

Geophysik-Praktikum – Versuch „Goelektrik“

Gruppe 3

Christoph Moder, Silke Richter, Michael Wack

Datum: 10.04.2003

Einführung

Die Messung von elektrischen Potenzialen ist eine von vielen Messverfahren, um den Aufbau der Erde zu ermitteln – wobei die verschiedenen physikalischen Messgrößen verschiedene Informationen liefern. Mit auf Wellen basierenden Verfahren wie Seismik oder Radar kann man gut Grenzschichten erkennen, an denen der jeweilige Wellentyp reflektiert oder gebrochen wird. Die andere Gruppe der Messverfahren untersucht Potenziale, z.B. das Gravitationspotenzial (Gravimetrie), das Magnetfeld oder die Erdwärme; auch die Messung des elektrischen Potenzials (egal ob natürlich entstanden oder künstlich während der Messung erzeugt) gehört dazu. Alle Messverfahren liefern unterschiedliche Informationen, die erst in der Summe ein genaues Bild ergeben.

Zur Messung von Potenzialen mit der Vierpunktmethode gibt es die Verfahren nach Wenner und nach Schlumberger; bei beiden sind die Elektroden in einer Linie angeordnet. Bei ersterem haben alle vier Elektroden den gleichen Abstand voneinander – das macht die Berechnungsformel einfacher und liefert höhere Spannungen als das Schlumberger-Verfahren, ist aber nicht so einfach in der Handhabung, weil der Abstand des inneren Elektrodenpaars (Sensoren) auch immer verändert werden muss. Dafür ergeben sich beim Schlumberger-Verfahren geringere Spannungen, da der Abstand der Sensoren im Vergleich zu den Elektroden kleiner ist.

Theoretischer Hintergrund

Für den Strom durch ein kugelförmiges Volumen gilt:

$$I = 4 \pi r^2 j(r) \\ \text{mit } \vec{j} = -\sigma \cdot \vec{\nabla} U; \nabla U = -\sigma \cdot \partial U / \partial r$$

Es ergibt sich:

$$\frac{\partial U(r)}{\partial r} = -\frac{1}{4 \pi \sigma} \frac{1}{r^2} \quad \text{bzw.} \quad U(r) = \frac{I}{4 \pi \sigma r} + C.$$

Gemessen wird eine Potenzialdifferenz zwischen zwei Punkten, d.h. man hat zwei verschiedene Entfernungen zur Feldquelle. Des weiteren wird das Feld von zwei Elektroden verursacht, wodurch man bereits mit vier Entfernungen rechnen muss. Außerdem wirkt die Erdoberfläche als elektrische Grenzfläche, die man mit der Methode der Spiegelladungen berechnen kann – diese virtuellen Ladungen verdoppeln die Anzahl der Feldquellen nochmals:

$$\Delta U_{12} = U(S_2) - U(S_1) = \frac{I}{4 \pi \sigma} \left[\left(\frac{1}{r_{2+}} + \frac{1}{r'_{2+}} - \frac{1}{r_{2-}} - \frac{1}{r'_{2-}} \right) - \left(\frac{1}{r_{1+}} + \frac{1}{r'_{1+}} - \frac{1}{r_{1-}} - \frac{1}{r'_{1-}} \right) \right]$$

Bei den geoelektrischen Messmethoden sitzen die Elektroden sehr dicht an der Oberfläche, so dass man den Abstand der Spiegelladungspaare voneinander vernachlässigen kann, d.h. $r = r'$. Bei der Wenner-Anordnung gilt außerdem

$$r_{1-} = r_{2+} = a, \quad r_{1+} = r_{2-} = 2a,$$

bei der Schlumberger-Anordnung gilt

$$r_{1-} = r_{2+} = \frac{1-s}{2}, \quad r_{1+} = r_{2-} = \frac{1+s}{2}.$$

Berechnung des spezifischen Widerstands bei der Wenner-Methode:

$$\rho_s = 2 \pi a \frac{U}{I} \quad (a : \text{Abstand der Elektroden}; U : \text{gemessene Spannung}; I : \text{Strom})$$

Berechnung des spezifischen Widerstands bei der Schlumberger-Methode:

$$\rho_s = \frac{\pi \cdot U}{4 I} \cdot \frac{l^2 - s^2}{s} \quad (l : \text{Abstand der äußeren Elektroden}; s : \text{Abstand der inneren Elektroden};)$$

Versuchsaufbau

Über einem Wasserbecken von ca. 1,5 m × 1,5 m befindet sich ein Balken, in dessen Rasterlöcher Elektroden gesteckt werden können. Die Elektroden werden mit Schmirgelpapier von der Oxidschicht befreit, nach der Schlumberger-Anordnung in den Balken gesteckt und mit dem Messgerät verbunden, das sie mit einer Spannung von 50 V betreibt. Die mittleren beiden Mess-Elektroden verbleiben in einem Abstand von 4 cm voneinander, während der Abstand der beiden äußeren Elektroden, durch die der Strom in das Wasser geleitet wird, variiert wird (von 2 cm bis 56 cm).

Vor jeder Messung müssen in das Auswertungsgerät die Abstände des inneren und des äußeren Elektrodenpaars von der Mitte eingegeben werden; zusammen mit der gemessenen Spannung und dem gemessenen Strom errechnet das Gerät daraus nach obiger Schlumberger-Formel den spezifischen Widerstand. Dieser wird notiert und anschließend in ein doppelt logarithmisches Diagramm eingezeichnet.

Zu beachten ist während des Versuchs, dass der Strom immer über 50 mA bleibt (zur Verbesserung der Messgenauigkeit) – wenn er geringer ist, setzt man am besten die Elektroden ein Stück tiefer. Entscheidend ist, dass die Eintauchtiefe gering ist im Verhältnis zum Abstand der Elektroden, und dass die Elektroden zuverlässigen Kontakt zur Wasseroberfläche haben. Problematisch können angeblich auch die auf der Wasseroberfläche schwimmenden Kalkflecken sein, wenn sie sich direkt an die Elektroden anlagern – unser Papierschiffchen hat diese erfolgreich bekämpft <g>.

Messergebnis

Wie man aus dem Diagramm erkennen kann, steigt der spezifische Widerstand mit zunehmender Entfernung der Elektroden an. Weil der spezifische Widerstand eine Materialkonstante ist und das Wasser im Becken auf jeden Fall homogen ist, würde man einen konstanten Wert erwarten. Im Vergleich mit den in der Versuchsanleitung abgedruckten Diagrammen zeigt sich, dass die Kurve ähnlich zu der eines Bodens ist, der aus zwei Schichten besteht und dessen Deckschicht besser leitet als die darunter liegende Schicht. Und eigentlich haben wir genau diesen Fall: Das Wasser im Becken ist ein ziemlich guter elektrischer Leiter, im Vergleich zum darunter liegenden Betonboden. Je weiter die Elektroden voneinander entfernt sind, desto weiter ragt das elektrische Feld nach unten (genauer: das elektrische Feld hat grundsätzlich eine unendliche Reichweite, aber je weiter die Elektroden auseinander sind, desto stärker tragen die weiter entfernten Komponenten zum Gesamtfeld bei – das Gesamtfeld ist also gleich groß, aber über einen größeren Raum verteilt).

Wenn man den spezifischen Widerstand des Bodens näherungsweise als unendlich annimmt, könnte man das elektrische Feld und damit die auftretenden Potenziale mit der Methode der Spiegelladungen berechnen; allerdings gäbe es dann zwei „Ladungsspiegel“, die Wasseroberfläche und der Boden des Wasserbeckens. Und genauso wie bei parallelen optische Spiegeln dürfte das zu unendlich vielen virtuellen Feldquellen führen – nicht ganz einfach zu berechnen.

Dass das Becken nicht flächenmäßig unendlich groß ist, beeinflusst das Ergebnis auch; dadurch steigt die Kurve des spezifischen Widerstands stärker, als selbst durch eine Schicht mit unendlich hohem spezifischen Widerstand zu erwarten wäre.

Diagramm der Messung

