

## **ANHANG**

**Untersuchungsbericht über geophysikalische Erkundungen zum Projekt  
Wassererschließung AWA, Rothenfelder Forst**

**GEOLOG Fuß / Hepp GbR, Augsburg, 02.06.2016**

**UNTERSUCHUNGSBERICHT**  
*über*  
**geophysikalische Erkundungen zum Projekt**  
**Wassererschließung AWA-Andechs**  
**Rothenfelder Forst**

**Auftraggeber:**

AWA-Ammersee gKU  
Mitterweg 1  
82211 Herrsching  
Telefon:08152 918333  
info@awa-ammersee.de

über **BGU - Dr. Schott & Dr. Straub GbR**  
**Dr. Thomas Schott**  
**Glatzer Straße 5**  
**82319 Starnberg**

**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**

---

02. Juni 2016

## **INHALTSVERZEICHNIS**

1.	Vorbemerkung.....	3
2.	Die Geoelektrische Profilmessung und das daraus abgeleitete Modell der Tiefenverteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes .....	3
3.	Ergebnis.....	4

## **ANLAGEN**

- 1 Lageplan (Maßstab 1 : 10000) Profile G1, G2, G3
- 2 Schnittdarstellung der Ergebnisse des Geoelektrischen Tomografieprofils  
G1 W-E 0-680 m mit Interpretation (Maßstab h 1:2500 / v 1:1500), Farbkodierung  
logarithmisch einheitlich
- 3 Schnittdarstellung der Ergebnisse des Geoelektrischen Tomografieprofils  
G2 W-E 0-970 mit Interpretation (Maßstab h 1:2500 / v 1:1500), Farbkodierung  
logarithmisch einheitlich
- 4 Schnittdarstellung der Ergebnisse des Geoelektrischen Tomografieprofils  
G3 W-E 0-1540 mit Interpretation (Maßstab h 1:4000 / v 1:1500), Farbkodierung  
logarithmisch einheitlich

Verfahrensbeschreibung

## 1 Vorbemerkung

Zur geophysikalischen Erkundung des geologischen Schichtaufbaus zu BV AWA-Andechs wurden am 06.04. 2016 geoelektrische Profilmessungen einer Gesamtlänge von 3.190 m im Bereich Rothenfelder Forst durchgeführt.

Die Erkundung erfolgte mittels geoelektrischer Multielektrodenmessungen mit einer Erkundungstiefe von ca. 70 m unter GOK. Die Profillagen sowie die Messrichtungen sind dem Lageplan der Anlage 1 zu entnehmen.

Als Messkonfiguration wurden Wenner - 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 GeoTom RES/IP der Firma GEOLOG 2000 realisiert. Insgesamt wurden die Elektroden mit einem jeweiligen Abstand von 4,0 m bis 8,0 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 GTV30-5 unter WIN7. 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. Die aufbereiteten Daten wurden mit Algorithmen für 2-dimensionale Untergrundstrukturen (Vorwärts- und Inversionsverfahren) interpretiert. Eine Topographiekorrektur der Messdaten erfolgte anhand bauseits gelieferter Höhenquoten.

Die daraus berechneten Schichtmodelle der elektrischen Widerstandstiefenverteilung wurden als interpolierte Schnittbilder mit Farbkodierung für die spezifischen elektrischen Widerstände ( $\text{Ohm}\cdot\text{m}$ ) in den Anlagen 2, 3 und 4 dargestellt. Die

Untersuchungstiefe beträgt bei den gewählten Elektrodenauslagen und Messstufen ca. 70 m u.GOK.

Entsprechend der lokalen geologischen Verhältnisse und der 2-dimensionalen Verteilung der spezifischen elektrischen Widerstände aus der Inversionsberechnung wurden geologische Einteilungen des farbkodierten Profilschnitts als Ergebnisdarstellung vorgenommen (vgl. Anlage 2, 3 und 4).

Dabei sind ohne zusätzliche Informationen aus z.B. Aufschlussbohrungen über Schichttiefen bzw. Schichtmächtigkeiten die absoluten Teufen weniger gut zu bestimmen als die relativen Änderungen der Schichtgrenzverläufe. Zur Interpretation wurden zusätzlich die Ergebnisse verfügbarer Bohraufschlüsse in unterschiedlichen Entfernungen der Profilmessungen herangezogen. Entsprechende Angaben sind in den Profilschnitten notiert.

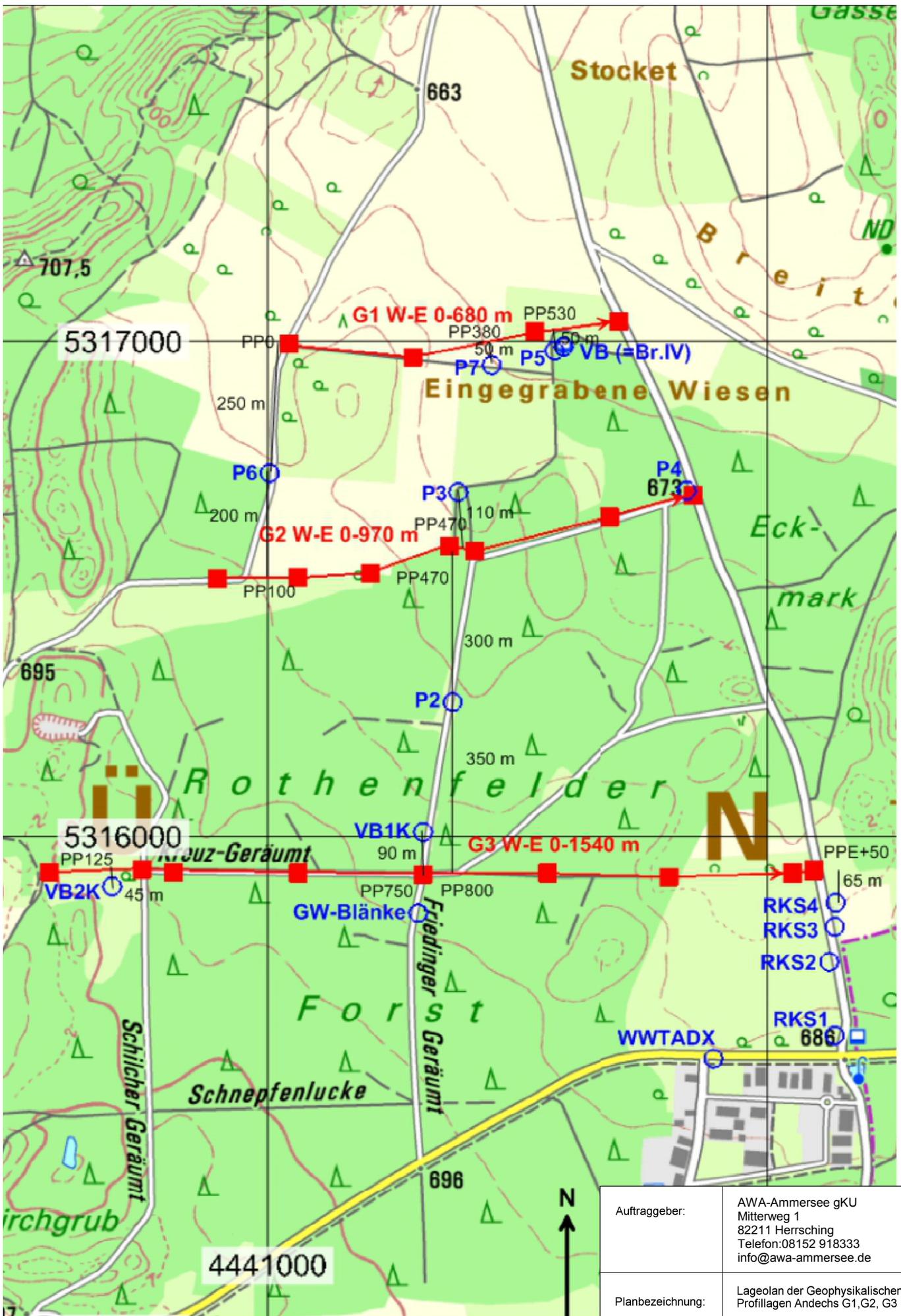
### **3 Ergebnis**

In den Schnittdarstellungen der Anlagen 2, 3 und 4 sind die, aus der Widerstandstiefenverteilung der geoelektrischen Messung interpretierten, Bereiche unterschiedlicher Materialzusammensetzung dargestellt. Die elektrisch schlechterleitfähigen, kiesig, sandigen Bereiche bzw. die vorwiegend kiesigen Bereiche mit Nagelfluhlagen lassen sich gut von den elektrisch besserleitfähigen, vorwiegend bindigeren Schichten unterscheiden.

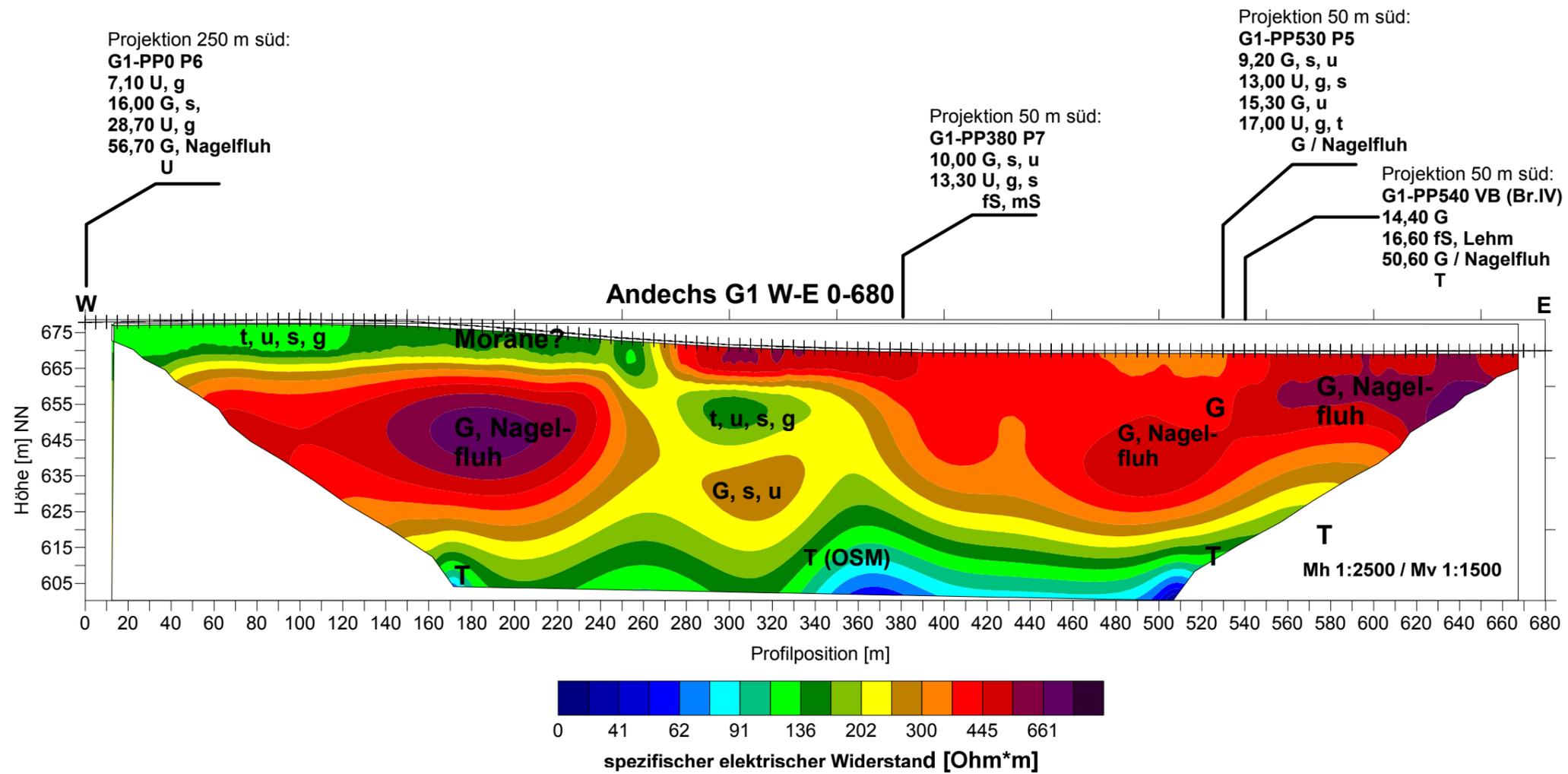
Augsburg, den 02.06. 2016

Christian Fuß (Dipl. Geophys.)





Auftraggeber:	AWA-Ammersee gKU Mitterweg 1 82211 Herrsching Telefon: 08152 918333 info@awa-ammersee.de	
Planbezeichnung:	Lageplan der Geophysikalischen Profillagen Andechs G1, G2, G3	
GEO  Lechrainstraße 64 86163 Augsburg Tel. 0821/8152441	Maßstab 1 : 10000	Auftrags.Nr.: 290116 Andechs
	Datum: 12.04. 2016	Anlage: 1 Lageplan



Auftraggeber:	AWA-Ammersee gKU Mitterweg 1 82211 Herrsching Telefon:08152 918333 info@awa-ammersee.de	
Planbezeichnung:	Ergebnis des Geophysikalischen Profils Andechs G1 W-E 0-680	
 <small>Lechrainstraße 64 86163 Augsburg Tel. 0821/8152441 Fax. 0821/8152442</small>	Maßstab 1 : 2500 / 1500	Auftrags.Nr.: 290116 Andechs
	Datum: 12.04. 2016	Anlage: 2 Profillage G1 W-E

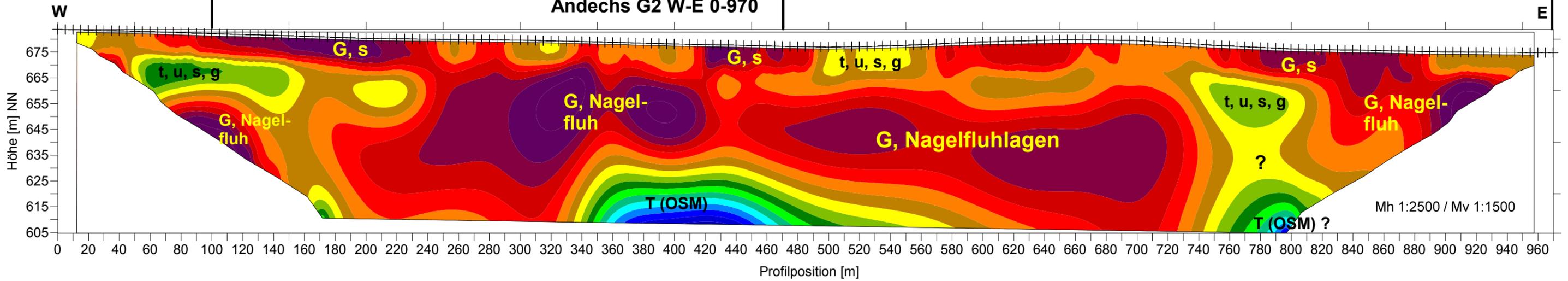
Projektion 200 m nord:  
**G2-PP100 P6**  
 7,10 U, g  
 16,00 G, s,  
 28,70 U, g  
 56,70 G, Nagelfluh  
 U

Projektion 300 m süd:  
**G2-PP470 P2**  
 22,80 S, u, g  
 36,40 G, s / Nagelfluh  
 40,50 S, u  
 56,20 G, s / Nagelfluh  
 T

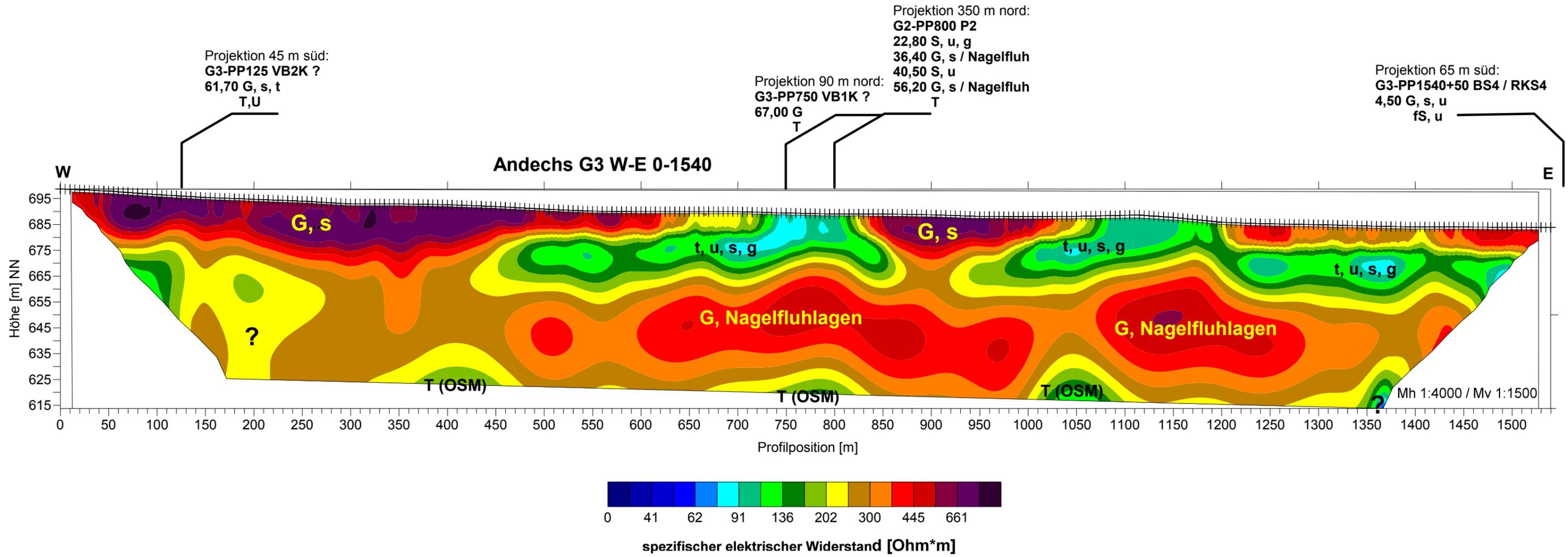
Projektion 110 m nord:  
**G2-PP470 P3**  
 16,60 G / Nagelfluh  
 17,60 U, g, s  
 G / Nagelfluh

**G2-PP970 P4**  
 7,20 G, s  
 12,30 S, U  
 25,00 G, u  
 30,50 U, g, s  
 36,70 G, u, s / Nagelfluh

**Andechs G2 W-E 0-970**



Auftraggeber:	AWA-Ammersee gKU Mitterweg 1 82211 Herrsching Telefon:08152 918333 info@awa-ammersee.de	
Planbezeichnung:	Ergebnis des Geophysikalischen Profils Andechs G2 W-E 0-970	
 <small>Lechrainstraße 64 86163 Augsburg Tel. 0821/8152441 Fax. 0821/8152442</small>	Maßstab 1 : 2500 / 1500	Auftrags.Nr.: 290116 Andechs
	Datum: 12.04. 2016	Anlage: 3 Profillage G2 W-E



Auftraggeber:	AWA-Ammersee gKU Mitterweg 1 82211 Herrsching Telefon:08152 918333 info@awa-ammersee.de	
Planbezeichnung:	Ergebnis des Geophysikalischen Profils Andechs G3 W-E 0-1540	
 <small>Lechrainstraße 64 86163 Augsburg Tel. 0821/8152441 Fax. 0821/8152442</small>	Maßstab 1 : 4000 / 1500	Auftrags.Nr.: 290116 Andechs
	Datum: 12.04. 2016	Anlage: 4 Profillage G3 W-E

## 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 Sendee- 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.

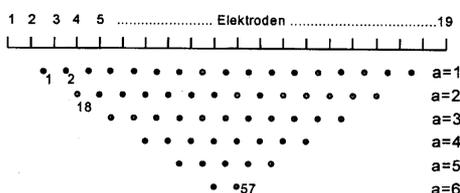
Als Speisesignal werden meist Rechtecksignale im Bereich von 5 mA bis 500 mA und einer Frequenz von 0.1 Hz bis 10 Hz verwendet. Die Amplitude des Empfangssignals (10 V bis 0.1 mV) wird vom Empfänger aufgenommen und über eine wählbare Anzahl von Perioden gestapelt, um das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern.

### 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 Elektrodenschemas.

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	1	7	13	19



**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  $0.5 a$  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  $n a=AM$  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.