



Doctoral Thesis

## Soil moisture determination with TDR: single-rod probes and profile reconstruction algorithms

**Author(s):**

Nussberger, Mathis

**Publication Date:**

2005

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004948734> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 15965

# Soil moisture determination with TDR: Single-rod probes and profile reconstruction algorithms

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH  
for the degree of  
DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

presented by  
MATHIS NUSSBERGER  
Dipl. El.-Ing. ETH  
born September 11, 1972  
citizen of Zürich

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Werner Bächtold, examiner  
Prof. Dr. Hannes Flühler, co-examiner  
Prof. Dr. Kurt Roth, co-examiner

2005

# Abstract

Efficient irrigation and fertilization, early detection of landslide risks, the monitoring of soil remediation processes and many other issues of soil physics require knowledge of the spatial water content distribution in the soil. Established soil water content measurement methods can only partially deliver the information needed. This work focussed on the improvement of the time domain reflectometry (TDR) method.

TDR probes consisting of one conducting rod and a wave mode converter are an alternative configuration which overcomes some of the disadvantages of conventional two-rod probes. Four different single-rod probes and a two-rod probe were examined for sensitivity to a small and a large conductive scatterer in their vicinity. The single-rod probes were assembled combining a small/large wave mode converter with an uncoated/coated rod. It was found that the volume sampled by single-rod probes is larger and more symmetrical than the volume sampled by a two-rod probe of equal size. A comparison of the mode converters showed a higher loss for the smaller converter but only a small difference concerning the spatial sensitivity. Coating the conducting rod with a high dielectric constant material reduces the spatial sensitivity. One of the single-rod probes and the two-rod probe were calibrated in a sand tank (particle size 0.08-0.2 mm) with volumetric water content up to  $0.35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . The calibration showed only small differences between the single-rod and the two-rod probe regarding the measured bulk dielectric constant.

TDR profile reconstruction algorithms reconstruct the water content along the probe from the recorded TDR trace. Available algorithms are restricted to specific soil classes. The more general approach of a multi-layer soil model with Debye parameters allows the inclusion of knowledge about the soil matrix and the soil-water exchange processes. The establishment of a relationship between local water content and pore water conductivity allowed the development of a profile reconstruction algorithm for this model. The new method is fast (a few minutes on an average laptop) and converges well for the laboratory tested case of a sand column with variable water content. In a field experiment, the correct water content profile was indicated without any further knowledge of the pore water conductivity.

Coplanar strips (CPS) attached horizontally to a container wall are an advantageous alternative TDR probe setup for laboratory column experiments. Contrary to con-

ventional two-rod probes protruding through the container wall into the column, CPS probes do not interfere with the medium in the container. A typical example for a CPS probe was studied theoretically and experimentally. 2-D field simulations allowed the establishment of a relationship between the measured apparent dielectric constant and the water content in the proximity of the CPS. Experiments with a sand column with variable water content confirmed these calculations. In principle, CPS conduct a different electromagnetic wave mode than protruding two-rod probes, but this difference was found to be negligible in the studied case.

# Zusammenfassung

Effizientes Bewässern und Düngen, frühzeitiges Erkennen von Erdbeben-Risiken, Überwachen von Bodenversauerungs-Prozessen und viele weitere Themen in der Bodenphysik verlangen Wissen über die räumliche Wassergehaltsverteilung im Boden. Etablierten Methoden für die Wassergehaltsmessung können dabei nur partiell die benötigten Informationen liefern. Diese Arbeit konzentrierte sich auf die Verbesserung der Time Domain Reflectometry (TDR) Methode.

TDR Sonden, die aus einem leitfähigen Stab und einem Wellen-Mode-Konverter bestehen, stellen eine alternative Konfiguration dar, die einige Vorteile gegenüber konventionellen Zweistabsonden aufweist. Vier verschiedene Einstabsonden und eine Zweistabsonde wurden bezüglich ihrer Empfindlichkeit auf ein kleines und ein grosses Metallobjekt in der Umgebung der Sonde untersucht. Die Einstabsonden wurden zusammengesetzt, indem ein kleiner/grosser Wellen-Mode-Konverter und ein beschichteter/unbeschichteter Stab kombiniert wurden. Es stellte sich heraus, dass das Messvolumen einer Einstabsonde grösser und symmetrischer ist, als das einer Zweistabsonde vergleichbarer Grösse. Ein Vergleich der Moden-Konverter zeigte einen höheren Konversionsverlust für den kleineren Konverter, aber die Differenz bezüglich der Empfindlichkeit war gering. Die Beschichtung des leitfähigen Stabes mit einem Material mit hoher Dielektrizitätszahl reduzierte die Empfindlichkeit. Eine der Einstabsonden und eine Zweistabsonde wurden in einem Sandtank (Partikelgrösse 0.08-0.2 mm) mit volumetrischem Wassergehalt bis  $0.35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  kalibriert. Die Kalibration ergab nur kleine Differenzen zwischen der Einstabsonde und der Zweistabsonde, was die gemessene Dielektrizitätszahl des Mediums betrifft.

Algorithmen zur Profilrekonstruktion mit TDR rekonstruieren den Wassergehalt entlang der Sonde von einer aufgezeichneten TDR Kurve. Verfügbare Algorithmen sind beschränkt auf gewisse Bodentypen. Der allgemeinere Ansatz eines Bodenmodells mit mehreren Schichten, die durch Debye Parameter beschrieben werden, erlaubt, Wissen über die Bodenmatrix und die Matrix-Wasser Austauschprozesse einzuschliessen. Das Aufstellen einer Beziehung zwischen lokalem Wassergehalt und Porenwasser-Leitfähigkeit ermöglichte die Entwicklung eines Rekonstruktionsalgorithmus' für dieses Modell. Die neue Methode ist schnell (einige Minuten auf einem gewöhnlichen Laptop) und konvergierte gut für das Beispiel einer Labor-

Sandsäule mit variablem Wassergehalt. Für ein Feldexperiment wurde das Wassergehaltsprofil dem Trend nach korrekt angezeigt, ohne weiteres, verfügbares Wissen über die Porenwasserleitfähigkeit.

Koplanare Streifen, welche horizontal an Wänden von Tanks angebracht werden, stellen eine vorteilhafte, alternative Konfiguration für Säulenexperimente im Labor dar. Im Gegensatz zu konventionellen Zweistabsonden, die durch die Tankwand in die Säule hineinragen, interferieren Sonden aus koplanaren Streifen nicht mit dem Medium im Tank. Ein typisches Beispiel für eine Sonde aus koplanaren Streifen wurde theoretisch und experimentell studiert. Zweidimensionale Feldberechnungen erlaubten, eine Beziehung zwischen der gemessenen Dielektrizitätszahl und dem Wassergehalt in der Sondennähe herzustellen. Experimente mit einer Sandsäule mit variablem Wassergehalt bestätigen diese Berechnungen. Im Prinzip führt eine koplanare Streifen-Sonde einen anderen elektromagnetischen Mode als Zweistabsonden, die ins Medium hineinragen, aber im studierten Fall ergab sich nur ein vernachlässigbarer Unterschied.