

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der  
DBG – Kom. I  
Titel der Tagung: Böden verstehen,  
Böden nutzen,  
Böden fit machen  
Veranstalter: DBG, September  
2011, Berlin  
Berichte der DBG (nicht begutachtete  
online Publikation)  
<http://www.dbges.de>

### **Untersuchung von hydrologischen Parametern und Spektren der Induzierten Polarisation an Lockersedimentproben**

Sven Nordsiek, Wolfgang Durner,  
Andreas Hördt und Efstathios  
Diamantopoulos

#### **Zusammenfassung**

Im Rahmen eines gemeinsamen Projektes des Instituts für Geophysik und extraterrestrische Physik und des Instituts für Geoökologie der TU Braunschweig werden Zusammenhänge zwischen bodenhydrologischen und elektrischen Parametern untersucht. Für die Messungen an verschiedenen Bodenproben wurde eine Messzelle entwickelt, die sowohl die Bestimmung der hydrologischen Eigenschaften durch Multi-Step-Ausflussexperimente (MSO) als auch die Untersuchung mittels spektraler Induzierter Polarisation (SIP) an Lockersedimenten ermöglicht. Das Probenmaterial verbleibt bei beiden Verfahren in derselben Messzelle. Eine Veränderung der Probeneigenschaften durch den Aus- und Wiedereinbau des Materials wird ausgeschlossen. Die Messzelle und Ergebnisse der ersten Untersuchungen werden vorgestellt.

---

Institut für Geophysik und extraterrestrische  
Physik  
Technische Universität Braunschweig  
s.nordsiek@tu-bs.de

#### **Schlüsselwörter**

Spektrale Induzierte Polarisation,  
Multistep-Outflow Experiment,  
Lockersedimentproben

#### **Einleitung**

Das Verständnis der Zusammenhänge zwischen hydraulischen und elektrischen Eigenschaften von Lockersedimenten ist für die Abschätzung hydrologischer Parameter des oberflächennahen Untergrunds mit Hilfe elektrischer Messverfahren unverzichtbar. Auf Grund der Sättigungsabhängigkeit der elektrischen Eigenschaften stellt die ungesättigte Bodenzone eine besondere Herausforderung dar. Anders als bei Festgesteinen spielt der Einbau des Probenmaterials in die Messzelle bei Lockersedimenten eine entscheidende Rolle. Veränderungen bei der Verdichtung des Probenmaterials üben einen Einfluss auf die Eigenschaften des Porenraums der Probe aus (z. B. Koch et al., 2009). Für die Vergleichbarkeit der Resultate hydrologischer und elektrischer Messungen ist es notwendig, Veränderungen im Porenraum der Probe ausschließen zu können.

#### **Material und Methoden**

Beim Verfahren der SIP wird der komplexe spezifische elektrische Widerstand für unterschiedliche Frequenzen aus einem Intervall (hier: 0,01 Hz bis 100 Hz) erfasst. Das Interesse gilt Polarisierungseffekten, die durch Vorgänge im Porenraum verursacht werden. Das Ergebnis wird durch ein Amplituden- und ein Phasenwinkelspektrum dargestellt. Bei den hier beschriebenen Messungen wird das Frequenzintervall stets dreimal durchlaufen, um anschließend den Mittelwert und die Standardabweichung der Amplitude und des Phasenwinkels zu berechnen. Die Auswertung von 18 Messungen an einer Bodenprobe ergab im Mittel eine Standardabweichung von 0,5  $\Omega$ m für das Amplituden- und 0,3 mrad für das Phasenwinkelspektrum.

Die Messzelle (Abbildung 1) besteht aus einem Acrylglaszylinder, an dessen Enden sich poröse Bronzeplatten befinden, über die die Stromeinspeisung erfolgt. An zwei Ringelektroden im mittleren Teil der

Messzelle wird die Spannung gemessen. Mit Hilfe von Belüftungslöchern im Zylinder kann der Sättigungszustand der Probe verändert werden.

Beim MSO-Experiment wird die gesättigte Bodenprobe entwässert. Dazu wird an der unteren Platte der Messzelle ein Unterdruck angelegt und stufenweise erhöht. Neben dem kumulativen Ausfluss wird mit Hilfe eines Tensiometers das Matrixpotenzial in der Säule in Abhängigkeit vom angelegten Unterdruck erfasst. Aus den Messdaten des Experiments werden anschließend Retentions- und Leitfähigkeitskurven bestimmt.

Für die ersten Messungen wurde eine gut sortierte Feinsandprobe mit einer Korngröße von 0,1 bis 0,3 mm ausgewählt. Außerdem wurden zwei sandige Bodenproben vom Ufer des Flusses Schunter in Braunschweig entnommen. Als Porenfluid wurde in allen Fällen eine Natriumchlorid-Lösung verwendet.

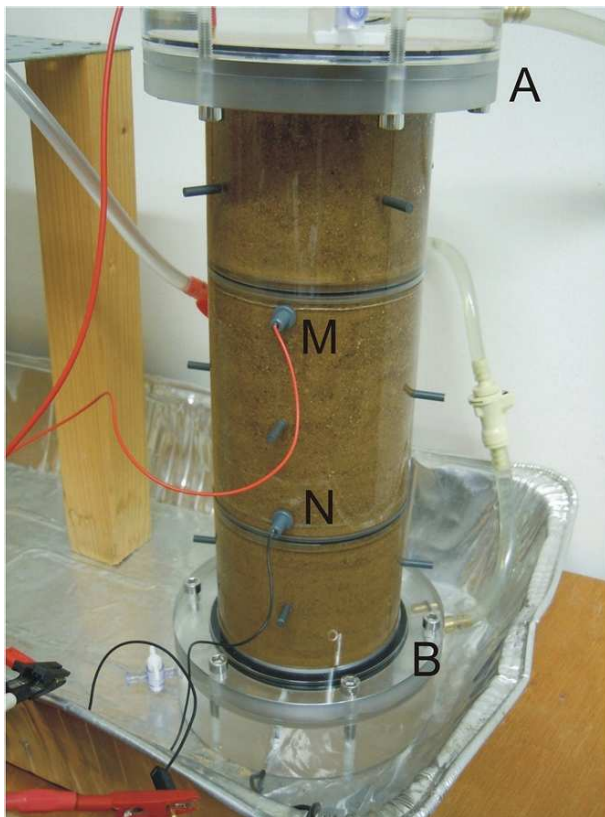


Abb. 1: Die Messzelle. An den Enden befinden sich die porösen Bronzeplatten (A und B), über die die Stromeinspeisung erfolgt. M und N kennzeichnen die Positionen der Ringelektroden zur Spannungsmessung.

## Ergebnisse

### a) Der Polarisierungseffekt

In Abbildung 2 wurden die Phasenwinkel der Feinsandprobe und beider Bodenproben über der Frequenz aufgetragen. Bei der Feinsandprobe ist ein sehr geringer Phasenwinkel und damit nur ein schwacher Polarisierungseffekt zu erkennen. Die beiden Bodenproben zeigen einen stärkeren Polarisierungseffekt und sind für die geplanten Untersuchungen deshalb besser geeignet als der Feinsand.

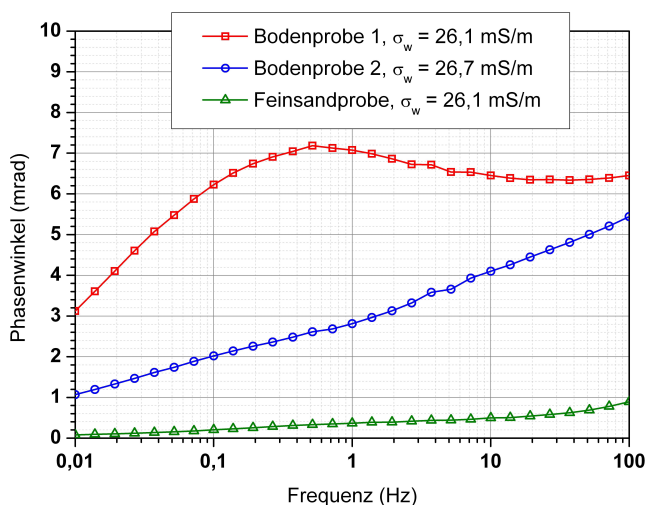


Abb. 2: Phasenwinkelspektren der Feinsandprobe und der beiden sandigen Bodenproben. Die SIP-Messungen wurden in gesättigtem Zustand durchgeführt.

### b) Temperatureinfluss

Um zu überprüfen, wie groß die zu erwartenden Variationen der Umgebungstemperatur am Messplatz sind und ob sich diese signifikant auf die SIP-Messung auswirken, wurde die mit einer Natriumchlorid-Lösung gesättigte Bodenprobe 1 für einen Zeitraum von circa vier Wochen in der Messzelle gelassen. Eine Auswahl der aufgenommenen SIP-Spektren ist in Abbildung 3 dargestellt. Im Amplitudenspektrum liegt die Differenz zwischen den einzelnen Messungen bei maximal 6 % des Messwertes. Für die Phasenwinkelspektren beträgt der Unterschied weniger als 1 mrad. Die während der einzelnen Messungen am Platz registrierten Temperaturschwankungen lagen bei maximal 0,4 K.

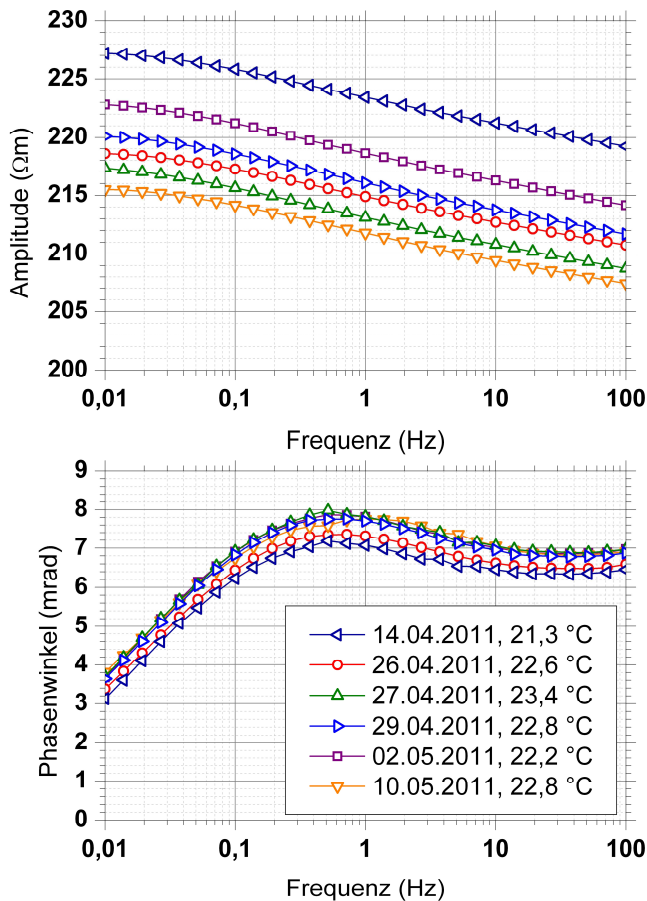


Abb. 3: SIP-Spektren der Bodenprobe 1. In der oberen Darstellung wurde die Amplitude des spezifischen Widerstands über der Frequenz aufgetragen. Im unteren Diagramm sind die zugehörigen Phasenwinkelspektren abgebildet. In der Legende sind zusätzlich die Mittelwerte der Umgebungstemperatur für jede SIP-Messung angegeben

### c) MSO-Versuche

Nach Abschluss der SIP-Messungen wurden erste Tests mit dem MSO-Verfahren durchgeführt. Das Ergebnis der anschließenden Inversion in Form einer Retentionskurve und einer Kurve der hydraulischen Leitfähigkeit ist in den Abbildungen 4 und 5 exemplarisch für eine Boden- und die Feinsandprobe dargestellt. Als Funktionsform wurde die van Genuchten-Mualem-Funktion verwendet.

Die Feinsandprobe entwässert in einem sehr engen Druckintervall zwischen pF 1.5 und pF 2.0, was den Erwartungen angesichts der engen Partikelgrößenverteilung entspricht. Die Bodenprobe „Schunter“ spiegelt ebenfalls die Bodenart Sand wider, allerdings mit einer etwas weiteren Porengrößenverteilung.

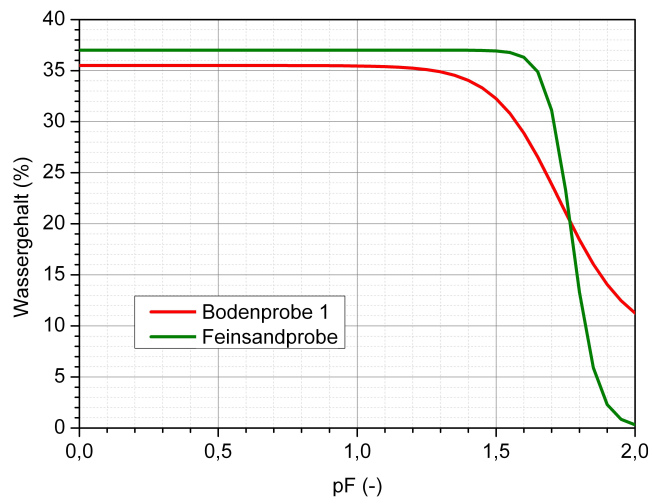


Abb. 4: Retentionskurven der Feinsand- und einer Bodenprobe.

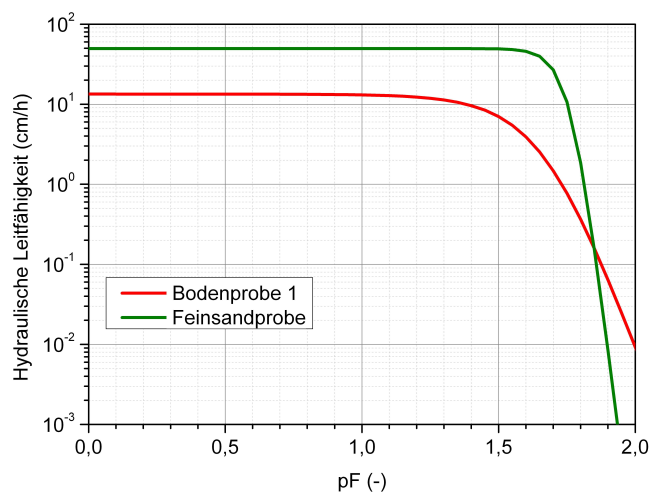


Abb. 5: Hydraulische Leitfähigkeit der Feinsand- und einer Bodenprobe.

### Fazit und Ausblick

Die SIP-Untersuchungen an den drei betrachteten Lockersedimentproben haben ergeben, dass der Polarisierungseffekt der gut sortierten Feinsandprobe sehr schwach ausfällt und sich dieses Material deshalb nicht für die Betrachtung der Zusammenhänge zwischen hydrologischen und elektrischen Parametern eignet. SIP-Messungen an verschiedenen Tagen haben gezeigt, dass sich die Temperaturschwankungen am Messplatz in den Amplituden- und den Phasenwinkelspektren niederschlagen. Die permanente Aufzeichnung der Raumtemperatur ermöglicht es, diese Einflussgröße zu kontrollieren. Größere Schwankungen während der SIP-Messungen können so erkannt werden. Die Eignung der Messzelle für MSO-

Experimente wurde an der Feindsand- und einer Bodenprobe überprüft. Als nächster Schritt steht die Aufnahme von SIP-Spektren an Bodenproben in verschiedenen teilgesättigten Zuständen bevor. Durch die quantitative Auswertung der SIP-Spektren mit Hilfe der Debye-Zerlegung (Nordsiek und Weller, 2008) sollen charakteristische Parameter ermittelt und zu den aus MSO-Versuchen bestimmten hydraulischen Parametern in Bezug gesetzt werden. Neben der Verwendung einer Natriumchlorid-Lösung als Porenfluid wird zur Zeit mit Calciumchlorid-Lösungen unterschiedlicher Stärke experimentiert.

## **Dank**

Für hilfreiche Hinweise bei der Konstruktion der Messzelle danken wir Andreas Kemna (Universität Bonn), Egon Zimmermann (Forschungszentrum Jülich, ZEL), Sander Huisman und Katrin Breede (beide Forschungszentrum Jülich, IBG-3). Der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) danken wir für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Projekts HO 1506/17-1.

## **Literatur**

Koch, K., Irving, J. und Holliger, K., 2009, Controlled changes in grain size and pore characteristics and their impact on the hydraulic conductivity and spectral induced polarization response of proxies of alluvial sediments. SEG International Exposition and Annual Meeting, Houston, 1365 – 1369.

Nordsiek, S. und Weller, A., 2008, A new approach to fitting induced-polarization spectra. *Geophysics* 73, No. 6, F235 – F245.