

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Schwabe, Jakob; Scheibe, Reiner

3D-Geoelektrik zur Erkundung des oberflächennahen Untergrundes

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103509>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schwabe, Jakob; Scheibe, Reiner (2013): 3D-Geoelektrik zur Erkundung des oberflächennahen Untergrundes. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Technischer und organisatorischer Hochwasserschutz - Bauwerke, Anforderungen, Modelle. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 48. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 279-286.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



3D-Geoelektrik zur Erkundung des oberflächennahen Untergrundes

Jakob Schwabe
Dr. Reiner Scheibe

Bei der Erkundung des Baugrunds bzw. von Erdbauwerken kommen häufig geoelektrische Messungen zum Einsatz. Hiermit sind vor allem Aussagen zum Stoffbestand hinsichtlich der Abgrenzung rollig-bindig anhand des vom Feinkorngehalt beeinflussten spezifischen elektrischen Widerstandes möglich. Die inzwischen zum Standard entwickelten profilhaften 2D-Verfahren werden seit geraumer Zeit erfolgreich insbesondere bei der überblicksweisen Erkundung von Dämmen und Deichen eingesetzt. Der Anwendung der geoelektrischen 2D-Tomografie haftet jedoch der Nachteil an, dass die verwendeten Algorithmen für die Auswertung (sog. Inversion) von einer in die dritte Dimension senkrecht zur Schnittebene konstanten Untergrundmodell ausgehen. Somit können die Ergebnisse über 3D-Strukturen verzerrt bzw. Körper mit geringer Ausdehnung senkrecht zur Schnittebene nicht hinreichend deutlich abgebildet werden. Sind primär räumlich eng begrenzte, kompakte Strukturen von Interesse, ist eine dreidimensionale Methodik erforderlich, welche die Widerstandsverteilung in einem ganzen Volumen gleichzeitig berücksichtigt (3D-Geoelektrik). Die 3D-Geoelektrik eignet sich daher bevorzugt für hochauflösende Detailerkundungen in Verdachtsbereichen, Erkundung kleinräumiger, eng begrenzter Körper (Hohlräume, Einbauten) sowie Objekte mit starker Topografie (Deichflanken etc.).

1 Einführung

Beim Bau von Talsperren und sonstigen Anlagen wie Speicherbecken, Dämmen und Deichen ist eine genaue Kenntnis der Untergrundbeschaffenheit unabdingbar. Dies gilt nicht nur für die Errichtung der Bauwerke selbst, sondern ist insbesondere für die Bewertung der hydrologischen Verhältnisse erforderlich. Direkte Aufschlüsse wie z.B. Bohrungen liefern hierfür sichere Aussagen zum Stoffbestand, können als punktuelle Stichproben jedoch keine Aussagen über die Kontinuität der Bodenschichten und den allgemeinen Strukturgehalt liefern. Für das Schließen der Informationslücken zwischen direkten Aufschlüssen können zerstörungsfreie geophysikalische Erkundungsmethoden eingesetzt werden.

Bei der Erkundung des Baugrunds bzw. von Bestandsbauwerken kommen inzwischen häufig geoelektrische Messungen zum Einsatz. Hiermit sind vor allem

Aussagen zum Stoffbestand hinsichtlich der Abgrenzung rollig-bindig möglich, weil der spezifische elektrische Widerstand in Lockersedimenten stark vom Feinkorngehalt beeinflusst wird. Auf Grund der großen inneren Oberfläche von Tonmineralen ist deren Leitfähigkeit besonders groß, so dass hier niedrige Widerstandswerte (typ. unterhalb von ca. $50 \Omega \cdot m$) entstehen, welche sich von denen rolliger Bildungen hinreichend unterscheiden. Gleichmaßen können anhand des elektrischen Widerstandes strukturelle Aussagen zur Festgesteinsoberfläche, Verwitterungszonen sowie zu Objekten wie Hohlräumen und Einbauten getroffen werden.

2 Methodik

2.1 Ausgangspunkt 2D-Geoelektrik

Aufgrund der fortschreitenden technischen Entwicklung und Verbreitung von Multielektrodensystemen werden geoelektrische Messungen bei ingenieurgeophysikalischen Erkundungen zumeist als sog. Sondierungskartierung (2D-Widerstandstomografie) durchgeführt. Multielektrodensysteme bestehen aus einer großen Menge Elektroden, die über einen Kabelbaum mit dem Messgerät verbunden sind. Üblich sind gegenwärtig Elektrodenanzahlen zwischen 50 und 150 Elektroden. Mit den einmal aufgestellten Elektroden werden vom Messgerät automatisch die für die gewählte Messanordnung notwendigen Elektrodenkombinationen nacheinander ausgewählt und entsprechende Widerstandswerte gemessen. Aus den dabei erhaltenen Widerstandsmesswerten muss das zugrunde liegende Widerstandsmodell (Widerstandsschnitt) im Rahmen der Auswertung rekonstruiert werden. Dieser als Inversionsrechnung bezeichnete Prozess erfolgt computergestützt und basiert auf der iterativen Suche eines die Messdaten bestmöglich erklärenden Widerstandsmodells. Hierbei finden physikalische Grundannahmen Berücksichtigung, so wird z. B. bei einem zweidimensionalen Ansatz von einem senkrecht zur Schnittebene konstanten Untergrundmodell ausgegangen.

Gegenwärtig sind profilhafte 2D-Verfahren zum Quasistandard entwickelt und werden seit geraumer Zeit erfolgreich bei hydrologischen Fragestellungen und insbesondere bei der überblicksweisen Erkundung von Dämmen und Deichen eingesetzt. Die 2D-Verfahren liefern Widerstands-Tiefenschnitte (Vertikalschnitte) entlang der Messachse. Nach Vermessung mehrerer paralleler Profile können aus den erhaltenen Vertikalschnitten näherungsweise Horizontalschnitte zur Ableitung flächenbezogener Aussagen berechnet werden.

2.2 3D-Geoelektrik

Die Anwendung von 2D-Verfahren auf die unbestreitbar dreidimensionale Realität hat allerdings insbesondere bei der Geoelektrik einige Nachteile. Davon abgesehen, dass ein 2D-Profilsschnitt prinzipiell keine 3D-Verteilung beschreiben kann, stimmt das Ergebnis einer 2D-Geoelektrik-Messung über einer 3D-Struktur nicht zwangsweise mit einem realen Schnitt entlang dieses Profils überein. Aufgrund der zur Profilachse radialsymmetrischen Empfindlichkeit linearer Anordnungen wird das Ergebnis auch von Strukturen beeinflusst, die neben dem Profil liegen. Dieser Einfluss kann von den 2D-Inversionsverfahren naturgemäß nicht berücksichtigt werden, da sie von einer senkrecht zur Profilebene konstanten Struktur ausgehen. Auch können Körper mit geringer Ausdehnung senkrecht zur Schnittebene, wie z.B. Hohlräume, nicht hinreichend deutlich abgebildet werden, da ihr Messeffekt bei Betrachtung als 2D-Körper zu schwach gewichtet wird. Beide Probleme bleiben auch bei der Erkundung dreidimensionaler Strukturen mit mehreren Parallelprofilen und profilweiser 2D-Inversion (sog. 2,5 D-Verfahren) bestehen.

Zur korrekten Abbildung von 3D-Strukturen sind daher Inversionsverfahren notwendig, welche die Widerstandsverteilung nicht nur in einer Ebene, sondern in einem ganzen Volumen berücksichtigen und modellieren. Im Ergebnis entsteht eine entsprechende echte 3D-Verteilung (Volumendaten) des spezifischen Widerstandes. Als Eingangsdaten sind dann auch entsprechend flächenhaft verteilte Messwerte notwendig. Diese können in Form von mehreren Parallelprofilen, idealerweise direkt mit flächenhaften Elektrodenanordnungen (mit Beschränkung auf kleine Flächen) gewonnen werden.

Die Methodik der 3D-Geoelektrik eignet sich daher bevorzugt für hochauflösende Detailerkundungen in Verdachtsbereichen, Erkundung kleinräumiger, eng begrenzter Körper (Hohlräume, Einbauten) sowie Objekte mit starker Topografie (Deichflanken etc.).

3 Beispiele

Im Folgenden werden 3 Messbeispiele für dreidimensionale geoelektrische Erkundungen mit verschiedenen Anwendungsfällen gezeigt.

3.1 Beispiel 1 – Erkundung eines verfüllten Gangbauwerkes

Im Rahmen einer Baufeldvorbereitung wurden alte begehbare unterirdische Heizungstunnel abgebrochen und mit dem Abbruchmaterial verfüllt. Anschließend wurden ca. 2 m Kies-Sand-Gemisch auf den sehr bindigen und durchfeuchteten

Mutterboden aufgebracht. Die Möglichkeit einer nachträglichen Ortung eines dieser Heizungskanäle sollte u. A. mittels 3D-Geoelektrik untersucht werden. Die kompakte Struktur und der geringe Materialkontrast des verfüllten Tunnels stellen neben der Abbildung der Schichtung eine Herausforderung für geoelektrische Verfahren dar. Die Messung der 18 m x 38 m großen Fläche erfolgte mit einem 10x15-Raster mit 2 m Elektrodenabstand.

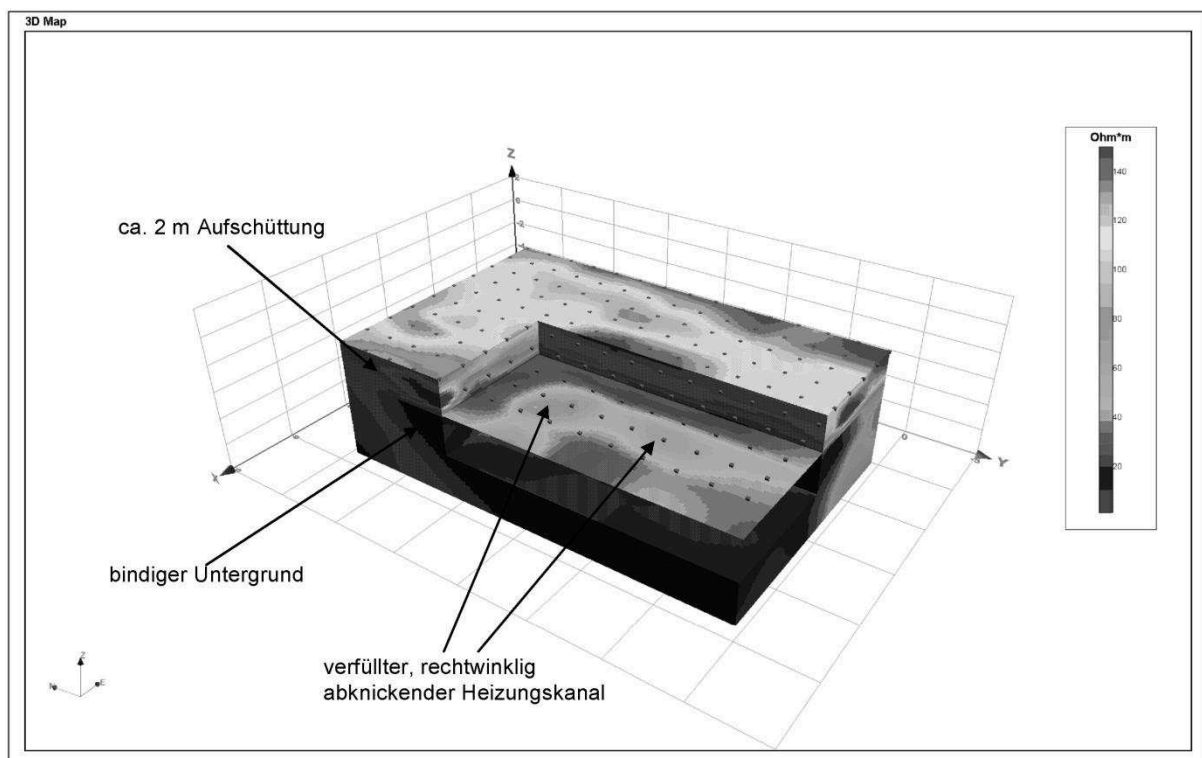


Abbildung 1: Ergebnis einer 3D-Messung zur Erkundung eines abgebrochenen und teilverfüllten Heizungskanals (3D-Blockbild). Der Kanal bildet sich als lage- und formrichtiges Widerstandsmaximum ab.

Die 3D-Inversion liefert ein deutliches lagerichtiges Abbild des rechteckig abbiegenden Kanals (Abb. 1). Die Abgrenzung des aufgeschütteten Materials zum darunter liegenden bindigen Mutterboden mit sehr niedrigen Widerständen gelingt bis auf die Randeffekte an den Ecken hervorragend.

Eine vergleichende 2D-Auswertung von aus den Messdaten extrahierten 2D-Linien konnte den Kanal erwartungsgemäß nicht abbilden. Die Abbildung 2 zeigt exemplarisch einen Vergleich zwischen 3D- und 2D-Inversion an einem Schnitt, welcher bei $Y = 6$ m senkrecht über den verfüllten Heizungskanal verläuft. Das Ergebnis der 3D-Inversion (oben) zeigt sowohl den Zweischichtfall (Urgelände / Auffüllung) als auch die verfüllte Hohlform des verbrochenen Hei-

zungskanals deutlich. Das Ergebnis der 2D-Inversion aus Profildaten (unten) gibt lediglich die generelle Schichtung wieder; ein Hinweis auf die verfüllte Struktur besteht nicht. Diese Beispiel zeigt eindrucksvoll den Vorteil der 3D-Methodik bei der Erkundung von kleinräumigen, eng begrenzten Objekten.

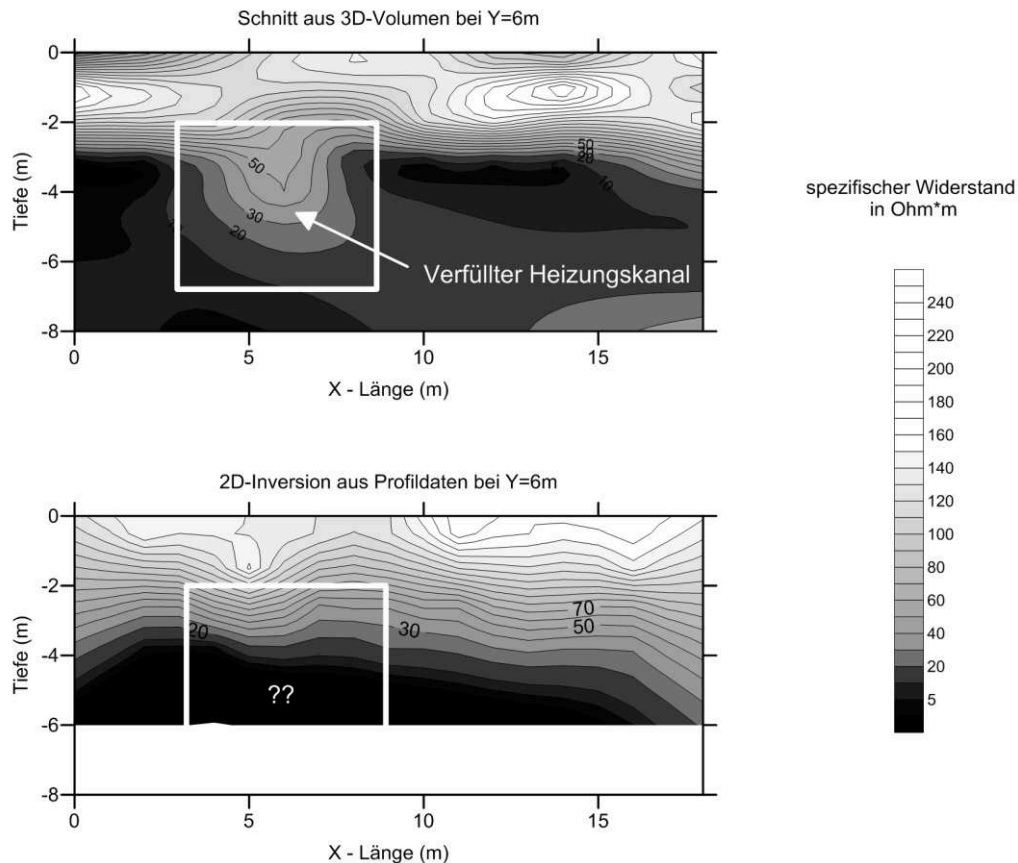


Abbildung 2: Vergleich der Ergebnisse von 3D-Auswertung (oben) und 2D-Auswertung (unten) für einen Vertikalschnitt über den verfüllten Kanal (vgl. Abbildung 1). Eine deutliche Indikation des Kanals entsteht nur bei der 3D-Inversion.

3.2 Beispiel 2 – Erkundung der Festgesteinsoberfläche

Zur Erkundung des Festgesteinsreliefs und potentieller karstbedingter Lagerungsstörungen (z. B. fossile Erdfälle) wurde eine Baugrundfläche mit 8 parallelen Profilen mit jeweils 244 m Länge und einem gegenseitigen Abstand von 20 m geoelektrisch vermessen. Angesichts der Größe der Messfläche (244 m x 140 m) war eine gleichzeitige flächige Elektrodenanordnung nicht mehr effizient, daher wurden die Daten feldseitig zunächst als 2D-Profile aufgenommen. Die regelmäßige flächige Belegung erlaubt jedoch eine nachträgliche 3D-Inversion ohne zusätzlichen Aufwand bei den Feldmessungen.

Das Ergebnis der 3D-Inversion (Abbildung 3) zeigt einen Zweischichtfall, welcher aus einer ca. 10 m mächtigen niederohmigen Bedeckung aus Zersatzmaterial und dem darunter liegenden unverwitterten Gestein mit höheren Widerständen besteht. Die aus den Daten extrahierte Grenzfläche (ca. bei $65 \Omega \cdot m$) enthält eine markante, näherungsweise kreisrunde Depression, welche auf eine entsprechende Einsenkung der Festgesteinsoberfläche hindeutet. Für das im Zentrum der Messfläche geplante Bauwerk war in der Folge eine Überarbeitung der Gründungsempfehlung erforderlich.

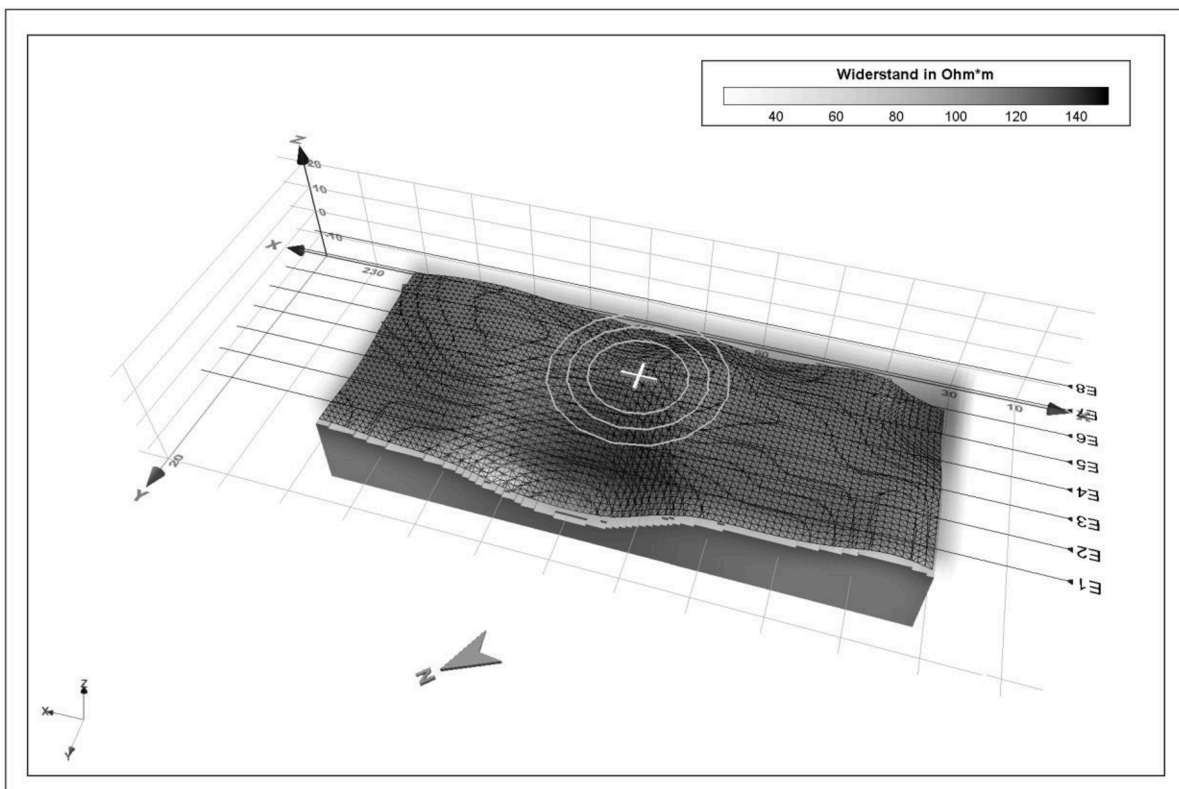


Abbildung 3: Relief der Festgesteinsoberfläche in einem 3D-Widerstandsbild (Isofläche $65 \Omega \cdot m$). Die markante Einsenkung im Bereich des geplanten Bauwerks (Kreise) deutet auf eine verfüllte Erdfallstruktur hin und machte weitere Untersuchungen zur Standsicherheit erforderlich.

3.3 Beispiel 3 – Deicherkundung

Ein weiterer Vorteil der 3D-Geoelektrik gegenüber dem 2D-Verfahren ist die Möglichkeit, den Einfluss des Oberflächenreliefs vollständig zu berücksichtigen. Der Reliefeffekt kann bei 2D-Profilen naturgemäß nur entlang der Profilachse kompensiert werden, während der Störeinfluss von Reliefelementen neben dem Profil unkorrigiert bleibt. Dies ist insbesondere bei markanten Geländestufen

wie Böschungen an Deich- und Dammbauwerken eine systematische Fehlerquelle bei der geoelektrischen Erkundung.

Ein Beispiel für ein dreidimensionales geoelektrisches Abbild eines Deiches wird in Abbildung 4 gegeben. Die Messdaten wurden in diesem Fall durch eine flächenhafte Anordnung aus 150 Elektroden gewonnen, welche während des Messfortschrittes mehrfach versetzt wurde. Auf diese Weise konnte ein Datensatz mit 350 Elektrodenpositionen für eine Fläche von 18 m x 68 m gewonnen werden. Die 3D-Inversion erfolgte unter Berücksichtigung der Geländehöhen. Das Ergebnis erlaubt eine zusammenhängende räumliche Betrachtung der Strukturen im Inneren des Deichkörpers.

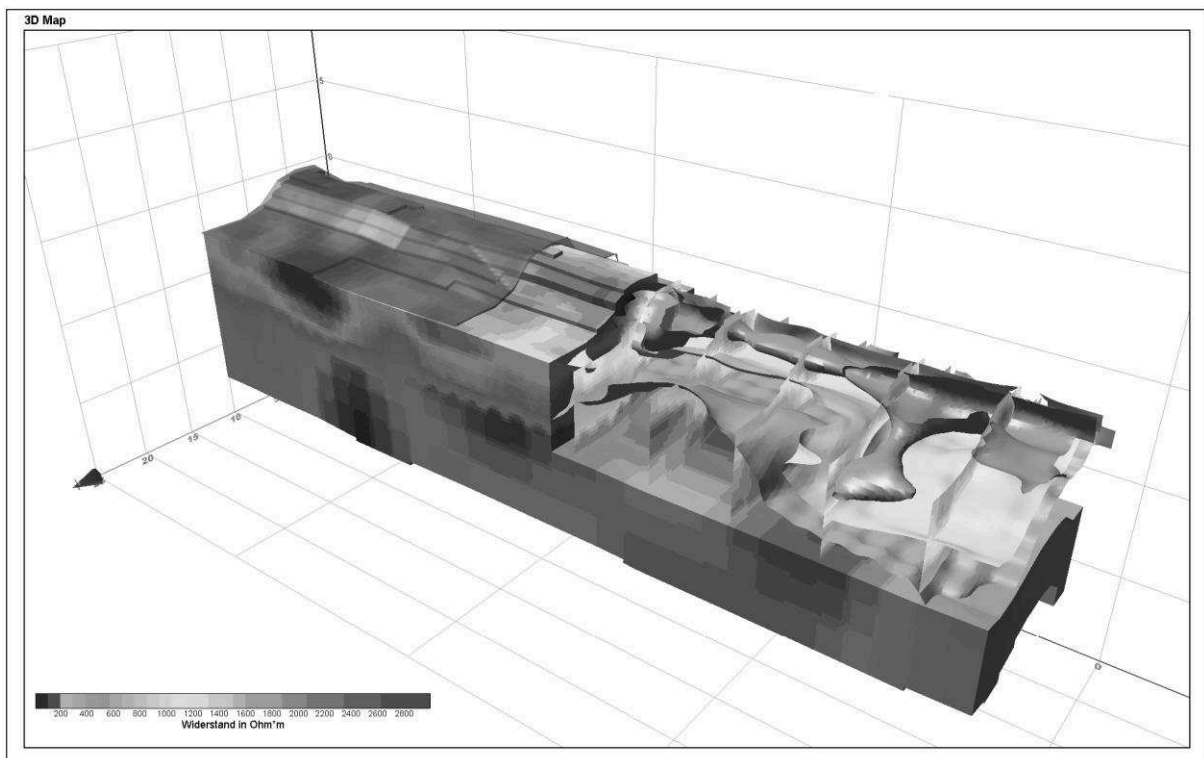


Abbildung 4: 3D-Widerstandsbild eines Deiches. Mit der interaktiven Wahl von Schnitten, Transparenzen und Isoflächen kann die innere Struktur des Deiches visualisiert werden.

Autoren:

Dipl.-Geophys. Jakob Schwabe

Geophysik GGD mbH
Ehrensteinstraße 33
04105 LeipzigTel.: +49 341 58 313 42
Fax: +49 341 58 313 33
E-Mail: schwabe@geophysik-ggd.com

Dipl.-Geophys. Dr. Reiner Scheibe

Geophysik GGD mbH
Ehrensteinstraße 33
04105 LeipzigTel.: +49 341 58 313 15
Fax: +49 341 58 313 33
E-Mail: scheibe@geophysik-ggd.com