

Bodenwiderstandsmessungen mit Hilfe geoelektrischer Sondierungen

by Dr. Klaus-Erich Nowak (Ingenieurbüro Nowak, Deutschland)

1 Allgemeines

Im Jahre 1838 entdeckte Steinheit die Leitfähigkeit des Erdbodens. Diese Entdeckung war Grundlage für die vielfältige Nutzung des Erdbodens als Leiter für den elektrischen Strom. Durch den Aufbau bedingt, liegt die Leitfähigkeit des Erdreiches weit unter der, herkömmlicher metallischer Leiter. Im Erdboden tritt sowohl Ionen- als auch Elektronenleitung des elektrischen Stroms auf. Wegen seiner Eigenschaften bezeichnet man ihn als Leiter zweiter Klasse.

Durch die unterschiedliche geologische Struktur, die verschiedene chemische Zusammensetzung, den Stand des Grundwassers usw., ist die Leitfähigkeit des Erdreiches örtlich unterschiedlich. Daraus ergibt sich für viele technische Prozesse die Forderung nach Bestimmung der spezifischen Leitfähigkeit bzw. des spezifischenelektrischen Bodenwiderstandes unmittelbar vor Ort.

Die Berechnung von Anodenanlagen für den kathodische Korrosionsschutz, die Berechnung der zulässigen Beeinflussung nach DIN EN 50165, die Berechnung von Erdersystemen zur Ableitung unzulässig hoher Wechselspannungen und viele weitere Anwendungen erfordern eine möglichst genaue Kenntnis des spezifischen elektrischen Bodenwiderstandes. Oft ist die Effektivität von Erdersystemen und Anodenanlagen für den kathodischen Korrosionsschutz abhängig von der Genauigkeit der Ermittlung dieser physikalischen Größe.

Der spezifische Bodenwiderstand ρ wird definiert als der elektrische Widerstand, der zwischen zwei parallelen quadratischen Platten mit einer Kantenlänge und einem Abstand von je 1 m (Einheitswürfel) gemessen wird. Die Maßeinheit des spezifischen elektrischen Bodenwiderstandes ist das Ohmmeter (Ωm) (Bild 1).

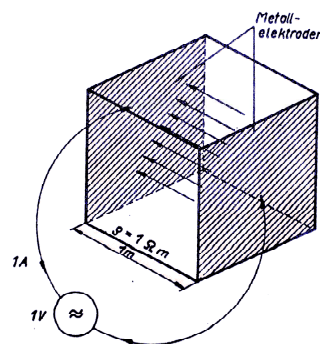


Bild 1: Darstellung der Definition des spezifischen Bodenwiderstandes

2 Einflussgrößen

Der spezifische elektrische Bodenwiderstand unterliegt zeitlichen Schwankungen, deren Ursache u. a. klimatische Faktoren sind. Die hauptsächlichen Einflüsse sind Niederschläge und Temperatur. Mit der Bodenfeuchtigkeit steigt allgemein die Leitfähigkeit des Bodens.

Der Einfluss der Temperatur ist besonders in der Nähe des Gefrierpunktes des Wassers zu beachten, da man Eis praktisch als Nichtleiter betrachten kann. Die jahreszeitlichen Schwankungen des mittleren spezifischen elektrischen Bodenwiderstandes untersuchte Wettstein. Aus den Wettstein-Kurven geht hervor, dass der spezifische Erdwiderstand jahreszeitlich bis zu 40 % schwanken kann.

Eine weitere Einflussgröße ist der Druck. Diese Größe hat einen signifikanten Einfluss auf den Messwert bei der Messung des Bodenwiderstandes in Messzellen.

3 Möglichkeiten zur Ermittlung des spezifischen Erdwiderstandes

Zur Ermittlung des spezifischen elektrischen Bodenwiderstandes haben sich im Laufe der Zeit eine Reihe von Hilfsmitteln und Messverfahren herausgebildet. Die bekanntesten sind wohl

- Leitfähigkeitstabellen
- das Einschlagen von Probeerdern
- Widerstandsmesszellen
- Geoelektrische Sondierungen (z.B. Wenner-Verfahren, Schlumberger-Verfahren, Hummel-Verfahren u.a.)

Leitfähigkeitstabellen sind für Berechnungen nicht genau genug. Ihr Einsatz ist nur für allgemeine Einschätzungen sinnvoll.

Mit den Probeerdern sind sehr genaue Messergebnisse möglich, die jedoch in hohem Maße von der Konstruktion der Probeerder abhängig sind. Der Nachteil der Probeerder ist, dass sie nur oberflächennah einsetzbar sind.

Widerstandsmesszellen haben den großen Nachteil, dass bei der Bestimmung des Bodenwiderstandes Bodenstrukturen zerstört werden und damit signifikante Messfehler auftreten. Die Vier-Elektroden-Messzelle hat zusätzlich noch den Nachteil, dass das elektrische Feld innerhalb der Messzelle so stark verzerrt wird, dass es zu großen Messfehlern kommen kann. Wenn mit einer Messzelle gemessen werden muss, weil andere Verfahren nicht anwendbar sind, so sollte eine Messzelle verwendet werden, die einem Einheitswürfel entspricht (Bild 2).



Bild 2: Einheitswürfelmesszelle

Allgemein durchgesetzt haben sich die Vier-Elektrodenverfahren nach Wenner und Schlumberger. Diese beiden Verfahren unterscheiden sich in der Messanordnung und in der Aufschlusscharakteristik. Während bei der Schlumberger-Anordnung ein nadelförmiger Aufschluss erreicht wird (Bild 3), bietet die Wenner-Anordnung einen kegelförmigen Aufschluss (Bild 4)

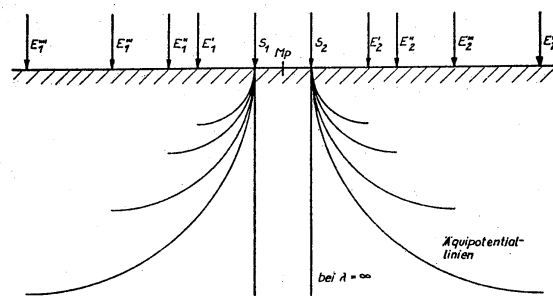


Bild 3: Aufschlusscharakteristik der Schlumberger-Anordnung

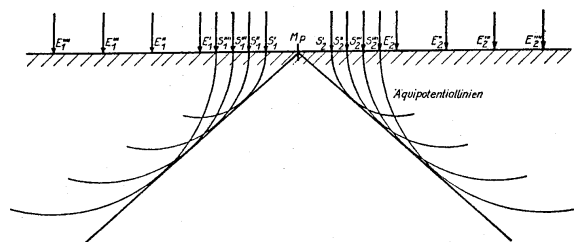


Bild 4: Aufschlusscharakteristik der Wenner-Anordnung

Die Wenner-Anordnung eignet sich also für die oberflächennahe Bestimmung des spezifischen elektrischen Bodenwiderstandes, während die Schlumberger-Anordnung für Tiefenaufschlüsse geeignet ist.

Mit einem Vier-Elektroden-Verfahren kann der spezifische elektrische Bodenwiderstand ohne Korrekturverfahren nur bei einem homogenen Aufbau des Erdreiches mit

hinreichender Genauigkeit gemessen werden. Das ist ein in der Natur sehr selten vorkommender Fall.

Bei einem inhomogenen Aufbau des Erdreiches (übereinander liegende Bodenschichten) ist das Messergebnis der scheinbare spezifische Bodenwiderstand ρ_s , der sich signifikant vom spezifischen Bodenwiderstand ρ unterscheiden kann. Je größer die Widerstandsdifferenzen zwischen den übereinander liegenden Bodenschichten ist, desto größer ist die Abweichung des scheinbaren spezifischen Bodenwiderstandes vom tatsächlichen spezifischen elektrischen Bodenwiderstand.

Bodenwiderstandsmessungen mittels geoelektrischer Sondierungen ermöglichen eine hinreichend genaue Ermittlung der spezifischen elektrischen Bodenwiderstände in geschichteten Böden, wobei sowohl die spezifischen elektrischen Bodenwiderstände als auch die Mächtigkeit der einzelnen Bodenschichten ermittelt werden können.

Bei geoelektrischen Sondierungen erfolgt die Aufnahme der Funktion $\rho_s = f(k)$, wobei k die Konfigurationskonstante ist. Bei der Wenner-Anordnung gilt z.B. $k = 2\pi a$ mit $a =$ Sondenabstand.

Die gewonnene Funktion wird mit Modellfunktionen verglichen. Aus diesem Vergleich, der ursprünglich per Hand vorgenommen wurde und heute mittels einer speziellen Software erfolgt, kann dann der reale spezifische elektrische Bodenwiderstand errechnet werden.

Der auf diese Weise berechnete spezifische elektrische Bodenwiderstand ist hinreichend genau für Berechnungen, wie Anodenanlagen und elektrische Erder.

Für Beeinflussungsmessungen und Diagnosemessungen sollten in jedem Fall geoelektrische Sondierungen genutzt werden.

Aus der geophysikalischen Praxis ist dieses Verfahren, das in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts von Schlumberger entwickelt wurde, nicht mehr wegzudenken. Es ist an der Zeit, dass es auch im Bereich des kathodischen Korrosionsschutzes Einzug hält. Alle Voraussetzungen dafür sind gegeben.

