

Tagungsbeitrag zu: Sitzung der Kommission V der DBG
Titel der Tagung: Jahrestagung 2009 – Böden eine endliche Ressource
Veranstalter: Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, 5.-13. September 2009, Bonn
Berichte der DBG (nicht begutachtete online-Publikation)
<http://www.dbges.de>

Dielektrische Eigenschaften von Böden aus periglaziären Lagen im Taunus

Lauer, K.¹, Salat, C.², Albrecht, C.¹, Felix-Henningsen, P.¹, Junge, A.²

Zusammenfassung

Beim Georadarverfahren werden die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen und die Reflexionskoeffizienten entscheidend von der relativen Dielektrizitätszahl bestimmt. Ist diese bekannt, können über die Wellengeschwindigkeit die Tiefe von Schichtgrenzen und die Mächtigkeiten von periglaziären Lagen ermittelt werden. Im Labor wurde die relative Dielektrizitätszahl (Real- und Imaginärteil) für 25 unterschiedliche Bodenarten bei künstlich eingestellten Wassergehalten im Frequenzbereich von 1 MHz bis 3 GHz gemessen. Die Ergebnisse zeigen deutlich die Abhängigkeit der relativen Dielektrizitätszahl vom Wassergehalt, der Körnung und der Trockenrohdichte. Durch die Ausweisung von Kalibrierfunktionen für die verschiedenen Bodenarten sind bei bekanntem Wassergehalt Aussagen über Schichtgrenzen und Mächtigkeiten von periglaziären Lagen ohne Geländekalibrierungen möglich.

Georadar, periglaziäre Lagen, relative Dielektrizitätszahl, Wassergehalt

¹ Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung, Justus-Liebig-Universität Gießen, Heinrich-Buff-Ring 26, 35392 Gießen

² Institut für Geowissenschaften, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Altenhöferallee 1, 60438 Frankfurt am Main

1 Einleitung

Die relative Dielektrizitätszahl ϵ_r ist eine von den Material- und Gefügeeigenschaften der Böden abhängige physikalische Größe. Sie bestimmt wesentlich die Geschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen im Untergrund sowie deren Reflexion an Schichtgrenzen und ist somit für Georadaruntersuchungen von großer Bedeutung. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Geowissenschaften der Universität Frankfurt am Main wurden Dielektrizitätszahlmessungen an 25 Bodenproben mit unterschiedlicher Bodenart durchgeführt. Die Proben wurden Bodenprofilen im Taunus (Rheinisches Schiefergebirge) entnommen, wo mit Ausnahme der Täler periglaziäre Lagen das Substrat der holozänen Bodenbildung darstellen.

Das Ziel der Labormessungen war die Ausweisung von Kalibrierfunktionen, welche die relative Dielektrizitätszahl beziehungsweise die Wellengeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Wassergehalt für verschiedene Bodenarten zeigen. Diese Funktionen sollen zukünftig die Anzahl der Geschwindigkeitskalibrierungen im Feld, bei denen Bohrstangen rechtwinklig zur Profilwand sowie oberflächenparallel in Bodenprofile eingeschlagen werden, verringern.

2 Labormethoden

Die Messung der relativen Dielektrizitätszahl wurde mit einem Impedanzanalysator (1 MHz bis 3 GHz; *Agilent E4991A RF*) und einer Hochfrequenz-Messzelle (*Novocontrol*) durchgeführt (vgl. Abbildung 1). Diese besteht aus einem Plattenkondensator. Die bei 40°C getrockneten und kleiner 2 mm gesiebten Bodenproben wurden zwischen die beiden Platten eingebaut. Der Durchmesser der Platten beträgt 12 mm. Als Probenhalter fungierte ein Teflonring, dessen Dielektrizität über den betrachteten Frequenzbereich konstant ist. Nach Anlegen einer Wechselspannung wurden die Kapazität C_p und der dielektrische Verlustfaktor D erfasst, aus denen der Real- und der Imaginärteil der relativen Dielektrizitätszahl berechnet wurden. Hierbei beschreibt der Realteil ϵ_r'

die Fähigkeit der Probenmaterialien Energie zu speichern, wohingegen der Imaginärteil ϵ_r'' die Energieverluste wiedergibt.

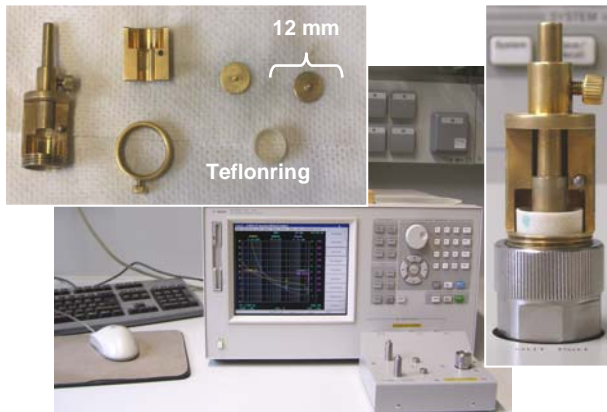


Abbildung 1: Impedanzanalysator und Hochfrequenz-Messzelle

Da der Wassergehalt großen Einfluss auf die Dielektrizität von Böden hat, wurden die Messungen bei unterschiedlichen Feuchten durchgeführt. Dazu wurden 60 g jeder Bodenprobe in Feuchtedosen eingewogen und mit 18 g destilliertem Wasser versetzt. Auf diese Weise gelang es Wassergehalte von circa 30 Masse-% in den Probenmaterialien einzustellen. Nach Homogenisieren und einer 24-stündigen Verweildauer der Boden-Wasser-Gemische in den Feuchtedosen wurde jede Bodenprobe zu gleichen Mengen auf 5 Aluminiumschälchen aufgeteilt. Durch Verdunstung stellten sich anschießend näherungsweise Wassergehalte von 25-, 20-, 15-, 10- und 5 Masse-% ein. Zusätzlich wurden die getrockneten Bodenproben in die Messreihen einbezogen. Durch Multiplikation der gravimetrisch ermittelten Wassergehalte mit der Trockenrohddichte wurden die volumetrischen Wassergehalte abgeleitet. Die Trockenrohddichten wurden aus den jeweiligen Trockengewichten der gemessenen Bodenproben (Trocknung bei 105 °C) und deren Volumina während des Messvorgangs errechnet. Um die Reproduzierbarkeit des Materialeinbaus sicherzustellen, wurden die in die Messzelle eingebauten Bodenproben stets mit einem gleich großen Gewicht verdichtet.

Für jede der 25 Bodenproben wurden je Feuchtestufe mindestens 3 Messungen durchgeführt. Insgesamt wurden 616

Messwerte in die Auswertung einbezogen. Im Ergebnisteil bezieht sich die in den Abbildungen angegebene Dielektrizität auf eine Frequenz von 200 MHz.

3 Ergebnisse

3.1 Dielektrizität, Wassergehalt und Bodenart

Die Abbildung 2 zeigt die relative Dielektrizitätszahl (Real- und Imaginärteil) für Bodenproben der Bodenarten Ls4 (Sand: 62 Masse-%; Schluff: 21 Masse-%; Ton: 18 Masse-%) und Tu2 (Ton: 51 Masse-%; Schluff: 47 Masse-%; Sand: 2 Masse-%) in Abhängigkeit vom Wassergehalt.

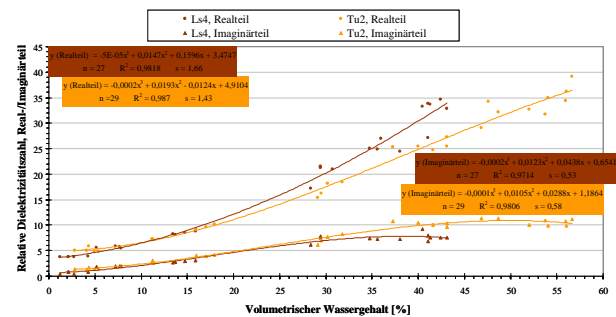


Abbildung 2: Verlauf der relativen Dielektrizitätszahl (Real- und Imaginärteil) von Proben der Bodenarten Ls4 und Tu2 in Abhängigkeit vom Wassergehalt [Vol.-%] bei 200 MHz

Erwartungsgemäß steigt die relative Dielektrizitätszahl beider Bodenproben mit zunehmendem Wassergehalt an. Zurückzuführen ist dies auf die hohe relative Dielektrizitätszahl von freiem Wasser, $\epsilon_r = 81$, wohingegen die feste und trockene Bodenmatrix nur Dielektrizitätswerte im Bereich von 4 bis 10 annimmt. Folglich ist die Dielektrizität von Böden stark vom Wassergehalt abhängig (Hallikainen et al., 1985; Hipp 1974).

Des Weiteren beeinflusst die Körnung die Dielektrizität von Böden. Bei Wassergehalten größer 20 Volumen-% besitzt die von der Sandfraktion dominierte Bodenprobe einen höheren Realteil als die tonige Probe. Nimmt man einen volumetrischen Wassergehalt von 40 % an, unterscheidet sich die relative Dielektrizitätszahl der betrachteten Bodenproben um 10 %. Es ist anzunehmen, dass der geringere Realteil der tonigen Bodenprobe in Beziehung zu

ihrem vermuteten höheren Anteil fest gebundener Wassermoleküle steht. Fest an die Bodenmatrix gebundene Wassermoleküle besitzen aufgrund ihrer eingeschränkten Polarisierbarkeit eine geringere Dielektrizität als freie Wassermoleküle (Campell, 1990, Hallikainen et al., 1985; Peplinski et al., 1995; Saarenketo, 1998). Der Imaginärteil der Bodenproben ist sich bis zu volumetrischen Wassergehalten von 30 % in seiner Charakteristik ähnlich. Darüber hinaus jedoch weist das tonige Bodenmaterial einen höheren Imaginärteil auf. Ursache dafür ist wahrscheinlich die höhere ionische Leitfähigkeit der tonigen Probe, die höhere Energieverluste bedingt.

3.2 Dielektrizität und Trockenrohddichte

In der Abbildung 3 ist die relative Dielektrizitätszahl (Real- und Imaginärteil) trockener Bodenproben in Abhängigkeit von der Trockenrohddichte dargestellt.

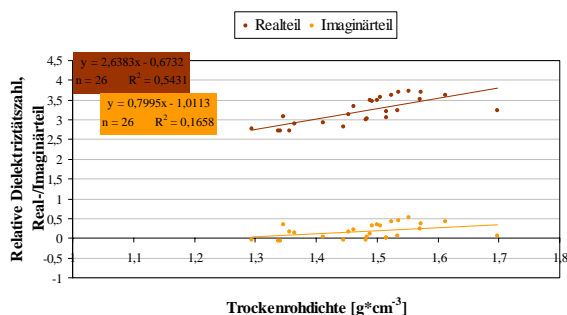


Abbildung 3: Beziehung zwischen der Trockenrohddichte [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$] und der relativen Dielektrizitätszahl bei trockenen Bodenproben

Die relative Dielektrizitätszahl steigt linear mit zunehmender Trockenrohddichte an. Diese Abhängigkeit ist auf die enge Beziehung zwischen der Trockenrohddichte und dem Porenvolumen zurückzuführen. Bei trockenen Proben erhöht sich mit abnehmender Trockenrohddichte das mit Luft gefüllte Porenvolumen. Aufgrund der geringen relativen Dielektrizitätszahl der Luft ($\epsilon_r = 1$) resultiert dies in einer geringeren Dielektrizität der Proben (Salat & Junge, 2008).

3.3 Dielektrizität periglaziärer Lagen

Die Abbildung 4 zeigt die relative Dielektrizitätszahl (Real- und Imaginärteil) in Abhängigkeit vom Wassergehalt für Proben aus der Haupt- und Basislage. Die Haupt- und Basislage überdecken im Untersuchungsgebiet dieser Arbeit (Taunus) das autochthone Festgestein und sind das Substrat der Bodenbildung.

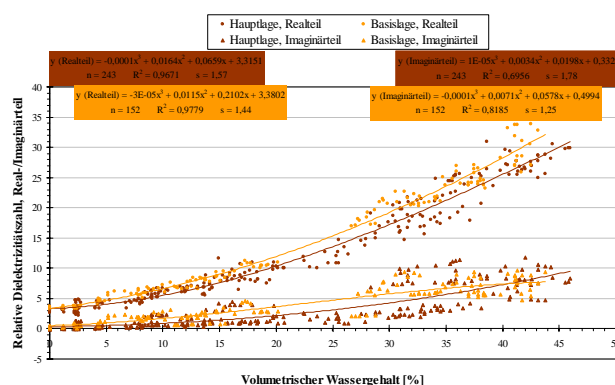


Abbildung 4: Verlauf der relativen Dielektrizitätszahl (Real- und Imaginärteil) von Proben aus Haupt- und Basislage in Abhängigkeit vom Wassergehalt [Vol.-%] bei 200 MHz

Über den betrachteten Feuchtebereich besitzen Bodenproben der Basislage tendenziell höhere Realteile als Proben der Hauptlage. Es ist anzunehmen, dass die höheren Trockenrohddichten (vgl. Abbildung 5) sowie die höheren Sandgehalte (vgl. Abbildung 6) für deren höheren Realteil verantwortlich sind.

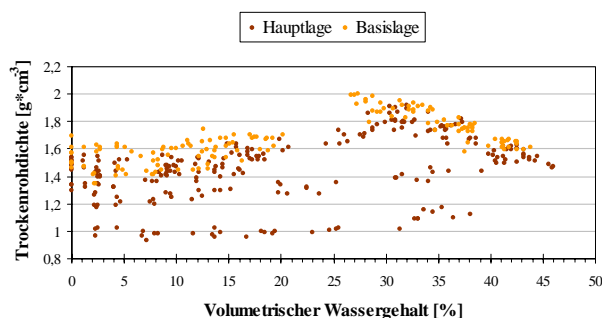


Abbildung 5: Trockenrohddichten [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$] von Proben aus Haupt- und Basislage in Abhängigkeit vom Wassergehalt [Vol.-%]

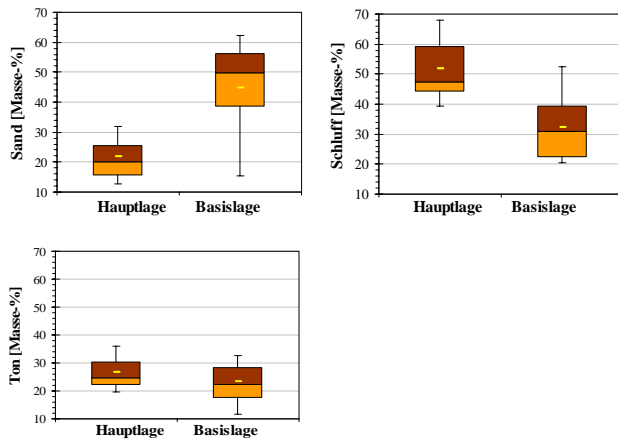


Abbildung 6: Korngrößenverteilung [Masse-%] von Bodenproben aus Haupt- und Basislage

Da Reflexionen an den Schichtgrenzen immer dann auftreten, wenn sich die Dielektrizitätszahlen der angrenzenden Schichten unterscheiden, ist davon auszugehen, dass insbesondere bei Wassergehaltsunterschieden zum Zeitpunkt der Georadarmessung Reflexionen an der Grenze von der Haupt- zur Basislage im Radargramm zu beobachten sind.

4 Fazit und Ausblick

Durch die Ausweisung von Kalibrierfunktionen kann für 25 verschiedene Bodenarten bei bekanntem Wassergehalt die relative Dielektrizitätszahl beziehungsweise die Wellengeschwindigkeit abgeleitet werden. Somit können Mächtigkeiten einzelner Schichten (periglaziäre Lagen) sowie Schichtgrenzen ohne Geländekalibrierungen schnell erfasst werden.

Zur noch besseren Annäherungen der Ergebnisse an natürliche Verhältnisse planen wir Dielektrizitätszahlmessungen an ungestörten Bodenproben.

Literatur

- Campbell, J.J. (1990): Dielectric properties and influence of conductivity in soils at one to fifty megahertz. *American Journal of Soil Sciences*, 54, 332-342.
- Hallikainen, M.T., Ulaby, F.T., Dobson, M.C., El-Rayes, M., Wu, L.-K. (1985): Microwave Dielectric Behaviour of

Wet Soils – Part I: Empirical Models and Experimental Observations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 23 (1), 25-34.

Hipp, J.E. (1974): Soil Electromagnetic Parameters as Functions of Frequency, Soil Density, and Soil Moisture. *Proceedings of the IEEE*, 62 (1), 98-103.

Peplinski, N.R., Ulaby, F.T., Dobson, M.C. (1995): Dielectric properties of Soils in the 0.3-1.3 GHz range. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33 (3), 803-807.

Saarenketo, T. (1998): Electrical properties of water in clay and silty soils. *Journal of Applied Geophysics*, 40, 73-88.

Salat, C. Junge, A. (2008): The Topp formula revisited: laboratory measurements on soil permittivity and the relation to geotechnical parameters. 12th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 16-19, Birmingham, UK.