

HYDROGEOLOGISCHE BEWERTUNG

der geoelektrische Profilmessungen
im Rothenfelder Forst

GW-Einzugsgebiet des Brunnen IV Andechs

Wassergewinnung Vierseenland
Mitterweg 3
82211 Herrsching

erstellt im Juni 2016 durch

B	Büro für
G	Geotechnik und
U	Umweltfragen

Dr. Schott &
Dr. Straub
GbR

- **Beratung**
- **Gutachten**
- **Planung**
- **Sanierung**

**Ingenieurbüro und Sachverständige für
Angewandte Geologie / Hydrogeologie**

Glatzer Straße 5, 82319 Starnberg

Tel.: 08151-6805, Fax: 08151-21845

e-mail: BGU-Sta@t-online.de
Internet: www.bgu-schott.de

Geelektrische Profilmessungen

INHALTSVERZEICHNIS

1	<u>VORGANG</u>	3
1.1	VERANLASSUNG, FRAGESTELLUNGEN	3
1.2	VORANGEGANGENE UNTERSUCHUNGEN, VERWENDETE UNTERLAGEN	4
2	<u>BESCHREIBUNG DER MESSUNGEN</u>	5
3	<u>ERGEBNISSE DER MESSUNGEN</u>	6
4	<u>AUSWERTUNG DER MESSERGESBNISSE</u>	12

VERZEICHNIS DER ANLAGEN:

- 1) Lageplan auf topographischer Karte 1:10.000;
 - 2a-c) Geoelektrik - Profilschnitte G1, G2 und G3: Schichtenprofile und hydrogeologische Interpretation;
 - 3) Geologische Karte 1:10.000;
-

ANHANG:

Untersuchungsbericht über geophysikalische Erkundungen zum Projekt Wassererschließung AWA, Rothenfelder Forst.- GEOLOG Fuß / Hepp GbR, Augsburg, 02.06.2016

1 VORGANG

1.1 VERANLASSUNG, FRAGESTELLUNGEN

Im Rahmen der anstehenden Überarbeitung des Wasserschutzgebietes für den Brunnen IV Andechs der Wassergewinnung Vierseenland, Herrsching, erfolgten im April 2016 durch die Fa. GEOLOG, Augsburg/Starnberg, im Auftrag des Wasserversorgers geophysikalische Untersuchungen ("goelektrische Tomografie") im Rothenfelder Forst südlich des Brunnens.

Das Ziel dieser Untersuchungen war es, weitere, über die Ergebnisse der vorhandenen Bohrungen hinausgehende Erkenntnisse zum geologischen Aufbau des Untergrundes zu gewinnen.

Gegenüber den nur punktuellen Aufschlussdaten aus den Bohrungen lassen sich mithilfe der Schnittbilder aus der goelektrischen Tomografie 2- und mittels Extrapolation auch 3-dimensionale Darstellungen der unterirdischen Leitfähigkeitsstrukturen erzeugen. Diese können wiederum, wie im vorliegenden Fall anhand von existenten Bohrprofilen auf die örtlichen Verhältnisse geeicht und damit auch geologisch aussagekräftig interpretiert werden.

Von besonderem Interesse waren dabei Vorkommen und Mächtigkeit der bindigen Zwischenschicht (GW-Stauer) als Trennschicht zwischen dem hangenden GW-Leiter und dem tiefer liegenden Haupt-GW-Leiter in den Deckenschottern. Ebenfalls sollten Aussagen zur Höhenlage der Oberfläche dieser Zwischenschicht und dem eventuellen Vorhandensein von potentiell vorhandenen, schotterführenden Abflussrinnen auf dieser Schicht gewonnen werden. Letztlich sollte auch versucht werden, die Verbreitung der Deckenschotter und die Tiefenlage von deren GW-Stauer (= Tertiär) zu klären.

Der Auftrag an die Fa. GEOLOG wurde mit Schreiben vom 29.1.2016 erteilt.

Deren Untersuchungsbericht wurde am 2.6.2016 vorgelegt (s. \g1\, Kap.1.2) und liegt im Anhang bei.

Die vorliegende fachliche Bewertung des Unterzeichners fasst die Ergebnisse der Goelektrik-Messprofile zusammen und interpretiert diese hinsichtlich ihrer geologischen und hydrogeologischen Relevanz.

Geoelektrische Profilmessungen

1.2 VORANGEGANGENE UNTERSUCHUNGEN, VERWENDETE UNTERLAGEN**Geologische Gutachten, Veröffentlichungen etc.**

Die verwendeten Unterlagen zu den Nummern \1\ - \23\ werden in \24\ angeführt.

- \24\ Zwischenbericht zur Überprüfung des Grundwasser-Einzugsgebietes für den Brunnen IV Andechs, ZV Großräumige Wasserversorgung Landkreis Starnberg.- BGU - Dr.Schott & Dr.Straub GbR, Starnberg, 29.5.2012 (Az.Nr. BGU-ZWSR02-05/12);
- \25\ 2. Zwischenbericht zu den weiteren Arbeiten 2012/13 für den Brunnen IV Andechs (Verfüllung Versuchsbohrung VB, Errichtung GW-Meßstelle P5, Wasseranalysen, Messung von GW-Spiegeln), ZV Großräumige Wasserversorgung Landkreis Starnberg.- BGU - Dr.Schott & Dr.Straub GbR, Starnberg, 15.3.2013 (Az.Nr. BGU-ZWSR03-03/13);
- \26\ 3. Zwischenbericht zu den laufenden Untersuchungen für den Brunnen IV Andechs (Errichtung GW-Meßstellen P6 und P7, Wasseranalysen, Messung von GW-Spiegeln), ZV Großräumige Wasserversorgung Landkreis Starnberg.- BGU - Dr.Schott & Dr.Straub GbR, Starnberg, 31.7.2013 (Az.Nr. BGU-ZWSR04-07/13);
- \g1\ Untersuchungsbericht über geophysikalische Erkundungen zum Projekt Wassererschließung Andechs, Rothenfelder Forst .- GEOLOG Fuß / Hepp GbR, Augsburg, 02.06.201.2016 (s. Anhang);

Kartenmaterial, Angaben zu Bohrungen etc.:

- \k1\ TK25 - Topogr. Karte 1:25.000, 7933 Weßling und 8033 Tutzing.- Bayer. Landesvermessungsamt, München;
- \k2\ Digit. Top. Karte 1:25.000 v. Bayern.- Landesamt f. Vermessung und Geoinformation Bayern, 2013;
- \k3\ HFK - Höhenflurkarten 1:5.000, Blatt SW 9-12, 9-13, 8-12, 8-13, 7-12, 7-13.- Bayer. Landesvermessungsamt (erh. über Gde. Andechs);
- \k4\ Geognostische Karte von Bayern 1:100.000 - Teilblatt 1:25.000, 734 Herrsching.- Knauer (1929/31), Bayer. Geol. Landesamt, München (LfU);
- \k5\ GK200 - Geol. Karte 1:200.000, Blatt 8726 Kempten.- Bayer. Geol. Landesamt München (LfU);
- \k6\ GK25 - Geol. Karte 1:25.000, Blatt Herrsching (JERZ, 1993); aus MEYER & SCHMIDT-KALER, 1997;
- \k7\ BK50 - Standortkundl. Bodenkarte 1:50.000, Blatt L 8132 Weilheim i.OB.- Bayer. Geol. Landesamt München (LfU).

2 BESCHREIBUNG DER MESSUNGEN

Die Festlegung der Messprofile erfolgte durch den Unterzeichner in Absprache mit dem Auftraggeber.

Der Verlauf der Messprofile wird in Anlage 1 gezeigt. Es wurden insgesamt 3 West/Ost-verlaufende Profilstrecken mit einer Gesamtlänge von 3.200 m gemessen. Sie werden von Norden nach Süden mit G1 (L = 680 m), G2 (L = 970 m) und G3 (L = 1.540 m) bezeichnet.

Der Profilverlauf orientierte sich an den vorhandenen Forstwegen und der bereits aus früheren Messungen bekannten Fließrichtung des Grundwassers (**GW**). Messungen in dichter Bewaldung sind aus logistischen Gründen (Transport der Messausrüstung und Verortung der Messpunkte) praktisch kaum durchführbar.

Wie dem Untersuchungsbericht der Fa. GEOLOG im Anhang zu entnehmen ist, erfolgten die geoelektrischen Messungen als tomografisches Verfahren mit Wenner-Anordnung. Das Mess- und Auswerteverfahren wird in \g1\ (s.d. Anlage "Verfahrensbeschreibung" und Punkt 2) näher erläutert.

Die Messkampagne fand Anfang April 2016 statt, der Bericht wurde am 2.6.2016 vorgelegt. Die Eindring- bzw. Messtiefen betragen dabei in Abhängigkeit von der prognostizierten Tiefe des Haupt-GW-Stauers (**StOK**: = Tertiär, Ob. Süßwassermolasse / OSM) bis zu 70 m. Hinweise auf störende, stromleitende Leitungen liegen nicht vor.

Zur Anpassung der Messprofile an die Topographie erfolgte zum einen eine Höhenkorrektur der Messdaten entsprechend der NN-Höhe der Geländeoberkante (**GOK**). Hierzu wurden durch BGU entlang der Meßstrecken die Geländehöhen aus der Digitalen Topographischen Karte 1:25.000 (= \k2\) entnommen und an GEOLOG übermittelt.

Zum anderen wurden die geologische Schichtenbeschreibungen der vorhandenen Bohrungen (s. \24\ - \26\) zur Eichung der Messungen und damit einer Optimierung der Profildarstellung verwendet.

3 ERGEBNISSE DER MESSUNGEN

Aus den elektrischen Widerstands-Tiefenverteilungen wurden durch GEOLOG Schichtmodelle berechnet und als interpolierte Schnittbilder mit Farbkodierung für die spezifischen elektrischen Widerstände (ρ , in Ωm) in den Anlagen 2-4 zu \g1\ dargestellt (s.a. Anhang).

Anhand der ausgeführten Nacheichung mittels der Schichtenprofile der Bohrungen wurde versucht, eine optimale Anpassung der Widerstands-Tiefenverteilung an die realen Verhältnisse zu erzielen.

In den in \g1\ vorliegenden Profildarstellungen lassen sich im wesentlichen gut stromleitende, vorwiegend bindige, schluffig-tonige Ablagerungen (d.h. mit geringen spez. Widerständen: $\rho = 0\text{-}200 \Omega\text{m}$; blau-grün-gelbe Farbkodierung) von schlecht leitfähigen, vorwiegend kiesig-sandigen Schichten (orange, rote und rotbraune Farben, $\rho = 200\text{-}700 \Omega\text{m}$) unterscheiden.

In den Anlagen 2a-c dieses Auswertebereiches wird die geologisch-hydrogeologische Interpretation der West/Ost-Messprofile aus dem Untersuchungsbericht GEOLOG von Norden nach Süden dargestellt. Die Schnittverläufe werden in Anlage 1 gezeigt.

Entsprechend der Widerstands-Tiefenverteilung und dem aus den Eichbohrungen bekannten geologischen Aufbau des Untergrundes wurde in den farbkodierten Profilschnitten eine interpretative geologische Zuordnung der Schichtverläufe als Ergebnisdarstellung vorgenommen. Die Profile der Eichbohrungen sind in den in den Schnitten ebenfalls dargestellt. Dabei wurden die Schichtenprofile von Bohrungen, die nicht direkt auf den Profilstrecken liegen, in die jeweilige Darstellungsebene projiziert.

Die geoelektrischen Messungen lassen zwar keine direkten Aussagen zu einer Wasserführung des Untergrundes zu. Die GW-Spiegel des hangenden und des Haupt-GW-Leiters wurden jedoch - soweit aus vorliegenden Bohrungen bekannt - in die Schnittdarstellungen eingearbeitet.

Anlage 2a: Profilschnitt G1 - Nord (s. Anl. 2 in \g1\):

Der 680 m lange Profilschnitt verläuft ausgehend von dem Feldweg zwischen Erling und der Kiesgrube Frieding in östlicher Richtung über unbewaldete Flächen bis zur Straße Rothenfeld-Frieding. Im westlichen Drittel (bindige Moräne: grün, "t,u,s,g") liegt er auf einer Geländehöhe von fast 680 mNN und fällt zur Profilmitte hin bis zum östlichen Ende auf 670 mNN ab (Schotterflur: rot, "G, Nagelfluh").

Geelektrische Profilmessungen

Zur Profileichung wurden die Bohrungen GW-Meßstelle P6 (West-Ende, 250 m südl., 59 m tief), GW-Meßstelle P7 (Profilmitte, 50 m südl., 16 m tief), GW-Meßstelle P5 (nahe des Brunnens, 50 m südl., 19 m tief) sowie das Bohrprofil des Brunnens Br.IV (Profilmeter 0+540: 50 m südl., 56 m tief) verwendet.

Das Messergebnis zeigt im **westlichen Profilabschnitt** einen relativ klaren Aufbau: Unter einer rund 10 m mächtigen Moränenauflage (grün: 100-150 Ω m) folgt ein bis zu 50 m mächtiger Schotterkörper (rot/rotbraun: 300-700 Ω m), der hier als Kies (G) mit Nagelfluh auftritt. Hierbei handelt es sich um den Deckenschotter, der ab ca. 49 m u.GOK (= 631 mNN) Grundwasser führt. Der Deckenschotter stellt den Haupt-GW-Leiter (= Haupt-Aquifer) dar, aus dem auch der Br. IV sein Wasser entnimmt. Der GW-Stauer wird hier von Tertiär (OSM) mit geringen el. Widerständen gebildet (grün bis blau: < 150 Ω m) und liegt in einer Tiefe von 60-70 m (610-620 mNN).

Nach Osten hin in der **Profilmitte** etwa zwischen Profilmeter 0+250 und 0+380 findet ein Übergang der Deckenschotter zu einem Bereich mit deutlich geringeren Widerständen (braun, gelb, hellgrün: 300-150 Ω m) statt. Da hier keine Bohrergebnisse vorhanden sind, ist derzeit nicht sicher geklärt, wodurch dieser Wechsel stattfindet. Möglicherweise handelt es sich um den nördlichen Ausläufer eines Hochbereiches mit gering wasserleitenden bzw. wasserstauenden Schichten (s.u.: zu Profil G2).

Ab Profilmeter 0+380 **nach Osten** treten von der OK Gelände bis zur OK Tertiär im wesentlichen nur Kiese auf (rot). In dieser Schotterflur des Bereichs "Eingegrabene Wiesen" sind an der Geländeoberfläche keine bindigen Deckschichten über dem Schotterkomplex erkennbar. Die oberflächennahen Würm-Schotter gehen bei rund 15 m u.GOK (= 655 mNN) in die darunter liegenden Deckenschotter über, die wiederum bei ca. 50 m u.GOK (= 620 mNN) durch die OSM als GW-Stauer begrenzt werden. Der GW-Spiegel am Br. IV liegt um 630 mNN bzw. 40 m u.GOK

Aus den Bohrungen Br.IV, P5 und P7 ist zwar bekannt, dass hier im tieferen Teil der Würm-Schotter bzw. an deren Basis stärker bindige Schichten (Schluff, kiesig bis Kies, schluffig) sowie über den Deckenschottern häufig auch eine Verwitterungslehm-Auflage vorhanden sind. Diese wasserstauend wirkende Zwischenschicht (s. Anl. 2a: an P5 und P7 hangender GW-Spiegel um 660 mNN) weist jedoch hier nur vergleichsweise Mächtigkeiten von wenigen Metern (< 5 m) auf und wird mit den geelektrischen Messungen offensichtlich nicht mehr aufgelöst. Es ist anzunehmen, dass die Zwischenschicht lokal auch geringere Schichtstärken aufweist bzw. ganz auskeilen kann (hydraulisches Fenster).

Geoelektrische Profilmessungen

Ingesamt betrachtet, zeigt der Profilschnitt G1 somit möglicherweise eine Zweiteilung des Deckenschotter-Aquifers in eine westliche und östliche Rinne, wobei in der östlichen Rinne, in der auch der Brunnen IV sitzt, nur geringe Deck- und Zwischenschichten über dem Haupt-Aquifer der Deckenschotter ausgebildet sind.

Anlage 2b: Profilschnitt G2 - Mitte (s. Anl. 3 in \g1\):

Die 970 m lange Meßstrecke wurde 400-500 m südlich des Profils G1 parallel zu diesem gelegt. Die westliche Hälfte verläuft über Grünland, die östliche Hälfte ab dem "Friedinger Geräum" entlang eines Forstweges durch den Wald. Die Meßstrecke endet im Osten an der Straße Rothenfeld-Frieding.

Die Geländehöhe am westlichen Ausgangspunkt liegt auf 684 mNN. Ab hier fällt die GOK bis zur Profilmitte um 7 m auf 677 mNN ein. Im Anschluss quert die Meßstrecke eine leichte Erhebung deren Maximum mit 680 mNN bei Profilmeter 0+660 liegt. Ab hier bis zur Straße fällt das Gelände wiederum auf 675 mNN ein.

Die Profileichung erfolgte anhand der Bohrungen GW-Meßstelle P6 (West-Ende, 200 m nördl., 59 m tief), GW-Meßstelle P2 (Profilmitte, 300 m südl., 61 m tief), GW-Meßstelle P3 (Profilmitte, 110 m nördl., 18 m tief) und der GW-Meßstelle P4 an der Friedinger Straße (37 m tief).

Die geoelektrische Tomografie ergibt folgendes Bild:

Oberflächennah können anhand der hier roten bis rotbraunen Farben (spez. el. Widerstand: 500-700 Ω m) **3 Schotter-Rinnen (Würm-Schotter)** unterschieden werden. Aufgrund der geomorphologischen Voraussetzungen (Gelände fällt großräumig nach Norden ein), ist davon auszugehen, dass diese Rinnen ebenfalls grob in Süd/Nord-Richtung verlaufen.

Die östliche Rinne quert an Profilmeter 0+100-240, eine schmalere mittlere Rinne an 0+400-520 m und eine weitere, westliche Rinne bei 0+740-880 m. Diese Schotter-Rinnen sind mit Tiefenangaben um 10-12 m relativ flach und erreichen im Rinnentiefsten Höhen von 665-670 mNN.

Die Bereiche zwischen den Schotter-Rinnen und deren Liegendes weisen mit 200-350 Ω m (gelb-hellbraun-orange Farbkodierung) geringere Widerstände und damit höhere Anteile an bindigem Material (Moräne, Geschiebelehm) auf. Sie wirken als GW-Stauer bzw. -Geringleiter, wie z.B. der in Meßstelle P3 in einer Grobschotter/Nagelfluh-Lage angetroffene, hangende GW-Spiegel bei ca. 8 m u.GOK (= 667 mNN) erkennen lässt.

Geelektrische Profilmessungen

Es fällt auf, dass diese bindigeren Schichten sich in der Profildarstellung der Geoelektrik mit Ausnahme des östlichen Profildendes fast über die gesamte Profillänge verfolgen lassen. Dies legt den Schluss nahe, dass die diese geringer wasserdurchlässige bzw. stauende Zwischenschicht (vermutl. Moräne) hier weitgehend flächig verbreitet ist.

In den **tieferen Profilbereichen** ist nahezu über die gesamte Profilbreite der Deckenschotter verbreitet. Er weist hier anhand der roten/rotbraunen Färbung Widerstandswerte von 400-700 Ωm auf und reicht bis in Tiefen von 605-610 mNN (bzw. 70-75 m u.GOK). Der GW-Stauer wird hier von der OSM (Widerstände $<150 \Omega\text{m}$) gebildet.

In Verbindung mit den vorliegenden Bohrerergebnissen deutet sich an, dass die StOK eine deutliche Morphologie besitzt. So ist an Bohrung P2 eine Stauer-Hochlage bei 626,5 mNN belegt. Da der GW-Spiegel hier knapp unter 630 mNN liegt, ist die GW-Mächtigkeit mit nur ca. 3-3,5 m gering. Möglicherweise steigt der GW-Stauer hier auch über den GW-Spiegel an, so dass hier ein GW-freier Hochbereich bzw. eine Schwelle vorhanden sein könnte (vgl. Anl. 6a+b in \24\ und Abb.9 in \12\), die den Deckenschotter-Aquifer hier in 2 Teilsysteme trennt.

Erwähnenswert ist auch, dass im östlichen Teil der Profildarstellung bei Profilmeter 0+740-820 ein Bereich mit geringeren Widerständen um 150-250 Ωm vorhanden ist. Dieser kann derzeit nicht näher eingeordnet werden (evtl. Altmoräne ?). Da der GW-Spiegel an Meßstelle P1 mit 627 mNN (s. Anl1; in Anl.2b rechts außerhalb bzw. östlich der Darstellung) im gleichen Niveau liegt, wie die übrigen GW-Stände im Deckenschotter, wird vermutet, dass der Deckenschotter hier durchgängig ist, aber möglicherweise lokal ausdünn. Möglicherweise ist jedoch auch eine (GW-freie ?) Schwelle in der StOK ausgebildet.

Anlage 2c: Profilschnitt G3 - Süd (s. Anl. 4 in \g1\):

Der 1.540 m lange Tomografie-Schnitt G3 verläuft 1 km des Brunnens und 600-800 m südlich von Schnitt G2. Er weist praktisch ein durchgehendes, leichtes Geländegefälle von Westen (700 mNN) nach Osten bis zur Straße Rothenfeld-Frieding (684 mNN) auf. Die Meßstrecke verläuft fast ausschließlich im Wald entlang von Forstwegen, nur am östlichen Ende wird auf den letzten 250 m eine Wiese gequert.

An der Profilstrecke sind drei tiefere Bohrungen zur Eichung vorhanden. Die beiden ältesten Versuchsbohrungen VB1K und VB2K wurden nach den vorliegenden Erkenntnissen 1972 durch das Kloster Andechs niedergebracht und wieder verfüllt. Die in \9\ (s.d. Anh.3) dargestellten Schichtenprofile der Bohrungen sind allerdings wenig aussagekräftig hinsichtlich der geologi-

Geoelektrische Profilmessungen

schen Beschreibung. Es wird vermutet, dass diese Bohrungen als Spülbohrungen niedergebracht worden sind und dass dadurch bedingt deren Schichtenbeschreibung relativ undifferenziert ausgefallen ist. Zu GW-Ständen werden hier keine weiteren Angaben gemacht. Allerdings sind wiederum in \12\ (s.d. Abb.7 und Tab.6) GW-Stände und eine deutlich unterschiedliche Geologie an VB1K und VB2K angegeben (?). Die hier angegebenen Wasserstände wurden in das Profil der Anlage 2c übernommen.

Wie auch im nördlich anschließenden Schnitt G2 lassen sich deutlich oberflächennahe Schotter (Würm) von den tiefer liegenden Deckenschottern unterscheiden. Die beiden Schotterkomplexe werden durch eine hier deutlich erkennbare, GW-stauende Zwischenschicht mit geringen el. Widerständen (grüne und blaue Farbkodierung: 100-150 Ω m) voneinander abgetrennt. Diese Zwischenschicht ist v.a. im mittleren und östlichen Profilabschnitt markant ausgeprägt und wird hier mit Mächtigkeitswerten von 15-20 m angegeben. Teilweise streicht sie auch an der Geländeoberfläche aus. Es wird angenommen, dass es sich hierbei um Würm-Moräne (Geschiebelehm) handelt. Die in diesem Profil gezeigte Projektion der Bohrung P2 ist bereits 300 m nördlich von der Schnittlage entfernt und dürfte daher nur eingeschränkt repräsentativ sein. Nach Westen zu, etwa ab Profilmeter 0+450 steigen die spez. elektrischen Widerstände der Zwischenschicht (hellbraune Farbkodierung: 250-300 Ω m), d.h. deren bindiger Feinanteil nimmt demzufolge ab. Ebenso scheint auch der Deckenschotter in dieser Richtung zunehmend mehr Sand- oder Schluffanteile zu enthalten oder die Nagelfluh-Bildung geht zurück. Ein Abnehmen der Schottermächtigkeit oder ein Auskeilen der Schotter erscheint hier ebenfalls möglich. In \12\ (s.d. Abb.9) wird im Bereich von VB2K ein "*Tertiärhoch*" angegeben.

Der Profilschnitt lässt **oberflächennah** drei mit Würm-Schottern gefüllte Bereiche unterscheiden. Die östliche Rinne zwischen 0+0-500 m weist mit rund 500 m die größte Breite auf. Aufgrund der hier gemessenen, hohen spez. Widerstände von 500-700 Ω m dürfte es sich um relativ grobkörnige Kiese handeln. Östlich quert bei Profilmeter 0+850-1000 eine weitere Rinne, die ebenfalls anhand der rotbraunen Farben große Widerstände belegt und damit grobkörniges Material enthalten dürfte. Ganz im Osten schließt eine weitere, flache Schotter-Rinne an. Diese wurde in der Bohrung RKS4 (Rammkernsondierung) bis 4,5 m Tiefe erbohrt und ist GW-führend. Die beiden westlichen Rinnen erreichen Mächtigkeiten von maximal 15-20 m.

Die Deckenschotter im **tieferen Teil des Schnittes** erreichen die StOK (OSM) bei Werten um 615-620 mNN (bzw. 60-65 m u.GOK). Im Stauer deuten sich wiederum Hochlagen oder Schwellen an, die bis in das Niveau des GW-Spiegels aufragen können.

Geoelektrische Profilmessungen

Zusammenfassung der Messergebnisse:

Die 3 West/Ost-Profilschnitte G1-G3 liegen in einem relativ flachen Gelände im Bereich der Schotterflur des Rothenfelder Forstes.

Im nördlichen Profilverlauf G1 lässt die geoelektrische Tomografie im Ost-Teil (also im Bereich um den Brunnen IV) weder ausgeprägte Deckschichten an der Geländeoberfläche noch eine nennenswerte Abtrennung bzw. Zwischenschicht zwischen dem hangenden GW-Leiter (Würm-Schotter) und Haupt-GW-Leiter (Deckenschotter) erkennen. Nach Westen wird der Deckenschotter hingegen von einer bindigen Moränen-Auflage überdeckt.

Das mittlere Messprofil G2 zeigt nahe der Geländeoberfläche deutlich 3 quer zur Profillage, sehr wahrscheinlich in Süd/Nord-Richtung verlaufende, flache Schotter-Rinnen bis 10-12 m Tiefe. Diese sind, zumindest temporär GW-führend, wie die GW-Spiegel in Bohrung/Meßstelle P3, P4 und P5 belegen. In P3 wurde in einer Tiefe von 7,4-10,4 m eine tw. konglomeratisierte Grobschotter-Stein-Lage erbohrt.

Die oberflächennahen Schotter-Rinnen sind lateral und im Liegenden durch bindigere, geringer wasserleitende und daher stauend wirkende Ablagerungen begrenzt, also praktisch in diese eingebettet. Hierbei dürfte es sich in Übereinstimmung mit \k4\-\k6\ um Würm-Moräne handeln. Diese stellt auch eine trennende Zwischenschicht zu den tiefer liegenden Deckenschottern dar und weist in Profilschnitt G2 eine weitgehend flächige Verbreitung auf.

Das vor Ort häufig zu beobachtende "Blasen" (= Ausgleich von Luftdruckschwankungen) an der GW-Meßstelle P2 bestätigt die Annahme, dass hier und weiter nach Süden zu die absperrende Wirkung der Zwischenschicht über den Deckenschottern zunimmt.

In den Deckenschottern deutet eine möglicherweise GW-freie Hochlage des Tertiärs eine Zerteilung des Aquifers an. Diese lässt sich nach Norden zu Profilschnitt G1 (etwa Profilmittte) sowie nach Süden zu Profilschnitt G3 (westlicher Profilabschnitt, s.u.) verfolgen.

Im südlichen Messprofil G3 sind neben 3 oberflächennahen Würm-Schotterrinnen eine deutlich ausgeprägte, wasserstauende Zwischenschicht sowie in deren Liegendem der GW-führende Deckenschotter zu erkennen. Im westlichen Profilabschnitt ist verändert sich die Beschaffenheit des Deckenschotters zu geringeren el. Widerstandswerten. Möglicherweise dünnt dieser hier etwas aus oder der GW-Stauer steigt an (Tertiär-Hoch?).

4 AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE

Die Ergebnisse der geoelektrischen Tomografie südlich des Brunnen IV lassen weitere wichtige Aussagen zum Aufbau des Untergrundes und hierbei insbesondere zu den vorhandenen Deck- und Zwischenschichten für den genutzten Aquifer zu.

Im Gegensatz zu den nur punktuell vorhandenen Bohraufschlüssen konnten mittels der Geoelektrik kleinräumige Strukturen wesentlich besser aufgelöst werden. Hierdurch ergeben sich im vorliegenden Fall deutlich verbesserte Erkenntnisse zur Verbreitung von oberflächennahen Schotter-Rinnen, die soweit bekannt ist, zumindest temporär nach stärkeren Niederschlägen Grundwasser führen.

Als weitere Erkenntnis zeichnet sich ab, dass die Tertiär-Oberfläche (= GW-Stauer) möglicherweise einen Hochbereich aufweist, der in Südwest/Nordost-Richtung verläuft und den Haupt-GW-Leiter in 2 Teil-Anstrombereiche aufspaltet.

Zur Zusammenfassung und grafischen Umsetzung der Messergebnisse wurde als Anlage 3 zu diesem Gutachten eine **Geologische Karte im Maßstab 1:10.000** erstellt. Hierbei wurden zum einen die Ergebnisse älterer Kartierungen (s. \k4\ - \k7\) eingearbeitet, als auch die Ergebnisse der Geophysik i.V.m. den bereits vorliegenden Bohrergebnissen.

Anlage 3 zeigt zum einen die Verbreitung der oberflächennahen Abschmelzschotter (Spätwürm), sowohl nach den Ergebnissen aus \k4\ als auch aus der Geoelektrik. Neben zwei Schotter-Rinnen an der West- und Ost-Seite des Rothenfelder Forstes ist eine dritte Rinne in der Mitte zwischen beiden vorhanden. In dieser liegt die Bohrung P3, zudem wird in \k7\ am Ost-Rand der mittleren Rinne (östlich der Bohrung P3) eine Terrassen- bzw. Erosionskante angezeigt (vgl. Anl.3).

Die potentiell GW-führenden Bereiche in der Schotterflur des Rothenfelder Forstes sind hellblau schraffiert dargestellt. Hier tritt Grundwasser zumindest temporär nach starken Niederschlägen auf (s. \26\, Messungen v. 12.1., 4.6. + 14.6.2013). Die GW-Fließrichtung ist hier grob nach Norden bis Nordosten gerichtet, wobei sich der GW-Abfluss am Verlauf der Schotter-Rinnen orientieren muss, was in Anlage 3 mittels der hellblauen Pfeilsignaturen verdeutlicht wird.

Geoelektrische Profilmessungen

Für den tieferen GW-Leiter in den Deckenschottern, der den Haupt-Aquifer für den Brunnen IV darstellt, ist ebenfalls die GW-Fließrichtung mit dunkelblauen Pfeilen angegeben.

Sollte das aus der Geoelektrik ersichtliche Tertiär-Hoch zwischen Bohrung VB2K und P7 existieren, wie auch bereits in \12\ andiskutiert wurde, trennt dieses den Deckenschotter-Aquifer in 2 Teilsysteme. Derzeit nicht näher bekannt ist, ob dieses Tertiär-Hoch bereichsweise über den GW-Spiegel ansteigt.

Mit der geoelektrischen Tomografie ergeben sich somit neue und relativ gut belegbare Erkenntnisse zum GW-Einzugsgebiet des Brunnen IV. Der Brunnen wird im Haupt-GW-Leiter (Deckenschotter) vornehmlich aus westsüdwestlicher bis südwestlicher Richtung angeströmt.

Nicht zu vernachlässigen ist jedoch der GW-Zulauf aus dem oberen, hangenden GW-Vorkommen in den Würm-Schottern. Aufgrund des Fehlens einer ausreichend mächtigen, bindigen und damit als GW-Stauer wirkenden Zwischenschicht kann hier das obere Grundwasser dem Brunnen-Aquifer zulaufen, worauf auch die vorliegenden wasserchemischen und mikrobiologischen Befunde hinweisen.

Aus diesem Grund darf bei der Einzugsgebietsermittlung der Verlauf der oberflächennahen Würm-Schotter nicht unberücksichtigt bleiben.

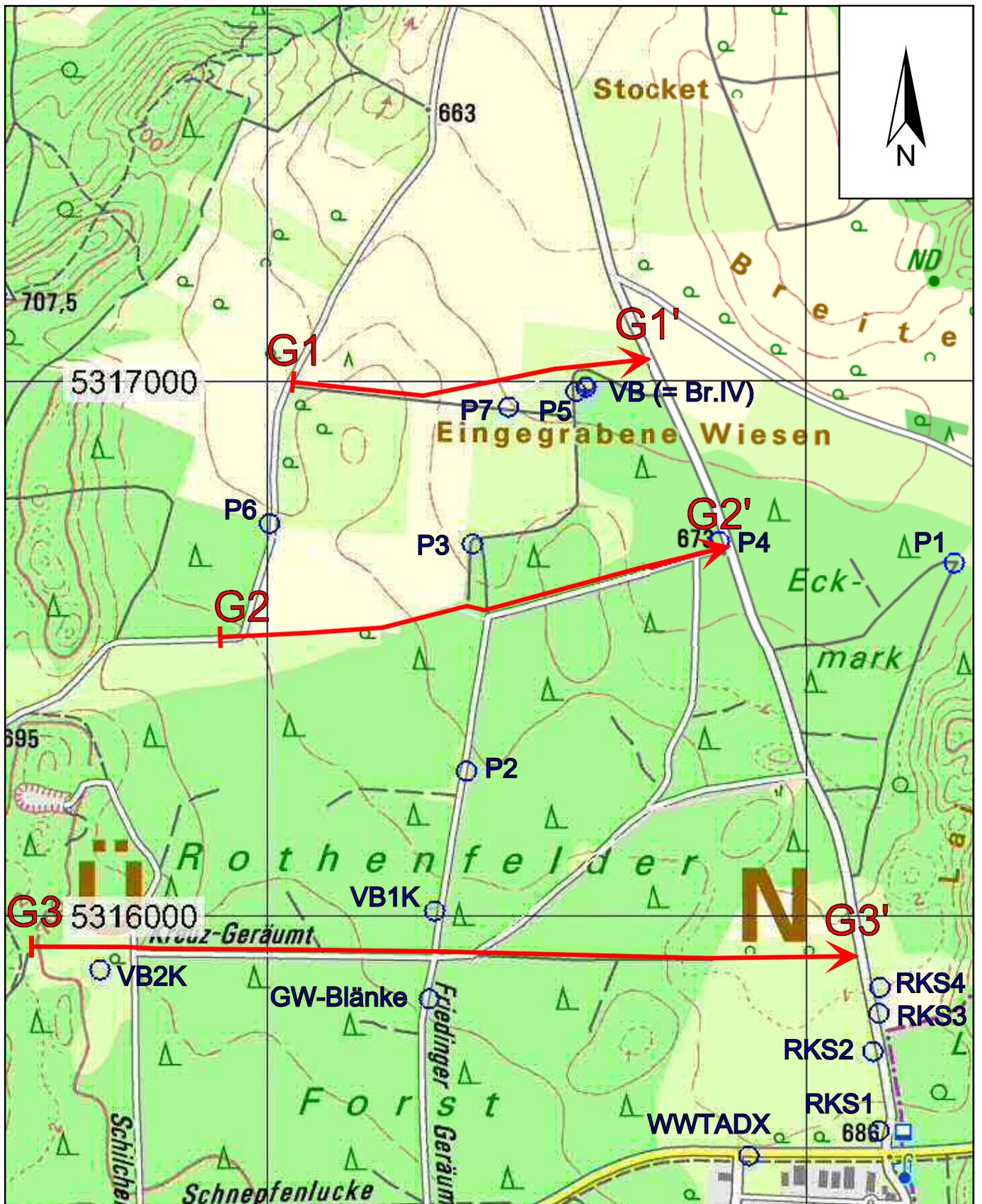
Starnberg, 13.06.2016



Dr. Thomas Schott
(Dipl.- Geol., BDG, DVGW, FH-DGG)

ANLAGEN

- 1) Lageplan auf topographischer Karte 1:10.000;**
- 2a-c) Geoelektrik - Profilschnitte G1, G2 und G3: Schichtenprofile und hydrogeologische Interpretation;**
- 3) Geologische Karte 1:10.000;**

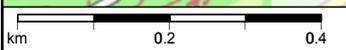


B G U	Büro für	Dr.Schott & Dr.Straub GbR	Projekt:	Anlage:
	Geotechnik und Umweltfragen	Ingenieurbüro und Sachverständige für Angewandte Geologie / Hydrogeologie	ZWSRGE01	1
		Glatzer Straße 5, 82319 Starnberg Tel. 08151-6805, Fax 08151-21845 BGU-Sta@t-online.de, www.bgu-schott.de	Datum:	gez./gepr.:
			13.06.2016	Sch

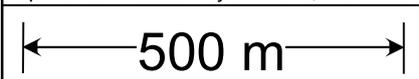
Lageplan auf Topogr. Karte 1:10.000

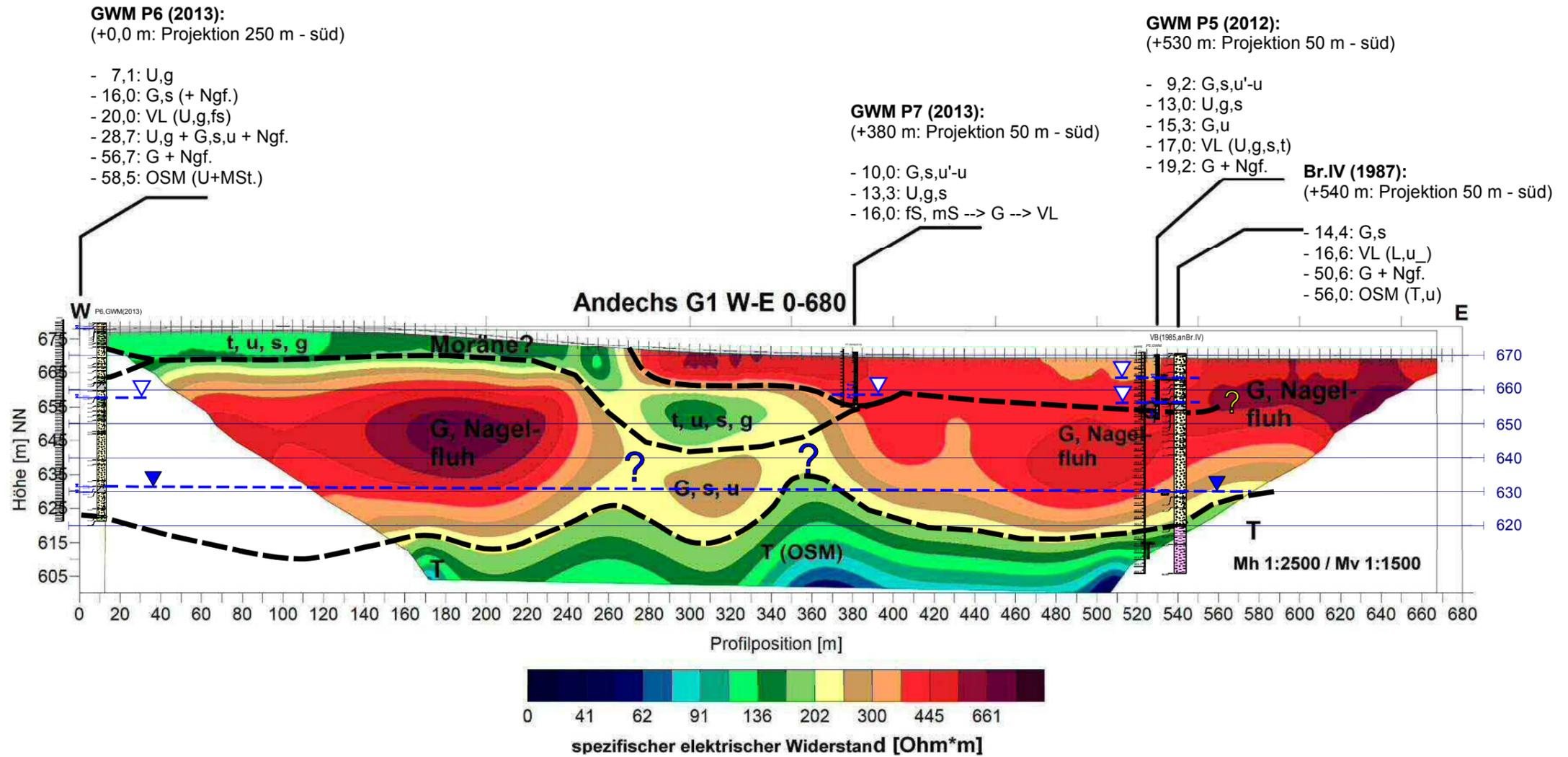
- Bohrung, Aufschluss
- ➔ Geoelektrik-Messprofil

(Plangrundlage aus \k2)



Top. Karte 1:25000 Bayern 2013, Maßstab 1:10000





- Schichtgrenzen (Interpretation)
- ▽- GW-Spiegel hangender GW-Leiter (Würm-Schotter)
- ▼- GW-Spiegel Haupt-GW-Leiter (Deckenschotter)

Geoelektrik - Profilschnitt G1
West-Ost, L = 680 m

Schichtenprofile und hydrogeologische Interpretation

Schnittverlauf s. Anl.1
Profildarstellung: Fa. Geolog

B	Büro für	Dr.Schott & Dr.Straub GbR
	Ingenieurbüro und Sachverständige für Angewandte Geologie / Hydrogeologie	
	Glatzer Straße 5, 82319 Starnberg Tel. 08151-6805, Fax 08151-21845	
G	Geotechnik	
	und	
U	Umweltfragen	BGU-Sta@t-online.de, www.bgu-schott.de
Projekt:	ZWSRGE01	Anlage: 2a
Datum:	13.06.2016	gez./gepr.: Sch

GWM P6 (2013):
(+100 m: Projektion 200 m - nord)

- 7,1: U,g
- 16,0: G,s (+ Ngf.)
- 20,0: VL
- 28,7: U,g + G,s,u + Ngf.
- 56,7: G + Ngf.
- 58,5: OSM (U+MSt.)

GWM P2 (1994):
(+470 m: Projektion 300 m - süd)

- 22,8: S,u,g (+ Ngf.)
- 36,4: G,s + Ngf.
- 40,5: S,u,gg'
- 56,2: G,S,u + Ngf.
- 61,0: OSM (T,u,s')

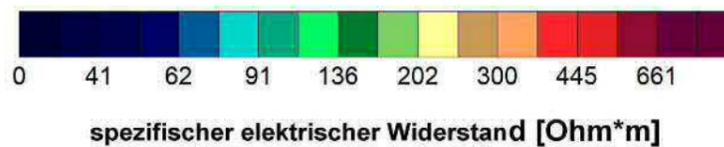
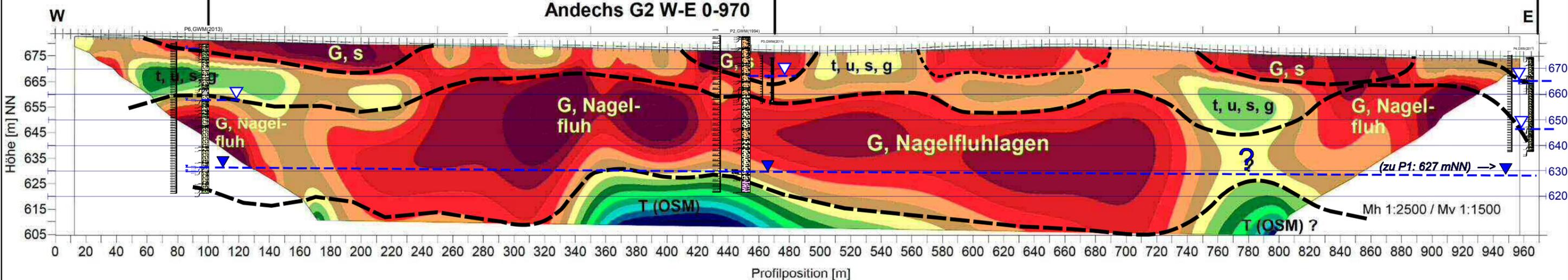
GWM P3 (2011):
(+470 m: Projektion 110 m - nord)

- 5,4: G,x,s
- 7,4: G,u,s (Mor.)
- 10,4: gG + Ngf.
- 13,6: G,u,t'
- 16,6: G,s,u'-u
- 17,6: VL (U,g,s)
- 18,1: G,s,u + Ngf.

GWM P4 (2011):
(+970 m)

- 7,2: G,s,u
- 10,2: G,s + U
- 27,1: G,u,s' (Mor.)
- 27,8: G,s,u'
- 30,5: U,g,fs (VL ?)
- 36,3: G,u,s
- 36,7: Ngf.

Andechs G2 W-E 0-970



- Schichtgrenzen (Interpretation)
- ▽- GW-Spiegel hangender GW-Leiter (Würm-Schotter)
- ▽- GW-Spiegel Haupt-GW-Leiter (Deckenschotter)

Geoelektrik - Profilschnitt G2
West-Ost, L = 970 m

Schichtenprofile und hydrogeologische Interpretation

Schnittverlauf s. Anl.1
Profildarstellung: Fa. Geolog

B G U	Büro für	Dr.Schott & Dr.Straub GbR
	Geotechnik und Umweltfragen	Ingenieurbüro und Sachverständige für Angewandte Geologie / Hydrogeologie Glatzer Straße 5, 82319 Starnberg Tel. 08151-6805, Fax 08151-21845 BGU-Sta@t-online.de, www.bgu-schott.de
	Projekt:	ZWSRGE01

Anlage:	2b
Datum:	13.06.2016
gez./gepr.:	Sch

VB2K (1972, verfüllt):
(+125 m: Projektion 45 m - süd)

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| (IGWU, 1995) | (WATEC, 1990) |
| - 10,0: U,g,s | - 47,0: G,s,t |
| - 40,0: G,s + Ngf. | - 62,0: G,s |
| - 58,0: U,g,s | - 65,0: OSM (T+SdSt.) |
| - 75,0: G,s | |
| - 80,0: OSM (T,U) | |

VB1K (1972, verfüllt):
(+750 m: Projektion 90 m - nord)

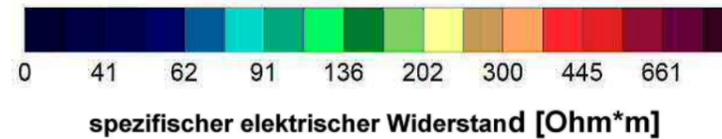
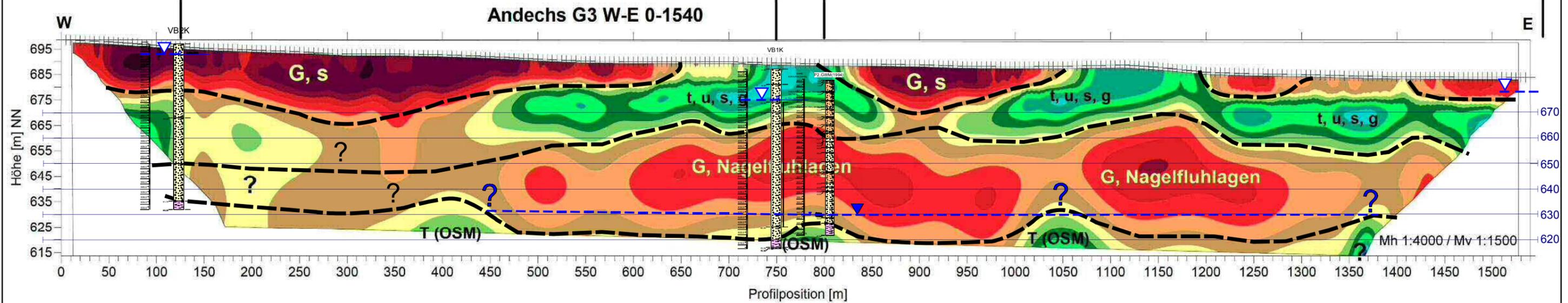
- (WATEC, 1990)
- 6,0: G,s
 - 13,0: G,s, hart
 - 62,0: G,s + Ngf.
 - 67,0: G,s
 - 70,0: T,g
 - 70,5: OSM (TM)

GWM P2 (1994):
(+800 m: Projektion 350 m - nord)

- 22,8: S,u,g (+ Ngf.)
- 36,4: G,s + Ngf.
- 40,5: S,u,gg'
- 56,2: G,S,u + Ngf.
- 61,0: OSM (T,u,s')

RKS4 (2009):
(+1590 m: Projektion 65 m - süd)

- 4,5: G,s,u' (+ H₂O ab 4 m)
- 5,0: fs,u_



- Schichtgrenzen (Interpretation)
- - - GW-Spiegel hangender GW-Leiter (Würm-Schotter)
- - - GW-Spiegel Haupt-GW-Leiter (Deckenschotter)

Geoelektrik - Profilschnitt G1
West-Ost, L = 1.540 m
Schichtenprofile und hydrogeologische Interpretation
Schnittverlauf s. Anl.1
Profildarstellung: Fa. Geolog

B	Büro für	Dr.Schott & Dr.Straub GbR
	Ingenieurbüro und Sachverständige für Angewandte Geologie / Hydrogeologie	
G	Geotechnik	Glatzer Straße 5, 82319 Starnberg
	und	Tel. 08151-6805, Fax 08151-21845
U	Umweltfragen	BGU-Sta@t-online.de, www.bgu-schott.de
Projekt:	ZWSRGE01	Anlage: 2c
Datum:	13.06.2016	gez./gepr.: Sch

s. Anlage 5a

Anlage 3: Geologische Karte 1:10.000

ANHANG

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

GEOLOG Fuß / Hepp GbR, Augsburg, 02.06.2016