

## Störfaktoren bei der Bodenfeuchte

### Ermittlung mit der Time Domain Reflectometry

*Die Messung der Bodenfeuchte dient der Beurteilung von Maßnahmen der Pflanzenproduktion. Sie kann als Datengrundlage des Bewässerungsmanagements oder für Anbau-, Bearbeitungs- und Befahrbarkeitsentscheidungen dienen und ist zugleich Mess- und Stellgröße.*

*Allerdings wird in der Praxis bei Verwendung von TDR (Time Domain Reflectometry) über Schwierigkeiten hinsichtlich der Messgenauigkeit berichtet, die vor allem auf das Vorhandensein von Grobporen und Steinen im hochfrequenten Messfeld der Sonden zurückzuführen sind.*

Dipl. Ing. sc. agr. Cornelius Jantschke und M. sc. Wolfram Spreer sind Doktoranden und wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim (Fachgebiet: Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion; Leitung: Prof. Dr. K. Köller), Garbenstrasse 9, 70593 Stuttgart; e-mail: [cornelius.jantschke@uni-hohenheim.de](mailto:cornelius.jantschke@uni-hohenheim.de); [spreer@ats.uni-hohenheim.de](mailto:spreer@ats.uni-hohenheim.de)

#### Schlüsselwörter

Bodenfeuchte, dynamisch, Echtzeit, Time Domain Reflectometry (TDR)

#### Keywords

Soil moisture, dynamic, real time, Time Domain Reflectometry (TDR)

#### Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05320 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Messung der Bodenfeuchte unter Verwendung des TDR-Verfahrens beruht auf dem Unterschied der Dielektrizitätskonstanten von Boden, Wasser und Luft. Um Fehlmessungen in einem Substrat zu vermeiden, bedarf es daher eines schlüssigen Kontaktes zwischen Sensor und dem umgebenden Material. Die Dielektrizitätskonstante von Luft ( $\epsilon_r = 1$ ) und trockenem, porösen Material ( $\epsilon_r < 5$ ) liegt charakteristisch niedriger als die von Wasser ( $\epsilon_r = 81$ ). Durch die Abhängigkeit der Laufzeit einer hochfrequenten elektromagnetischen Welle von den Dielektrizitätskonstanten kann daher im Boden über eine Laufzeitermittlung dieser Welle die Bodenfeuchte bestimmt werden. Störungen in diesem Messfeld ergeben Fehlmessungen.

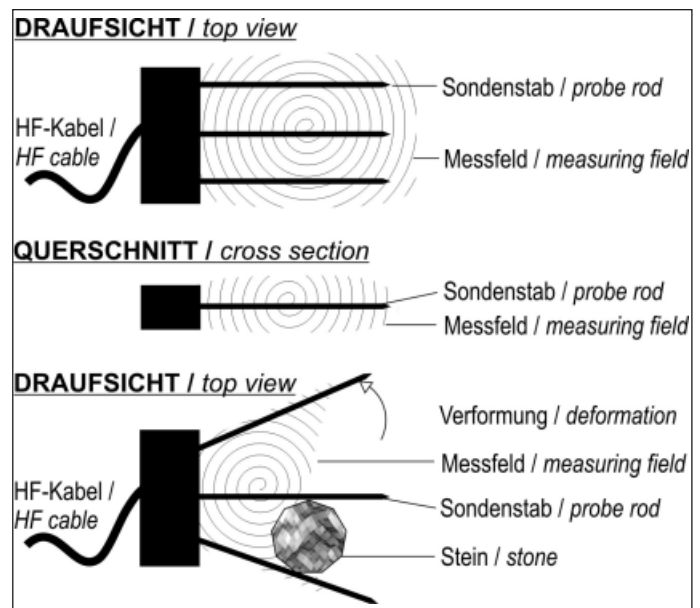
Bislang wird die elektronische Erhebung von Feldfeuchtedaten durch stationäre Messungen realisiert. Dazu müssen verschiedene aussagekräftige Messpunkte im Gelände festgelegt werden. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, werden üblicherweise Bodenkarten zur Wahl der Standorte konsultiert. Als Sensorform sind hierbei meist zwei- oder dreistäbige Sonden im Einsatz, deren Stäbe parallel angeordnet sind. Die Größe des Messfeldes einer TDR-Sonde ist substrat- und feuchteabhängig, in der Regel beträgt es 2/3 der Stabdistanz einer Sonde (Bild 1). Je länger

die Sondenstäbe ausgeführt sind, desto genauer wird die betreffende Messung. Die Messwerte [Vol.%] werden bei Verwendung von TRIME (Time Domain Reflectometry with Intelligent Microelements, Hersteller: IMKO) mit Hilfe eines Handgeräts angezeigt. Bei der Verwendung herkömmlicher TDR-Sonden ist es erforderlich, die charakteristische Kurve auf der Anzeige eines Oszilloskops (etwa Tektronix Cabletester, Hersteller) abzulesen. Der visuell entnommene Wert wird entweder unter Berücksichtigung von bodenphysikalischen Daten (Porosität und Lagerungsstruktur) [3] oder nach einer empirischen Formel [4] einem volumetrischen Feuchtwert zugeordnet. Beim TRIME-System ist diese Formel als Grundlage einer Kalibrierung softwareseitig in das Handgerät implementiert. Sie ergibt für Böden ohne stark erhöhte Leitfähigkeiten ein entsprechend genaues Ergebnis [5]. Für alle weiteren Böden kann durch die Bestimmung der Bodenfeuchte mittels DIN 18121-1 eine Eichkurve erstellt und diese ebenfalls softwareseitig digital im Gerät hinterlegt werden.

Zum dynamischen Einsatz dieses Verfahrens ist es erforderlich, die Messzeit der TRIME-Elektronik von bislang zehn Sekun-

Bild 1: Sondendeformation an einer dreistäbigen Sonde

Fig. 1: Probe deformation at a 3-prong sensor



den bis an die Systemgrenzen zu verringern, um ein hochauflösendes Messraster im Gelände zu verwirklichen. Zudem muss während der Vorwärtsbewegung der Sonde im Boden der Bodenkontakt zum Sensor gewahrt bleiben, da wie beschrieben der hohe Unterschied der Dielektrizitätskonstanten ansonsten zu Fehlinterpretationen der Messung führen kann [6]. Dazu wurde eine bewegliche Messvorrichtung entworfen, die kontinuierlich im Bodenschluss arbeitet. Allerdings bestehen verfahrensimmanente Systemgrenzen.

### Einflüsse auf die TDR-Messung

In der Praxis können bei der Messung mit Stabsonden drei Arten von Unstimmigkeiten im Messbereich auftreten: Luftspalten an den Sondenstäben, mit Wasser gefüllte Zwischenräume an den Sondenstäben und Steine, die zur Verformung der Sondenstäbe führen. Dies wird nicht durch die durchschnittliche Porosität des Bodens wiedergegeben.

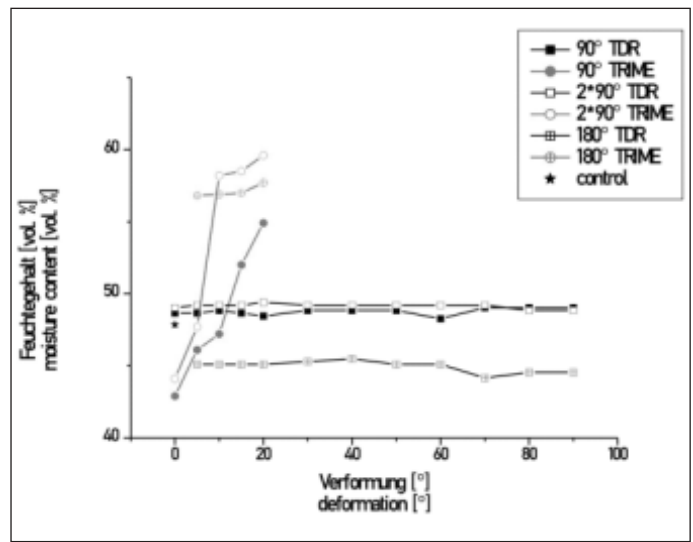
Das Auftreten von Grobporen ist meist auf Wurzel- oder Regenwurmgänge zurückzuführen. Durch das Einstechen der Sonde entstandene Störvolumina in unmittelbarer Sondenumgebung sind meist durch Steine im Boden begründet. Der Sondenstab trifft beim Einführen auf den Stein und wird mit gleichmäßigem Einführen der Sonde unter Verformung der Sondengeometrie am Stein vorbeigedrückt, was ein dementsprechendes Störvolumen hervorruft.

### Material und Methoden

Der Einfluss von Grobporen auf die Genauigkeit der Messung wurde im Labor untersucht. Dabei wurde gesiebter Schluff (0,5 mm) verwendet, dessen Feldkapazität (FK) 50 % betrug. Für die Versuche wurde eine Ausgangsfeuchte von 25 % dargestellt und in 5 % Schritten auf Feldkapazität aufgesättigt. Gemessen wurde mit einer in Hohenheim selbst hergestellten Dreistabsonde (Stablänge 8 cm) und einem Tektronix Cable Tester (Hersteller). Das Messvolumen betrug für die erste Versuchsreihe 0,92 Liter. Parallel dazu wurde die Wirkung der Verformung von Sonden auf die Messgenauigkeit untersucht. Dazu wurde sandiger Ton [7] in verschiedenen Feuchten hergestellt. Ergänzend dazu wurden drei verschiedene Mischungen mit Kies hergestellt (25, 50, 75 % Kies im Substrat sandigen Tons). Als Referenzmessung wurden die Verformungen der TRIME- und TDR-Sonden in aufgesättigten Glasperlen (Dragonit einer Körnung von 0,45 mm und einer Referenzfeuchte von 44 Vol. %) getestet, um letztlich weitere Einflüsse auf die Signalqualität ausschließen zu

*Bild 2: Aufspreizung der Sondengeometrie: oben einseitig nach außen (90°); Mitte zweiseitig: nach vorne und nach außen (2\*90°); unten beide nach außen (180°)*

*Fig. 2: Straddling of the probe: top: one side to the outside (90°); middle: two-sided: to the front and to the outside (2\*90°); Below: both to the outside (180°)*



können. Gemessen wurde jeweils in einem Volumen von acht bis zehn Litern.

### Ergebnisse und Diskussion

In verschiedenen Wiederholungen wurden bis zu drei künstliche Grobporen mit einem Durchmesser von 3 mm an verschiedenen Stellen ins Messfeld eingebracht. Hierbei zeigten alle Messreihen keine signifikanten Unterschiede, weder in der Phase der Befeuchtung, noch nach Einstellen einer homogenen Feuchte im Messfeld. Es kann daraus geschlossen werden, dass Grobporen, wie sie bei Feldmessungen auftreten, die TDR-Messung nicht beeinträchtigen.

Anders verhält es sich bei unvollständigem Kontakt der Sondenstäbe zum Substrat. Wurde die Sonde nach dem Einstechen in das Substrat hin- und herbewegt, so dass ein Hohlraum entlang der Sondenstäbe von etwa 1 mm entstand, führte dies zu einer Unterschätzung des Feuchtegehalts um 5 bis 7 %. Während der Befeuchtung stellte sich erst nach Versickern des Wassers in das Substrat eine eindeutig ablesbare Kurve dar. Beim Prozess des Einsickerns von Wasser in den Boden wurden Signalstörungen beobachtet, die eine visuelle Bestimmung der Lauflänge des Signals unmöglich machten. Bei der stationären Messung im Feld spielt dies jedoch keine Rolle, da diese Situation nur kurze Zeit nach einem Niederschlag oder während der Bewässerung auftritt.

In einer zweiten Versuchsreihe in größerem Bodenvolumen sollte der Einfluss von Verformungen der Sondengeometrie auf die Messung untersucht werden. Die Sondenverformungen reichten bei den TDR-Sonden von 0° bis 90°, bei den TRIME-Sonden von 0° bis 20°. Dabei wurde längs und quer zur Einstichrichtung verformt. Während des Messlaufs wurden abwechselnd alle drei Stäbe verformt (Bild 1). Für die TDR Messung mit dem Tektronix Cable Tester ergaben sich trotz stark deformierter Sondenstäbe brauchbare Messwerte. Allerdings führte die Aufspreizung der beiden äußeren Sondenstäbe zu einer Unterschätzung des Referenz-

wertes um etwa 5 Vol. %. Entgegengesetzt zu diesen Ergebnissen verhält es sich bei TRIME. Bei Aufspreizung wird der Wert um 10 Vol. % zu hoch ausgegeben. Die anderen Deformationswege führen zu einem Messspektrum von gleichmäßig +/- 5 % um den Referenzwert (Bild 2). Dies ist durch die softwareseitig hinterlegte Kalibrierung im TRIME System zu erklären, die Deformationen nur unzureichend interpretieren kann. Daher ist bei Verwendung von TRIME Sonden sehr darauf zu achten, dass sie nicht verbogen werden. Für eine dynamische Anwendung von TRIME kommt daher ein massiver Sondenkörper zum Einsatz, der keine Deformation zulässt [8].

### Ausblick

Die Messung mit der TDR-Technik stellt trotz zu erwartender Verformungen der Sondenstäbe im Feldeinsatz eine erstklassige Standardmethode zur Bestimmung der Bodenfeuchte dar. Die Unterschätzung der Bodenfeuchte im Falle ungenügenden Kontaktes kann durch schlüssigen Bodenkontakt vermieden werden. Die extremen Verformungen von bis zu 90° während der Versuchsreihe spiegeln nicht die Realität wider, während realistische Verformungen eines Sondenstabes (bis etwa 20° anzunehmen) keine signifikante Beeinträchtigung der Messgenauigkeit darstellen. Um negative Einflüsse durch Verformungen zu unterbinden, empfiehlt sich der Einsatz eines Sondenbohrers für stationäre Messungen.

Insbesondere während einer dynamischen Erfassung der Bodenfeuchte ist der schlüssige Bodenkontakt von großer Bedeutung, da die Wahrscheinlichkeit von sensorisch erfassten Luftspalten während einer Überfahrt unvergleichlich größer als bei stationärer Messung ist. Die Messgenauigkeit eines dynamischen Sensors ist daher stark von der Beschaffenheit des Oberbodens abhängig. Bei starker Schollenbildung allerdings wird selbst durch einen Anstellwinkel nicht das gewünschte Ergebnis erreicht.