

## Geophysikalische Untersuchungsverfahren

Dipl.-Geophys. Eberhard Kunz  
Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe  
Telefon: 0721 / 9726 – 2860, e-mail: eberhard.kunz@baw.de

### Zusammenfassung

Die Geophysik untersucht die Verteilung der physikalischen Parameter des Baugrundes durch Messungen an der Geländeoberfläche ohne Eingriff in den Untergrund. Die Methoden werden eingesetzt um 2D und 3D-Modelle des Baugrunds zu entwerfen, geologische und antropogene Störungszonen und Körper zu erkunden. Die Gleichstromgeoelektrik als geophysikalische Erkundungsmethode wird exemplarisch an der Dammsachsorge für die Rheinseitendämme der Stauhaltung Gamsheim vorgestellt und die möglichen Einsatzbereiche aufgezeigt.

### 1 Einleitung

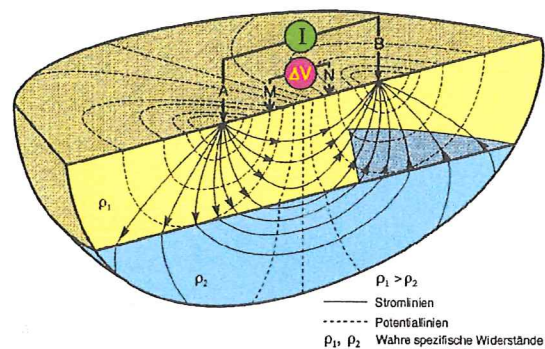
Die Geophysik untersucht die Verteilung der physikalischen Parameter des Baugrundes durch Messungen an der Geländeoberfläche ohne Eingriff in den Untergrund (indirektes Erkundungsverfahren). Die geophysikalischen Methoden werden eingesetzt um 2D und 3D-Modelle des Baugrunds zu entwerfen, geologische und antropogene Störungszonen und Körper zu erkunden. Die notwendige Voraussetzung für den sinnvollen Einsatz geophysikalischer Methoden ist das Vorhandensein von Kontrasten der physikalischen Materialparameter im Untergrund (Dichte, spezifischer elektrischer Widerstand, Dielektrizitätszahl, Geschwindigkeit seismischer Wellen etc.). Vor geophysikalischen Messungen sollte in jedem Fall abgeschätzt werden, ob die zu erwartenden Kontraste der physikalischen Materialeigenschaften signifikant Messgrößen liefern. Für diese Abschätzung empfiehlt es sich Modellrechnungen durchzuführen und das Auflösungsvermögen der jeweiligen Methode zu untersuchen. Geophysikalische Verfahren ergänzen sich wechselseitig, da sie für unterschiedliche Parameter sensitiv sind. So werden mit seismischen Methoden die Lagerungsverhältnisse und die lithologischen Eigenschaften des Untergrundes untersucht. Elektrische und elektromagnetische Methoden reagieren sehr empfindlich auf Änderungen der Leitfähigkeit. Im folgenden wird die Gleichstromgeoelektrik als geophysikalische Erkundungsmethode exemplarisch vorgestellt und anhand eines Beispiels mögliche Einsatzbereiche aufgezeigt.

### 2 Gleichstromgeoelektrik

#### Prinzip der Methode

Die Gleichstromgeoelektrik gehört zu den geophysikalischen Verfahren, die mit technisch erzeugten („künstlichen“) stationären Feldern arbeiten. Bild 1 und Bild 2 zeigen das Messprinzip. Über zwei geerdete Stromelektroden A und B erfolgt die Einspeisung von Gleichstrom oder niederfrequentem Wechselstrom in den leitfähigen Untergrund. Dabei baut sich ein räumliches Potential-

feld auf, das von den Leitfähigkeitsstrukturen beeinflusst wird. Aus der Messung des Potentialverlaufs an der Erdoberfläche kann die räumliche Verteilung der Leitfähigkeit und ihres Kehrwertes, des spezifischen Widerstandes, ermittelt werden - deshalb wird die Gleichstromgeoelektrik häufig auch als Widerstandsmethode bezeichnet.



**Bild 1:** Prinzip der Widerstandsmessung mit einer Vierpunktanordnung

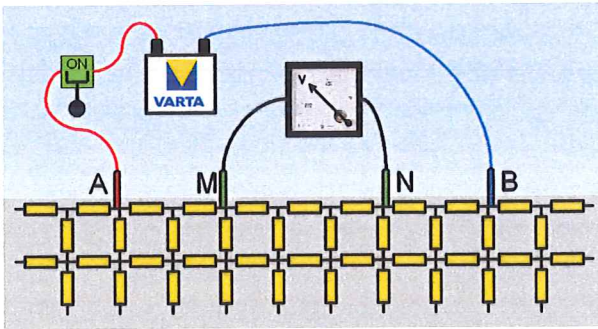
Wenn man die Stromstärke und die Spannung nur zwischen den Elektroden A und B misst, bestimmt man im wesentlichen deren Erdungswiderstand. Dieser Wert ist aber für die Ermittlung der Leitfähigkeitsverteilung bedeutungslos. Deshalb erfolgt die Spannungsmessung mit 2 zusätzlichen Sonden M und N. Dieses Prinzip der Vierpunktanordnung liegt allen Verfahren der Gleichstromgeoelektrik zugrunde.

Obwohl es eine große Zahl praktikabler Elektroden-Sonden-Anordnungen gibt, wird aus logistischen Gründen überwiegend mit linearen Konfigurationen gearbeitet. Jede dieser Messanordnungen besitzt Vorzüge und Nachteile hinsichtlich Erkundungstiefe, Auflösungsvermögen, Anfälligkeit gegenüber technischen Störungen und lateralen Inhomogenitäten sowie Durchführbarkeit im Gelände. In Bild 3 sind die gebräuchlichsten Messanordnungen aufgeführt.

C

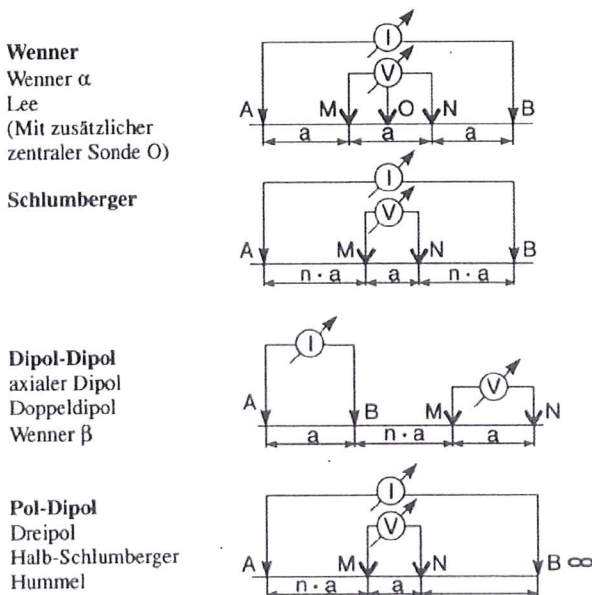
C





**Bild 2:** Ersatzschaltbild der Widerstandsmessung

Aus der Potentialdifferenz zwischen den Sonden M und N und der Stromstärke zwischen den Elektroden A und B ergibt sich nach dem Ohmschen Gesetz ein elektrischer Widerstand. Das Produkt dieses elektrischen Widerstandes mit dem Konfigurationsfaktor K der Elektroden-Sonden-Anordnung ist bei homogenen Verhältnissen der wahre spezifische Widerstand. Da der reale geologische Untergrund inhomogen ist, werden die Messwerte von Widerstandsmessungen als „scheinbare spezifische Widerstände“ bezeichnet.



**Bild 3:** Messanordnungen der Gleichstromgeoelektrik

Angewendet wird die Gleichstromgeoelektrik als:

- Kartierung (Profilierung),
- Tiefensondierung,
- Sondierungskartierung,
- Widerstandstomographie.

Die Ergebnisse der Kartierung erlauben überwiegend qualitative Aussagen. Eine Darstellung der scheinbaren spezifischen Widerstände als Profil oder Karte ist für die Abgrenzung lithologischer Einheiten (rolliges/bindiges Material - Tabelle 1) aussagekräftig. Ziel der sondierenden Verfahren und der Widerstandstomo-

graphie ist die Abbildung der Leitfähigkeitsstrukturen des Untergrundes.

Boden	spezifischer Widerstand
	[ $\Omega m$ ]
Mutterboden	50 - 200
Ton (erdfeucht)	5 - 20
Schluff (erdfeucht)	20 - 100
Sand (erdfeucht)	100 - 1000
Kies (erdfeucht)	über 1000
Sand, Kies (gesättigt)	50 - 200
verwittertes Gestein	100 - 1000
Tonstein	100 - 1000
Sandstein	200 - 5000
Tiefengestein	über 5000
Süßwasser	20
Salzwasser	unter 1

**Tabelle 1:** Anhaltswerte für spez. Widerstände

### Anwendungsbeispiel

Im Rahmen der Dammnachsorge wurde das Untersuchungsprogramm für die Rheinseitendämme der Stauhaltung Gambenheim aufgestellt.

Das Untersuchungsprogramm sieht alle 250 m eine Bohrungen von der wasserseitigen Dammkrone und alle 1000 m zusätzlich eine Bohrung von der luftseitigen Dammkrone und der Berme aus vor. Die Bohrtiefen wurden an die bereits vorliegenden Bohrungen angepasst, so dass sich eine Erkundung des Dammaufbaues bis in eine Tiefe von 3 m unter der Dammaufstandsfläche ergibt. Die Bohrungen von der wasserseitigen Dammkrone ermöglichen, sowohl in Dammschnitten mit Vollkern, als auch in Abschnitten mit Sparkern, eine gute Aussage über die Beschaffenheit des Dammkernmaterials und die Lage der Dammaufstandsfläche.

Zur Verfeinerung des Baugrundaufschlussrasters und zur Lokalisierung eventueller Schwachstellen sollte eine geophysikalische Vorerkundung durchgeführt werden. Als Messverfahren wurde eine Gleichstromgeoelektrische Kartierung gewählt mit einer Wenner-Schlumberger Anordnung und Sondenabständen von 2,5 m. Es wurden drei Messprofile ausgeführt. Ein Profil folgte dem wasserseitigen Rand der Berme, die beiden weiteren Profile wurden am luft- und am wasserseitigen Rand der Dammkrone aufgenommen. Die Anzahl der registrierten Tiefen-Ebene (Depth Levels) wurde im Allgemeinen so an die Dammhöhe angepasst, dass die vorab berechnete theoretische Erkundungstiefe ca. 1-2 m unter Dammaufstandsfläche reichte.

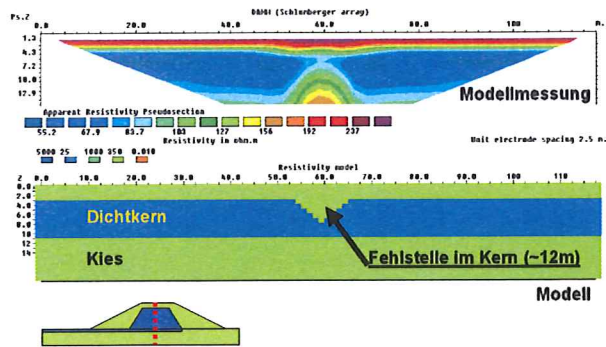
Vor Beginn der Untersuchungen wurde abgeschätzt ob die zu erwartenden Kontraste der physikalischen Materialeigenschaften (spezifische Widerstände) signifikant sind. Über Modellrechnungen konnte das Auflösungsvermögen der Methode untersucht werden. Es wurde bei-

C

C



spielsweise eine Fehlstelle (maximale Ausdehnung 12m) im Dammkern simuliert. Diese könnte mit der angewandten Methode detektiert werden (Bild 4). Die Grenzen des Verfahrens zeigten sich bei der Simulation von kleinen Metallkörpern in großer Tiefe (Blindgänger – Granaten).



**Bild 4:** Simulierte Fehlstelle im Dammkern

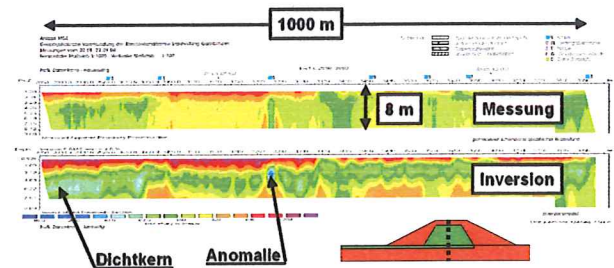
Im Feldeinsatz wurde mit einer Syscal-Apparatur der Firma Iris Instruments gemessen. Die Ankopplung an den Boden erfolgte mittels Erdspeieße alle 2,50 m, die aufgrund der trockenen Bodenverhältnisse befeuchtet wurden. So konnte gewährleistet werden das die Rohdaten eine gleichbleibende sehr hohe Qualität aufwiesen. Der Messfortschritt belief sich aufgrund des qualifizierten Personaleinsatzes und den messtechnischen Geräten auf ca. 3 km/d für eine 2D-Tomographie bis in 10 m Tiefe.



**Bild 5:** Feldmessung auf dem Rheinseitendamm

Die Auswertung der Messungen erfolgte mit dem Inversionsprogramm RES2DINV der Firma GEOTOMO SOFTWARE. In Bild 6 sind die Daten der Messung und die über die Rückrechnung (Inversion) gewonnene scheinbare Widerstandsverteilung dargestellt. Aus der Widerstandsverteilung konnte der laterale Verlauf des Dichtungskerns, die Form des Dichtungskerns (Sparkern - Vollkern) und die Mächtigkeit der Kiesüberdeckung einfach abgeleitet werden. Des weiteren konnten verlandete Altrheinarme und ehemalige nicht vollständig entfernte Bunkeranlagen identifiziert werden. An im geoelektrischen Profil auffälligen Stellen wurden die

Messdaten nachbearbeitet und nochmals ausgewertet und zusätzliche Bohrungen im Gelände ausgeführt.



**Bild 6:** Ergebnisse der Feldmessungen

Die Auswertung der durchgeführten geoelektrischen Messungen konnten mit den Ergebnissen der Bohraufschlüsse gut korreliert werden. Kiesige Überschüttungen, der Verlauf und die Ausführung des Dammkerns zwischen den Bohrungen konnte bestimmt werden. Die Methode ergänzt damit die Bohraufschlüsse sinnvoll und ermöglicht eine durchgehende Beurteilung der Dammstrecken hinsichtlich ihres Aufbaus.

### Literatur

Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Depo- nien und Altlasten. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Klaus Knödel, Heinrich Krummel, Gerhard Lange

Stauhaltung Gamsheim, Nachsorgeuntersuchungen an den Rheinseitendämmen und an Anschlussbereichen von Bauwerken (BAW-Nr. 2.03.10088.00)

