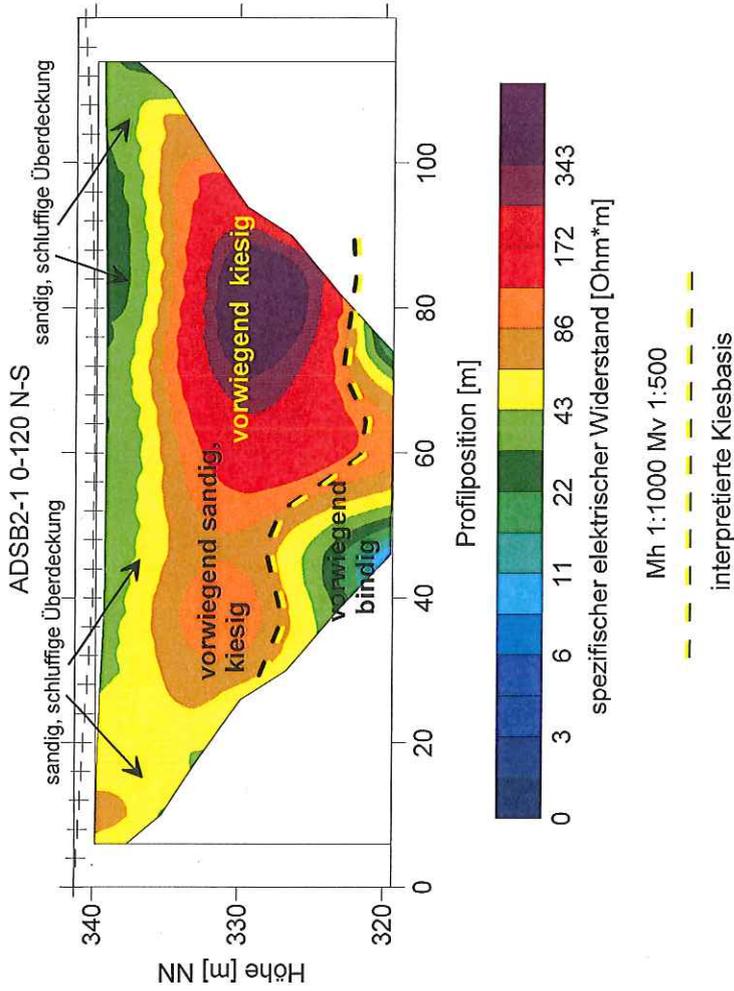
# ANLAGE 3 Geelektrische Tomografie



Auftraggeber:	Autobahndirektion Südbayern Herr Dipl.-Geol. Peter Jordan Bodenprüfstelle Bergsonstr. 30 81245 München		
Projekt:	BV Bundesautobahn A 94 Malching Kirchham / Einhausung Tutting / Geophysikalische Erkundung Geelektrische Tomografie		
Planbezeichnung:	Messprofil ADSB 1-234		
GEO  Lechrainstraße 64 86163 Augsburg Tel. 0821 8152441 Fax. 0821 8152442	Maßstab:	1 : 1500/1000	Auftrags.Nr.:
	LOG	Datum:	Anlage:
		15.12.2011	3



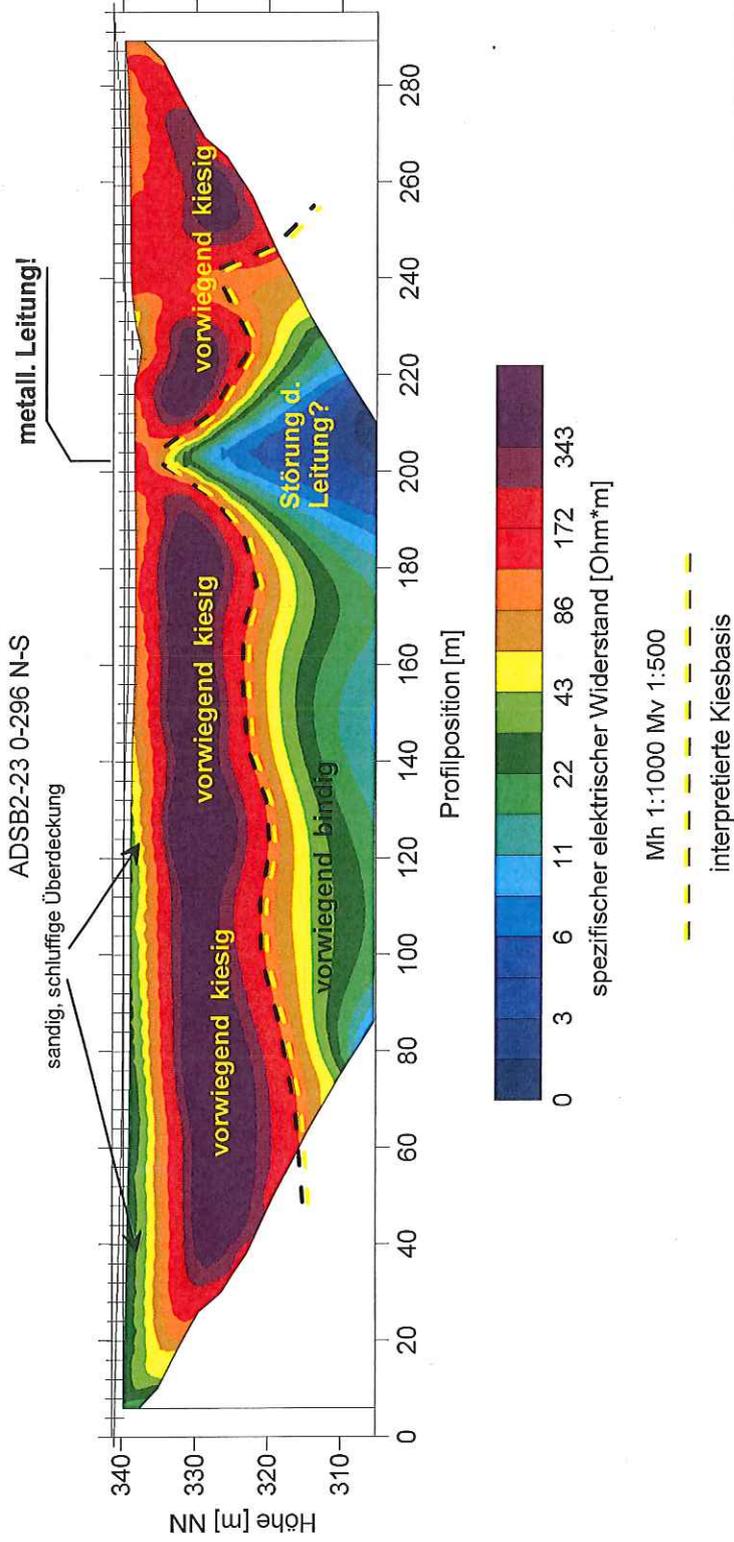
# ANLAGE 4 Geoelektrische Tomografie



Auftraggeber:	Autobahndirektion Südbayern Herr Dipl.-Geol. Peter Jordan Bodenprüfstelle Bergsonstr. 30 81245 München			
Projekt:	BV Bundesautobahn A 94 Maching Kirchham / Einhausung Tutting / Geophysikalische Erkundung Geoelektrische Tomografie			
Planbezeichnung:	Messprofil ADSB 2-1			
GEO  Lechrainstraße 64 86163 Augsburg Tel. 0821 8152441 Fax 0821 8152442	Maßstab:	1 : 1000/500	Auftrags.Nr.:	ADSB-12-11
	Datum:	15.12.2011	Anlage:	4
	LOG			



# ANLAGE 5 Geelektrische Tomografie



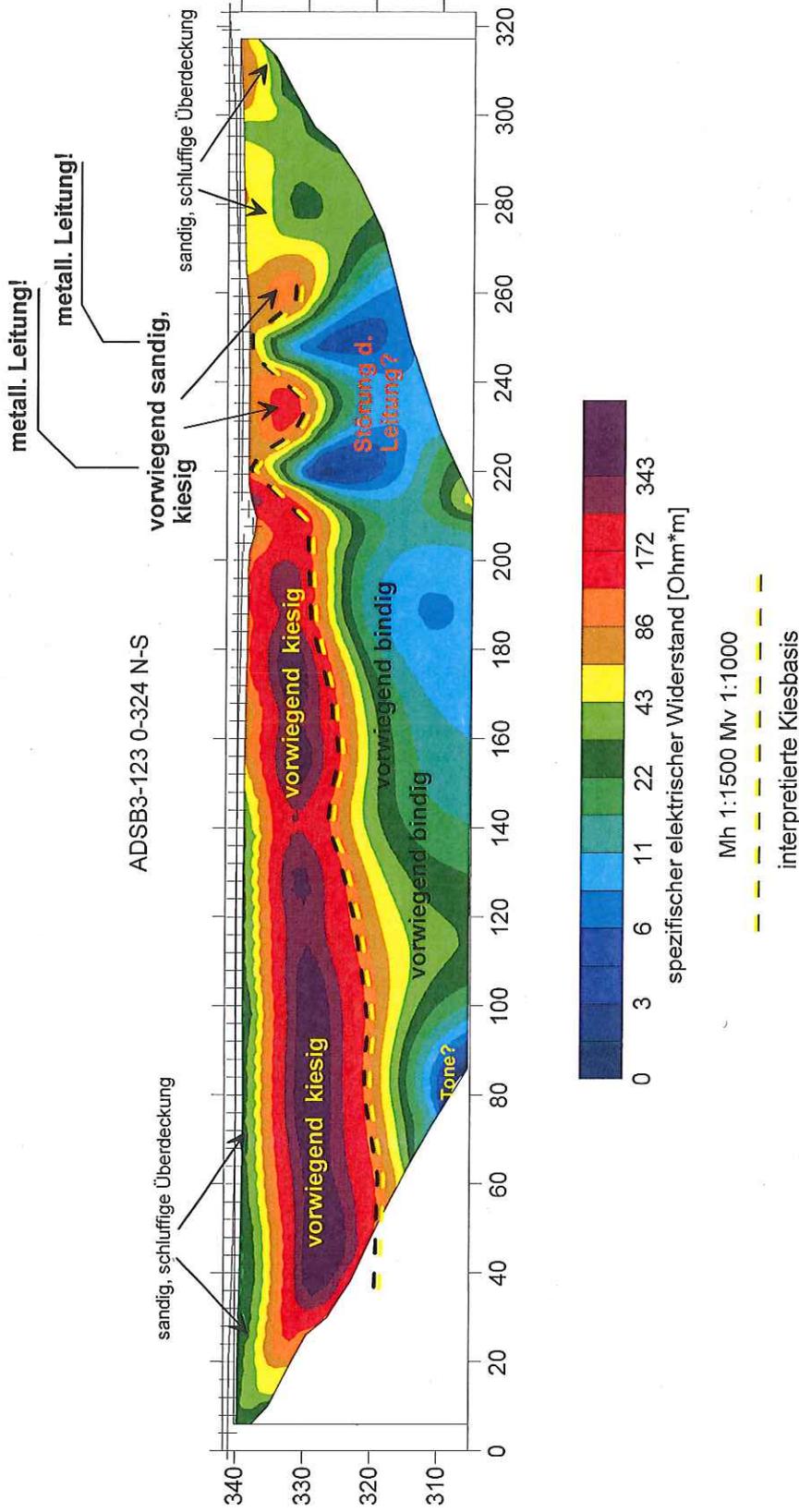
Auftraggeber:	Autobahndirektion Südbayern Herr Dipl.-Geol. Peter Jordan Bodenprüfstelle Bergsonstr. 30 81245 München	
Projekt:	BV Bundesautobahn A 94 Malching Kirchham / Einhausung Tutting / Geophysikalische Erkundung Geelektrische Tomografie	
Planbezeichnung:	Messprofil ADSB 2-23	
 LOG Lechrainstraße 64 86163 Augsburg Tel. 0821 8152441 Fax. 0821 8152442	Maßstab: 1 : 1500/1000	Auftrags-Nr.: ADSB-12-11
	Datum: 15.12.2011	Anlage: 5



LOG

Lechrainstraße 64 86163 Augsburg  
Tel. 0821 8152441 Fax. 0821 8152442

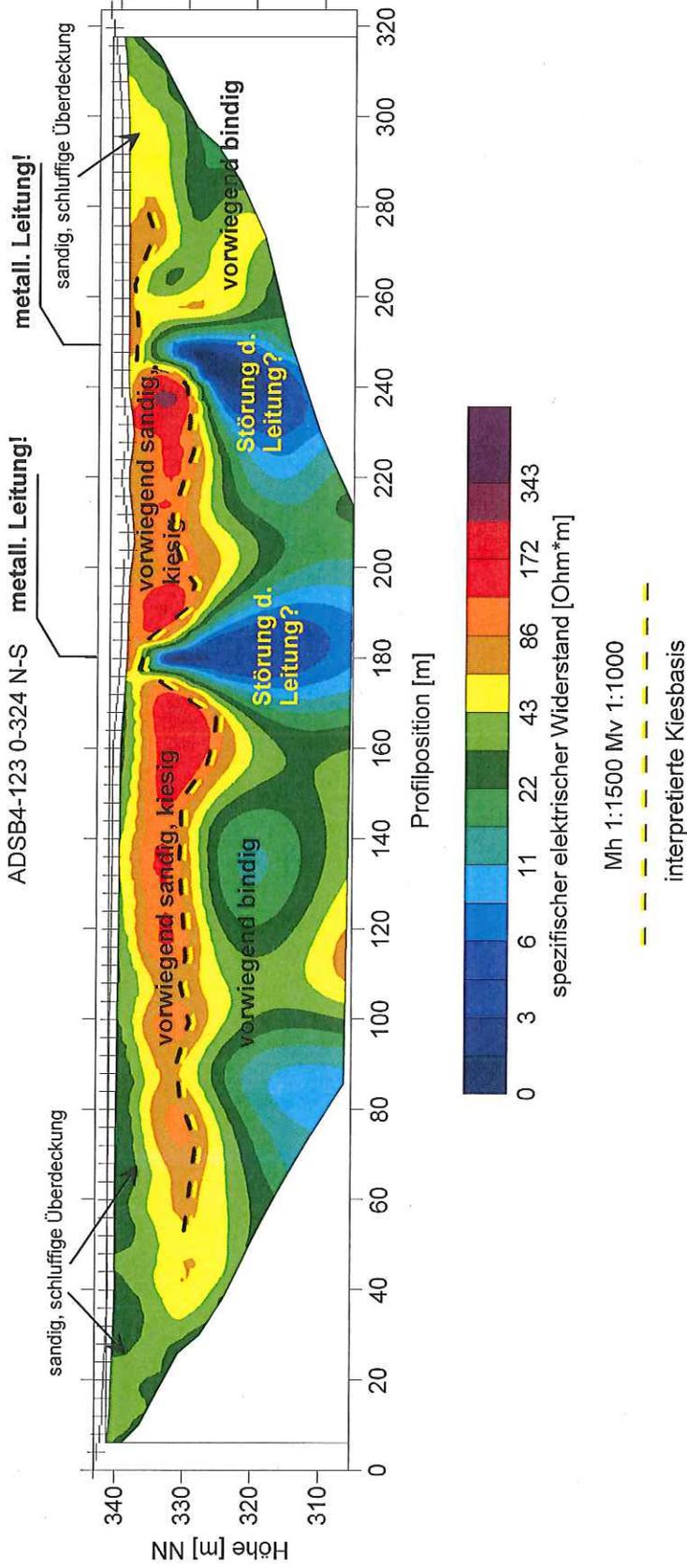
# ANLAGE 6 Geoelektrische Tomografie



Auftraggeber:	Autobahndirektion Südbayern Herr Dipl.-Geol. Peter Jordan Bodenprüfstelle Bergsonstr. 30 81245 München	
Projekt:	BV Bundesautobahn A 94 Malching Kirchham / Einhausung Tutting / Geophysikalische Erkundung Geoelektrische Tomografie	
Planbezeichnung:	Messprofil ADSB 3-123	
 LOG Lechrainstraße 64 86163 Augsburg Tel. 0821 8152441 Fax. 0821 8152442	Maßstab:	Auftrags.Nr.:
	1 : 1500/1000	ADSB-12-11
	Datum:	Anlage:
15.12.2011	6	



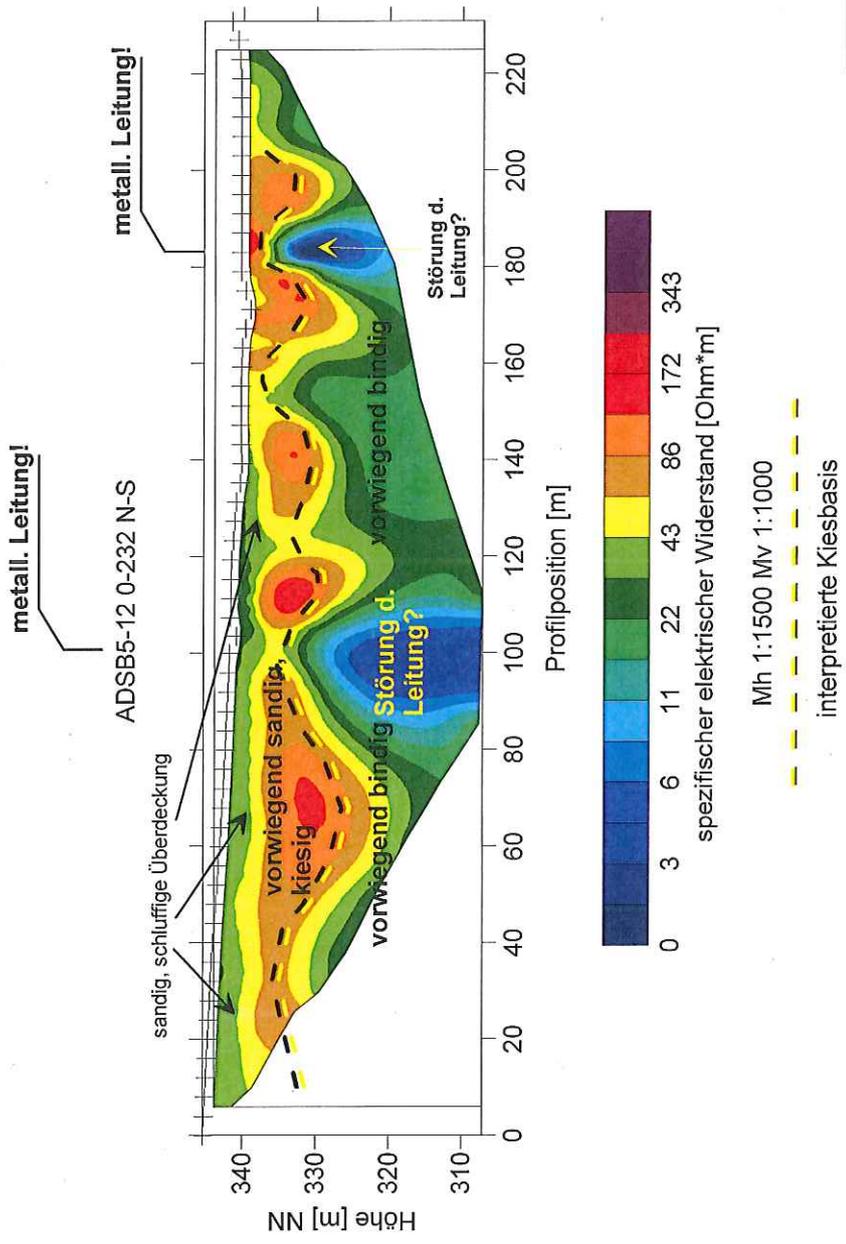
# ANLAGE 7 Geelektrische Tomografie



Auftraggeber:	Autobahndirektion Südbayern Herr Dipl.-Geol. Peter Jordan Bodenprüfstelle Bergsonstr. 30 81245 München		
Projekt:	BV Bundesautobahn A 94, Malching Kirchham / Einhausung Tutting / Geophysikalische Erkundung Geelektrische Tomografie		
Planbezeichnung:	Messprofil ADSB 4-123		
GEO Lechrainstraße 64 86163 Augsburg Tel. 0821 8152441 Fax 0821 8152442	LOG	Maßstab:	Auftrags.Nr.:
		1 : 1500/1000	ADSB-12-11
		Datum:	Anlage:
		15.12.2011	7



# ANLAGE 8 Geoelektrische Tomografie



Auftraggeber:	Autobahndirektion Südbayern Herr Dipl.-Geol. Peter Jordan Bodenprüfstelle Bergsonstr. 30 81245 München	
Projekt:	BV Bundesautobahn A 94 Malching Kirchham / Einhausung Tutting / Geophysikalische Erkundung Geoelektrische Tomografie	
Planbezeichnung:	Messprofil ADSB 5-12	
GEO 	Maßstab: 1 : 1500/1000	Auftrags.Nr.: ADSB-12-11
	LOG	Datum: 15.12.2011
	Lehrstr. 64 86163 Augsburg Tel. 0821 8152441 Fax. 0821 8152442	Anlage: 8

## Hochauflösende Geoelektrik Geoelektrische Tomografie

### 1. Allgemeines

Horizontal eben geschichtete geologische Strukturen treten nur in Ausnahmefällen auf. Meist liegen engräumig zwei- und dreidimensionale Strukturen im Untergrund bei geologischen sowie geotechnischen Problemen vor.

Bei Strukturen größerer Komplexität können einfache geoelektrische Sondierungen oder Kartierungen eine geologisch sinnvolle Interpretation oftmals nicht mehr gewährleisten. Die geringe Anzahl von Messpunkten und ein nur eindimensionales Widerstandsmodell kann die hohe Variabilität des Untergrundes nicht ausreichend genau beschreiben.

Als geoelektrische Tomografie (Earth Resistivity Tomography *ERT*) werden jene Gerätesysteme und Interpretationsverfahren bezeichnet, die aus einer großen Anzahl geoelektrischer Messungen fein diskretisierte Schnittbilder durch zwei- oder dreidimensionale unterirdische Leitfähigkeitsstrukturen erzeugen.

Basierend auf den bekannten physikalischen Grundlagen unterscheidet sich *ERT* von der konventionellen Geoelektrik durch die Verwendung sehr vieler Kombinationen von Sende- und Empfangspositionen sowie Multielektrodensystemen und mehrkanaligen Empfängern, die einen sehr hohen Messfortschritt ermöglichen.

Mit Kenntnis der Richtcharakteristik oder Parametersensitivität von Elektrodensystemen ist es möglich, Messanordnungen mit maximalem Informationsgewinn im Untersuchungsgebiet auszuwählen.

Durch neuartige Messtechnik und Inversionsstrategien werden alte Fehlerquellen der Interpretation wie z.B. das Äquivalenzprinzip zwar eingeschränkt, können aber nicht vollständig überwunden werden. Gleichzeitig entstehen neue Fehlerschwerpunkte, so dass auch die Interpretation geoelektrischer Tomogramme Erfahrung und geologische Kenntnis verlangt.

### 2. Multielektrodensysteme

Komplizierte Leitfähigkeitsverteilungen mit einer Vielzahl von Parametern können nur durch eine sehr große Zahl unterschiedlicher Vierpunktmessungen beschrieben werden. Eine Automatisierung der gesamten Feldtechnologie ist daher unabdingbar. Je nach Komplexität des Untersuchungsobjektes werden heute 100 bis 10.000 Messungen scheinbarer spezifischer Widerstände für ein Tomogramm benötigt. Sollen nichtstationäre Prozesse wie etwa das Ausbreitungsverhalten von Kontaminationen im Untergrund überwacht werden, müssen diese Messungen innerhalb eines Tages wiederholbar sein, so dass ein hoher Messfortschritt (ca. 200-1000 Messungen/h) nötig ist.

Ein ERT-System besteht aus einer variablen Konstantstromquelle, einem (mehrkanaligen) Spannungsmessgerät, einem rechnergesteuerten Multiplexer sowie einer oder mehreren vielphasigen Kabelauslagen (multi-core cable) mit einzelnen Abgriffen (take-outs) für Elektroden.

Jede einzelne Messung des scheinbaren spezifischen Widerstands wird vollständig durch die Lage des Speisedipols (Elektroden *A* und *B*) und des Spannungsdipols (*M* und *N*), sowie durch den eingespeisten Strom *I* und die gemessene Spannung *U* beschrieben. Unter Kenntnis der Sensitivitätsverteilung werden je nach Untersuchungsobjekt die Elektroden linienhaft, flächenhaft oder in Bohrlöchern plaziert. Eine Abfolge von verschiedenen Kombinationen von Speise- und Empfangsdipol (z.B. Wenner- oder Dipol-Dipol-Anordnung) wird als Datei im Steuerrechner abgelegt. Anschließend wird das Messprogramm sequentiell abgearbeitet. Dabei schaltet der Multiplexer jeweils zwei Abgriffe als Strom- und zwei als Spannungselektroden.

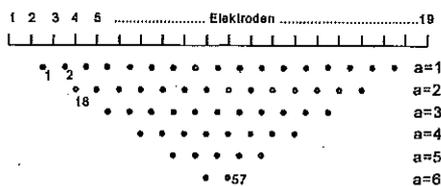
Als Speisesignal werden meist Rechtecksignale im Bereich von 5 mA bis 500 mA und einer Frequenz von 0.1 Hz bis 10 Hz verwendet. Die Amplitude des Empfangssignals (10 V bis 0.1 mV) wird vom Empfänger aufgenommen und über eine wählbare Anzahl von Perioden gestapelt, um das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern.

### 3. Pseudosektionen

Kartierende Sondierungen oder Mehrniveauekartierungen stellen die einfachste Form von Multi-Elektroden-Messungen und gewissermaßen die Vorstufe zu tomografischen Interpretationen dar. Durch die Kombination der beiden geoelektrischen Grundverfahren gewinnt man sowohl durch die Verschiebung einer konstanten Elektrodenkonfiguration auf einem Profil laterale Information, als auch durch die schrittweise Vergrößerung des Elektrodenabstandes Aussagen über verschiedene Tiefen. Nach der Form ihrer Darstellung nennt man diese Messungen auch Pseudosektionen und spezifiziert sie durch die Angabe des verwendeten Elektrodenchemas.

Abb. 1. oben zeigt die Schaltfolge einer Wenner- $\alpha$ -Pseudosektion. Zunächst werden Elektroden 1 und 4 als Stromsonden sowie Elektroden 2 und 3 als Potentialsonden geschaltet. Danach wird das Schema um je eine Position versetzt bis eine Stromsonde das Ende des Kabelbaumes erreicht hat. Anschließend wird durch Ansteuerung der Elektroden 1, 7, 3 und 5 die nächst größere Elektrodenauslage ( $a = AM = MN = NB = 2$ ) realisiert. Verschiebung und Aufweitung werden fortgesetzt bis alle möglichen Wenner- $\alpha$ -Konfigurationen gemessen wurden.

	A	M	N	B
1	1	2	3	4
2	2	3	4	5
.				
18	1	3	5	7
.				
57	2	8	14	20



**Abb. 1:** oben: Schaltfolge  
 unten: Zuordnungsschema für eine Wenner- $\alpha$ -Pseudosektion mit 20 Elektroden

Die gewonnenen Werte des scheinbaren spezifischen Widerstandes können grafisch als Isolienkarte dargestellt werden. Dabei wird der

Messwert in X-Richtung dem Mittelpunkt der Elektrodenauslage zugeordnet und als Y-Koordinate die Auslagenweite angegeben. Diese Pseudosektionsdarstellung ist eine sehr gute Möglichkeit, bereits im Feld während der Messung einen qualitativen Überblick über die Güte der Messwerte und der Widerstandsverhältnisse zu gewinnen.

Oft wird die Tiefenachse direkt in Längeneinheiten unter Verwendung einer mittleren Wirkungstiefe (engl. depth of investigation) skaliert. Für Wenner- $\alpha$ -Pseudosektionen wird diese oft mit  $0.5 \cdot a$  angegeben. Die Zuordnung eines geoelektrischen Messwertes zu einem Punkt ist jedoch nur eine Idealisierung. (Bei der Einführung des Konzeptes der Parametersensitivität wird deutlich, dass jede Messung entsprechend ihrer Richtcharakteristik einen integralen Wert für Bereiche des Untergrundes abbildet). Je nach Leitfähigkeitskontrasten im Boden kann es in Pseudosektionen zu starken Verzerrungen kommen, die zu Fehlinterpretationen führen, wenn man sie als Abbildung der geologischen Realität betrachtet. Der Name Pseudosektion deutet daher auch an, dass es sich nicht um eine wirkliche geologische Sektion, einen Schnitt durch eine Lagerungsfolge handelt, sondern nur um eine mehr oder weniger stark verzerrte Projektion der Realität.

Eine andere Pseudosektion wird durch eine Abfolge von Dipol-Dipol-Messungen realisiert, wobei man die Dipolweite  $a=AB=MN$  konstant belässt, und für verschiedene Dipolabstände  $n \cdot a=AM$  die Anordnung über das Profil verschiebt. Im allgemeinen unterscheiden sich Pseudosektionen verschiedener Anordnungen über dem gleichen Modell deutlich.

Im Gegensatz zu Pseudosektionen, die nur scheinbare spezifische Widerstände in willkürlich festgelegten Tiefen darstellen können, werden bei der geoelektrischen Tomografie Modelle der wahren spezifischen Widerstände in realen räumlichen Koordinaten aus den Messdaten gewonnen. Dazu werden umfangreiche 2-dimensionale Inversionsalgorithmen verwendet.