

Bericht

Geophysikalische Erkundung

Wasserversorgung Kaufbeuren

Überprüfung / Neufestsetzung

Wasserschutzgebiet Ebenhofen

Kreis Ostallgäu

Bayern

November 2001

Bericht**Wasserversorgung Kaufbeuren****Überprüfung / Neufestsetzung****Wasserschutzgebiet Ebenhofen**

- Auftraggeber : Städtisches Wasserwerk Kaufbeuren
König – Rudolf – Straße 1
876000 Kaufbeuren
- Auftragnehmer : GBM Geophysikbüro Munstermann
Industriepark
Str. A Nr. 9
39245 Gommern
- Aufgabe : Geophysikalische Untersuchungen zur Erfassung der
Struktur des Untergrundes
- Methodik: 2 D- Geoelektrik (Multielektrodenanordnung, Electrical
Resistivity Imaging)
- Bearbeiter : Dipl.-Geophysiker Dirk Munstermann

Gommern, den 17. Dezember 2001



Dirk Munstermann
Bearbeiter

Inhalt:

- 1.0. Aufgabenstellung und Meßgebietsbeschreibung
- 2.0. Geoelektrische Messungen
 - 2.1. Anlage und Durchführung der Messungen
 - 2.2. Erläuterung des Meßprinzips
 - 2.3. Darstellung und Auswertung der Ergebnisse
- 3.0. Zusammenfassung
- 4.0. Anlagenverzeichnis

1.0. Aufgabenstellung und Meßgebietsbeschreibung

Das Städtische Wasserwerk Kaufbeuren beauftragte das Geophysikbüro Munstermann mit der Durchführung von geoelektrischen Messungen zur Untersuchung der Verbreitung einer Kiesrinne entlang von Profilen. Das Untersuchungsgebiet befindet sich süd- bis südwestlich der Ortschaft Ebenhofen. Die Lage des Erkundungsareals und die Lage der Profile sind in der **Anlage 1.1** dargestellt. Die Grundlage bildet eine topografische Karte im Maßstab 1: 5000, die vom begleitenden Ingenieurbüro Boden und Wasser zur Verfügung gestellt wurde.

Das Gelände weist unterschiedliche Formen auf. Im östlichen Teil (Profil Ost bzw. 1) steigt das Gelände von Nord nach Süd von ca. 705 mNN auf ca. 710 mNN an. Im mittleren Teil (Profil Mitte bzw. 2) ist ein relativ starker Anstieg vom Profilbeginn bis ca. 150 Profilmeter von ca. 704 auf ca. 707mNN zu verzeichnen. Im weiteren Profilverlauf ist das Gelände nahezu eben. Der mittlere westliche Teil des Messgebietes (Anfang – Mitte Profil West, bzw. 3 und mittlerer Teil von Profil Neu, bzw. 4a) ist als lokale Hochebene ausgebildet (715mNN), **siehe Anlage 1.2 Foto 4**. In südliche und nordwestliche Richtung fällt das Gelände ab. Bei Profil 4a befindet sich zwischen Profilmeter 130 und 180m und bei Profil 4c befindet sich zwischen Profilmeter 510 und 550 jeweils eine lokale Senke.

Der Untergrund bis zur maximalen Erkundungstiefe (ca. 35m- 40m unter GOK) wurde durch eiszeitliche Prozesse geprägt. Es wurden Kiese und Sande sowie Molassen (bindiges Gestein) in unterschiedlicher Mächtigkeit und in unterschiedlichen Zonen abgelagert.

2.0. Geoelektrische Messungen

2.1. Anlage und Durchführung der Messungen

Die geoelektrischen Messungen erfolgten in Form von 2D-Messungen (Electrical Resistivity Imaging). Die Messungen wurden entlang von 4 Profilen durchgeführt. Die Lage der Profile ist der **Anlage 1.1** zu entnehmen. Die Profile 2 und 4 mussten auf Grund der vorgegebenen Profillage in unterschiedlichen Abschnitten gemessen werden, da im Idealfall entlang einer geraden Linie gemessen werden sollte.

Die geoelektrischen Messungen erfolgten nach der Schlumberger-Konfiguration. Der Abstand zwischen den einzelnen Elektroden betrug 6 m. Es wurde mit 42 Elektroden gemessen. Damit wird in etwa eine Eindringtiefe von 35 – 45m unter GOK erreicht. Für die Messungen wurde das Meßgerät Sting/Swift von der Firma AGI, Inc. (Texas, USA) eingesetzt. Die Messgeräte sind in der **Anlage 1.2** auf dem **Foto 1** abgebildet.

2.2. Erläuterung des Messprinzips

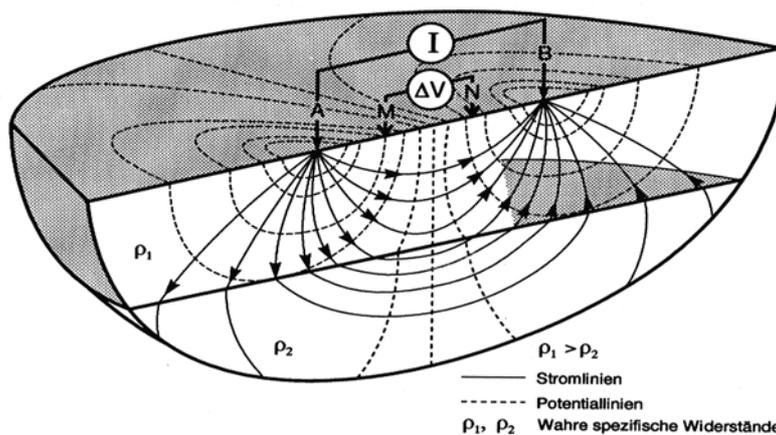
Das Messprinzip der Vierpunktanordnung besteht darin, daß über eine Spannungsquelle durch Elektroden (2 äußere Elektroden A und B) dem Boden Strom zugeführt wird und mittels symmetrisch angeordneter Sonden (2 innere Elektroden M und N) das Potential abgegriffen wird. Das sich herausbildende Potential und der Stromfluß sind ein Maß für den scheinbaren spezifischen Widerstand des Bodens.

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \cdot K$$

ρ = elektr. Widerstand
 ΔV = Spannungsdifferenz
 I = Stromstärke
 K = Länge des Leiters

Der Leiter ist in diesem Fall der Untergrund.

Skizze Messprinzip (aus Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten; Band 3 ; Geophysik; Springer – Verlag):



Bei der Messung wird idealer Weise von einem homogenen Halbraum ausgegangen. Für die Erkundung von Schichtungen werden Konfigurationen eingesetzt, in denen die Potentiale zwischen den Stromelektroden abgenommen werden.

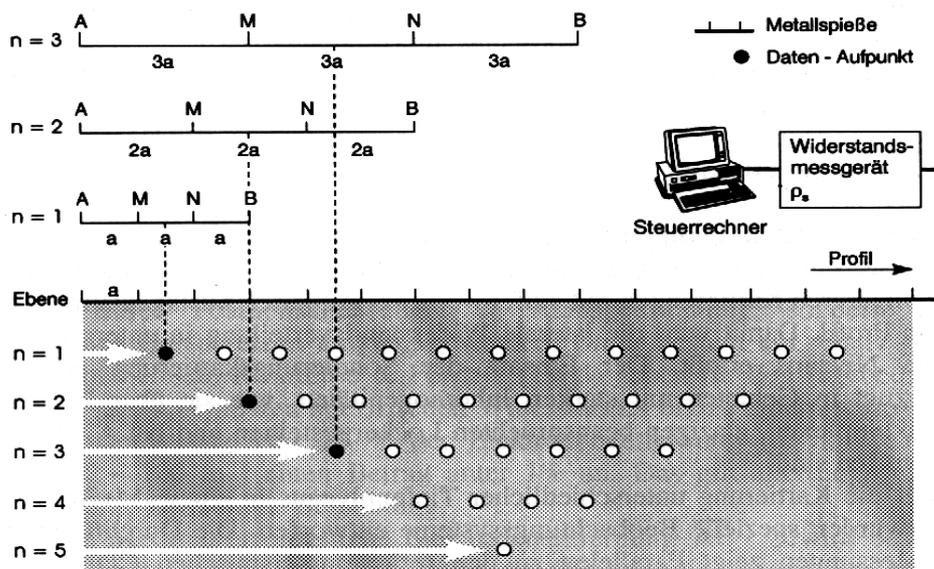
Die Eindringtiefe wird mit der Vergrößerung der Aufstellungsweite der Elektroden erhöht. Für größere Teufen verringert sich allerdings die Auflösung der Schichten. Die vertikale Auflösung beträgt im allgemeinen 1/10 der Erkundungstiefe. Die horizontale Auflösung ist abhängig vom Abstand der Elektroden (ca. die Hälfte des Abstandes).

Bei der eingesetzten 2D-Geoelektrik handelt es sich praktisch um eine Kombination von Kartierungen (profilhafte Messung mit einer Eindringtiefe) und Tiefensondierungen (vertikale Erkundung auf einen Punkt bezogen).

Die Messungen entsprechen einer äquidistanten Folge von Tiefensondierungen oder mehreren Kartierungen mit unterschiedlichen Auslagelängen. Damit wird die Widerstandsverteilung des Untergrundes in unterschiedlichen Tiefenniveaus erfaßt.

Es werden Metallspieße in äquidistanten Abständen (siehe Anlage 1.2 Foto 2 und 3 angeordnet. Die folgende Skizze zeigt das Meßprinzip der Wenner-Anordnung. Bei der Wenner – Anordnung ist der Abstand zwischen den Elektroden gleich (a). Bei der Schlumberger-Anordnung ist der Abstand der äußeren Elektroden (AB) um ein vielfaches größer als der Abstand der inneren Elektroden (MN). Dadurch wird eine Fokussierung erreicht. Bei der Dipol – Dipol – Anordnung sind die Stromelektroden AB und Spannungselektroden auf unterschiedlichen Seiten. Dadurch wird eine noch größere Fokussierung erreicht, aber die Streuungen der Meßwerte erhöhen sich.

Messprinzip der Wenner-Konfiguration (aus Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten; Band 3 ; Geophysik; Springer – Verlag):



Zum einen wird mit konstantem Abstand ($a, 2a, \dots$) zwischen den Metallspitzen entlang des Profils gemessen und zum anderen wird der Abstand zwischen den Metallspitzen um ein vielfaches vergrößert. Damit wird gleichzeitig die Messung in Profiltrichtung und in die Tiefe vorgenommen (2 D- Messung). Die Schaltung, welche Metallspitzen als Strom- bzw. Spannungselektroden fungieren und wie groß der Abstand ist, übernimmt die Apparatur. Dem jeweiligen Meßwert wird eine x- und z-Koordinate zugeordnet. So erhält man eine 2D-Darstellung des scheinbaren spezifischen Widerstandes.

Die Auswertung der zweidimensionalen Widerstandsstrukturen erfolgt durch Modellrechnungen. In einem ersten Schritt werden die Rohdaten in einem sogenannten Pseudoschnitt mit Pseudotiefen (Ebenen) der gemessenen Abstände aufgetragen. Hierbei handelt es sich nicht um wahre Widerstände und auch nicht um die wirklichen Tiefen.

In weiteren Schritten erfolgen eine Vorwärtsrechnung und Inversion der Meßergebnisse. Die Meßwerte werden dabei in Blöcken abgelegt. Durch einen Algorithmus (Finite-Elemente oder Finite-Differenzen) erfolgt die Vorwärtsmodellierung der in den Blöcken abgelegten Meßwerte. Aus diesem Modell wird durch Inversionen wieder ein Blockbild der Meßwerte erzeugt und zwar solange, bis die gemessenen und modellierten Blockbilder übereinstimmen bzw. der Fehler so gering wie möglich ist. Die Inversion basiert auf der Methode der kleinsten Quadrate mit einer Newton-Optimierungstechnik. Diese Inversion wird im Programm RES2DINV (von Loke) genutzt.

Bei einer profilweisen Vermessung lassen sich über den gemessenen scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstand laterale Veränderungen hinsichtlich der Lithotypen und anstehenden Gesteine, Wechsel Festgestein (Sandstein –Schluffstein – Tonstein) – Lockergestein (Sand –Schluff - Ton) bezüglich der sich aus der Aufstellung ergebenden horizontalen und vertikalen Auflösung und Eindringtiefe erkennen. Außerdem ist eine Aufgliederung hinsichtlich der Mächtigkeit der Schichten möglich.

Der Widerstand eines porösen Sedimentes ist abhängig von der Porosität, der Wassersättigung und dem Widerstand der Porenlösung und kann mit einer allgemeinen Formel (Archie-Gleichung) wie folgt beschrieben werden:

$$R_o = F \cdot R_W \cdot S_W$$

$R_o =$ Widerstand des wassergesättigten Gesteins
 $R_W =$ Widerstand der Porenlösung
 $S_W =$ Wassersättigung = 1
 $F =$ Formationsfaktor (abhängig von geometrischer Verteilung des Elektrolyten im Gestein)
 $F = \frac{a}{\varnothing^m}$ a, m - empirische Konstanten für jede Gesteinsart
 \varnothing - Porosität

(aus "Petrophysik" Prof. Dr. J. Schön, Akademie Verlag 1983, S. 236 ff.)

Die Werte der empirischen Konstanten bei Lockergestein schwanken bei "a" zwischen 0,75 - 1 und bei "m" zwischen 1 - 1,7.

Die Porosität in Sanden wird zwischen - 0,2 (20 %) (Feinsande) und 0,3 (30 %) (Mittel- bis Grobsande) angenommen. Im Festgestein wird von einer Porosität von ca. 10 bis 25 % ausgegangen. Die Kluftporosität findet in dieser Theorie allerdings keine Berücksichtigung.

Bei bindigen Sedimenten wird der scheinbare spezifische Widerstand zum großen Teil durch die Gesteinsmatrix und das gebundene Wasser bestimmt. Trockene und/oder grobkörnige Schichten besitzen einen relativ hohen, nasse und/oder feinkörnige Schichten einen relativ niedrigen Widerstand.

2.3. Darstellung und Auswertung der Messungen

Die geophysikalischen Messungen erfolgten in Form von geoelektrischen Widerstandsmessungen und wurden in einer 2D-Anordnung, dem sogenannten Electrical Resistivity Imaging, durchgeführt.

Die unmittelbaren Ergebnisse der geoelektrischen Messungen sind in der **Anlage 2.1** dargestellt und geben Tiefenschnitte mit farbig von einander abgestuften Widerstandswerten wider. Es gehören 3 Tiefenschnitte zu jedem Profil. Im ersten Tiefenschnitt sind die Widerstandsverhältnisse im Untergrund nach den Originaldaten, im zweiten Tiefenschnitt nach der Vorwärtsmodellierung und im dritten Tiefenschnitt nach der Inversion abgebildet. Die X-Achse eines jeden Tiefenschnittes stellt die Profilmeter und die Y – Achse den erkundeten Tiefenbereich jedes Profils dar. Die Y-Achse ist dabei logarithmisch und die X – Achse einfach eingeteilt. Die Farbabstufungen besitzen ein einheitliches Niveau und wurden auf ein einheitliches mittleres Maß normiert..

In der **Anlage 2.2** sind die Inversionsergebnisse mit Bezug auf die topografische Verhältnisse dargestellt.

Die Messungen weisen allgemein im oberen und zum Teil auch tieferen Bereichen relativ hohe elektrische Widerstände auf. Dieser hochohmige Horizont wird von einem Horizont mit relativ niedrigen elektrischen Widerstandswerten unterlagert. Nach den allgemeinen Gesetzen und Erfahrungen weisen die relativ hohen elektrischen Widerstandswerte auf Kiese und die relativ niedrigen elektrischen Widerstandswerte auf Schluffe oder Tone. In der **Anlage 2.3** wird ein Vergleich zwischen den Widerstandsverhältnissen und den Bohrergebnissen durchgeführt. Die Widerstandsverhältnisse werden damit auf die geologischen Bedingungen vor Ort geeicht. In der Legende ist diese „Eichung“ aufgeführt.

In der folgenden Tabelle ist diese noch einmal aufgeführt.

Tabelle : Einteilung der elektrischen Widerstandswerte in lithologische Einheiten

Widerstandsbereich [Ohm*m]	Lithologie	Farbgebung
< 60	Tone, Schluffe	Blau
60 – 140	Kies, unterhalb Wasserspiegel Zum Teil Sande, schluffig bzw. Wechsellagerung Kiese oder Sande mit Ton / Schluff	Grün
140 – 320	Kies, unterhalb des Wasserspiegels zum Teil Sande	Gelb - Rot
> 320	Kies, oberhalb des Wasserspiegels	Rot - Rotbraun

Durch den Vergleich wird deutlich, dass es Übergangsbereiche in der Geoelektrik zwischen den einzelnen Gesteinsarten gibt. Diese Übergangsbereiche bestehen auf Grund der unterschiedlichen Ausbildung der Gesteine, die zum Teil auch Übergangsbereiche bilden. Zum Beispiel kann unter Umständen ein schluffiger Feinsand geoelektrisch nicht von einem feinsandigem Schluff unterschieden werden, geologisch allerdings schon. Auffällig sind nach der durchgeführten Eichung die relativ niedrigen elektrischen Widerstandswerte der Kiese unterhalb des Wasserspiegels. Die Widerstandswerte der Kiese reichen bis 60 Ohm*m. Es scheinen sich die geologische Ansprache bei Brunnen IV und die Widerstandsverhältnisse zu widersprechen. Die oberflächennahen niedrigen Widerstände können durch bindige Anteil im Kies oder durch den Einfluss elektrischer Anlagen hervorgerufen werden (der Strom geht den Weg des geringsten Widerstandes). Für eine weitere „Eichung“ ist das Bohrprofil allerdings nicht tief genug. Die Eichung basiert zum großen Teil auf dem Vergleich der Widerstandsverhältnisse mit den Bohrprofilen von P 13, P 6, Brunnen I, P9 und GM 760.

Beim Vergleich der Widerstandsverhältnisse mit den Bohrergebnissen wurde der Einfluss des Wasserspiegels berücksichtigt. Auf Grund der stark unterschiedlichen Widerstandsverhältnisse wurde aber auf eine Einzeichnung der Lage des Wasserspiegels in Abbildungen verzichtet.

In den **Anlagen 3.1 bis 3.2** sind die topografisch korrigierten Ergebnisse der geoelektrischen Messungen (Inversionsergebnisse) auf das Gelände bezogen dargestellt.

In der **Anlage 3.1** sind die Ergebnisse der Messungen entlang von Profil 1, 2a, 3, 4a und 4c abgebildet und in der **Anlage 3.2** die Ergebnisse der Messungen entlang von Profil 2b und 4b. In den Widerstands- Tiefenschnitten sind im oberflächennahen Bereich und zum Teil bis in Tiefen von ca. 20 m unter GOK relativ hohe elektrische Widerstände zu verzeichnen. Hier stehen Kiese an. Im Randbereich der Profile 1,2b (südliche Rand), 3 (südliche Rand), 4a (nördliche Rand) und 4c (östliche Rand) sind nur noch im oberflächennahen Bereich relativ hohe elektrische Widerstände zu verzeichnen. Hier keilt diese Schicht zum Teil aus bzw. verringert ihre Mächtigkeit stark. Zur visuellen Unterstützung ist die Basis des Kieshorizontes in den Anlagen als schwarze gestrichelte Linie gekennzeichnet.

Es erfolgt eine verbale Einschätzung der Messergebnisse in Bezug auf die Ausbildung der Kiesrinne entlang der einzelnen Profile.

Bei **Profil 1** ist eine eindeutige Abgrenzung der Kiesrinnen in nördliche und südliche Richtung möglich. Die Kiesrinne kann zwischen Profilmeter ca. 170 – 560 m ausgewiesen werden.

Im Bereich von **Profil 2** ist eine nördliche Abgrenzung nicht möglich, wobei im Bereich von Profil 2a die Unterkante des Kieshorizontes zwischen 685 und 695 mNN schwankt (flachere Ausbildung des Kieshorizontes mit einzelnen Undulationen). Eine Vertiefung wie im Bereich von Profil 1 zeigt sich im Bereich hier bei Profil 2b zwischen Profimeter ca. 80 und 200. Nach Süden hin kann die Grenze der Kiesrinne ca. 50m nördlich von P12 gezogen werden.

Bei **Profil 3** ist im Bereich von Profimeter ca. 370 eine relativ starke Verringerung der Kiesmächtigkeit zu beobachten. Hier steigt die Kiesbasis von ca. 670 auf ca. 693 mNN an. Damit kann die Grenze der Kiesrinne hier nach Süden eindeutig festgelegt werden. Allerdings tritt nach den Messungen zwischen Profimeter 530 und 580 eine lokale erhöhte Mächtigkeit des Kieshorizontes auf. Im Bereich des P 10 nimmt die Kiesmächtigkeit wieder stark ab. Im Bereich zwischen Profimeter ca. 250 und 350 befindet sich die Basis des Kieshorizontes nach den Messungen unterhalb 660 mNN. In nördliche Richtung deutet sich nach einer „Hochlage“ zwischen Profimeter 160 und 250 (Kiesbasis bei 680 mNN) ein Absinken der Kiesbasis auf unter 670 mNN an. Die Kiesrinne geht nach Norden über den Profilanfang des Profils 3 hinaus.

Die Messungen entlang des **Profils 4** lassen eine Abgrenzung der Kiesrinne in nördliche Richtung zu. Hier ist ab Profimeter 320 (Profil 4a) ein Absinken der Unterkante des Kieshorizontes von 690 mNN auf 680 mNN zu beobachten. In weitere südliche Richtung zwischen Profimeter 400 und 550 ist ein Absinken der Kiesbasis auf ca. 670 mNN zu verzeichnen. Im Profilbereich zwischen 630 und 780 m befindet sich eine Hochlage des Kieshorizontes bei über 690 mNN. Im weiteren Verlauf Richtung Süden ist wiederum ein Absinken der Kiesbasis zu beobachten. Insbesondere fällt das „Minimum“ bei Profil 4b bei Profimeter 300 auf (Kiesbasis ca. 670mNN). Bei Profil 4c ist ein starker Anstieg der Unterkante des Kieshorizontes bei Profimeter 500 zu verzeichnen.

In der **Anlage 3.3** sind die Ergebnisse der Messungen zusammengefasst dargestellt. Hier ist zeichnerische Darstellung der Kiesbasis der Anlagen 3.1 bis 3.2 numerisch umgesetzt. Die Zahlen geben die Höhe der Basis des Kieshorizontes auf mNN bezogen wieder.

3.0 Zusammenfassung

Vom 13. bis zum 16. November 2001 erfolgten im ausgewiesenen Bereich südlich der Ortschaft Ebenhofen geoelektrische Messungen zur Erkundung der Untergrundbedingungen, insbesondere der Ausbildung eines Kieshorizontes.

Die geoelektrischen Messungen wurden entlang von 4 Profilen an insgesamt 682 Ansatzpunkten mit einem Elektrodenabstand von 6 m durchgeführt.

Durch die Messungen zeigten sich im Untergrund Strukturen, die auf eine unterschiedlich mächtige und von der Verbreitung her unterschiedlich ausgebildete Kieszone deuten. Im Bereich von Profil 1, 2, 3 und 4 lassen sich im südlichen Bereich Abgrenzungen der Kiesrinne ermitteln, im Bereich von Profil 4 auch in nördliche Richtung.

4.0 Anlagenverzeichnis

Anlage 1.1	:	Lageplan der geoelektrischen Messungen
Anlage 1.2	:	Fotodokumentation der eingesetzten Messgeräte und des Messgebietes
Anlage 2.1	:	Widerstands - Tiefenschnitte mit Darstellung der Pseudosektionen und Modellierungsergebnisse 2 D – Geoelektrik Profil 1 bis 4
Anlage 2.2	:	Widerstands – Tiefenschnitte Modellierungsergebnisse auf Topographie bezogen; 2 D – Geoelektrik Profil 1 bis 4
Anlage 2.3	:	Widerstands – Tiefenschnitte Vergleich mit Bohrerergebnissen
Anlage 3.1	:	Widerstands – Tiefenschnitte auf das Gelände bezogen und Darstellung der Kiesbasis nach 2 D – Geoelektrik Profil 1, 2a, 3, 4a und 4c
Anlage 3.2	:	Widerstands – Tiefenschnitte auf das Gelände bezogen und Darstellung der Kiesbasis nach 2 D – Geoelektrik Profil 2b und 4b
Anlage 3.3	:	Darstellung der Kiesbasis nach 2 D- Geoelektrik