

Dynamische Echtzeit Bodenfeuchtemessung

Anforderung und Möglichkeiten

Erste Ansätze zur Bestimmung der Bodenfeuchte wurden bereits in [3] vorgestellt. Bei den landtechnischen Anwendungsfällen können zwei Bereiche unterschieden werden. Die direkte Verknüpfung des Messwertes mit einer Maschinenregelung wäre dabei für den Praktiker wünschenswert. Die weiterführende Datenaufbereitung ist hingegen von großem Interesse für die Wissenschaft. Die ermittelten Messwerte liegen bei derzeitigem Entwicklungsstand des Messscharres $\pm 5\%$ um das gravimetrisch ermittelte Äquivalent der gegenwärtigen Feuchte [1].

Dipl.-Ing. sc. agr. Cornelius Jantschke ist Doktorand und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet: Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion (Prof. Dr. K. Köller), Garbenstrasse 9, 70593 Stuttgart; e-mail: cornelius.jantschke@uni-hohenheim.de In einem durch das BMBF geförderten Kooperationsprojekt forscht er gemeinsam mit Dr. Rolf Becker (IMKO Mikromodul技术) an der Entwicklung einer dynamischen Bodenfeuchtesonde.

Schlüsselwörter

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

Keywords

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

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05522 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Seit August 2002 wird in enger Zusammenarbeit der beiden Projektpartner (Universität Hohenheim; IMKO Mikromodul技术) an der Realisierung des dynamischen Feuchtesensors gearbeitet. Nach Klärung der Einflussgrößen auf eine dynamische Feuchtemessung wurden während unterschiedlicher Versuchsreihen Befeuchtungsszenarien und Düngungszustände in verschiedenen Bodenarten simuliert, um zunächst die grundlegenden Einflüsse auf die TRIME Technologie (Time Domain Reflectometry with Intelligent Microelements) zu untersuchen [2, 3]. Danach mussten zur weiteren Entwicklung eines dynamischen Sensors die Rahmenbedingungen für die physische Beschaffenheit eines Sensors ermittelt werden und dessen wellenbedingte Optimierung erfolgen. Während der Vorversuche schied materialbedingt rotierende, scheibenförmige Sensoren aus, da einerseits nichtmetallische Schneidwerkzeuge entweder zu abriebanfällig oder aber zu spröde waren [4]. Darüber hinaus konnte die Signalweitergabe bei rotierenden Sonden im Bewegungszustand nicht zufriedenstellend gelöst werden. Letztlich wurde eine stabile keilförmige Sonde entwickelt, deren Form sich aufgrund der integrierten Elektronik und einem 250 mm langen nichtmetallischen Sondenfenster (Glas/Kunststoff) auf Gesamtdimensionen von 500•30•160 mm (L•B•H) beläuft. Das Sondenchar wiegt ohne Aufhängung 10,7 kg.

Messverfahren

Der im Schar untergebrachten Elektronik liegt das TDR-Verfahren zugrunde, dass aus den Grundbausteinen

Bild 1: Dynamischer Bodenfeuchtesensor in der Bodenrinne, oben: Kraftmessrahmen

Fig. 1: Dynamic soil moisture probe within the soil bin; top: force measurement device



Signalgenerator, Abtasteinheit (Sampler) und dem Wellenleiter (Sensor) besteht. Der Signalgenerator erzeugt einen schnell ansteigenden Spannungssprung. Gebräuchliche TDR-Geräte wie das Feldgerät TRIME-EZ (IMKO) oder das Laborgerät Tektronix Kabeltester 1502B erzeugen einen Sprung von etwa 200 mV Amplitude in 250 ps (Picosekunden, 10^{-12} s). Dieser Spannungssprung ruft die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle hervor. Diese Welle wird zunächst im Sondeninneren durch ein abgeschirmtes Koaxialkabel bis zu einem ungeschirmten Wellenleiter am Sondenfenster ausgesandt. Der Wellenpuls pflanzt sich dort weiter auf dem Wellenleiter fort und interagiert hier mit dem umgebenden Material. Am Ende des Wellenleiters wird der Puls reflektiert und läuft zurück zur Messelektronik, wo die Überlagerung von ausgesandtem und reflektiertem Puls durch den Sampler aufgezeichnet wird. Das TDR-Gerät misst so die Laufzeit des elektromagnetischen Impulses entlang des Wellenleiters.

Boden kann als Gemisch aus festem Substrat, Wasser und Luft aufgefasst werden. Wassermoleküle sind starke Dipole, die sich im elektrischen Feld ausrichten. Ein Medium, das dazu in der Lage ist, wird Dielektrikum genannt. Dielektrika haben die Eigenschaft, die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle zu verlangsamen. Das bedeutet, dass sich der TDR-Puls entlang der Sonde umso langsamer ausbreitet, je feuchter ein Boden ist [5]. Die meisten konventionellen TDR-Geräte tasten das Signal punktweise ab, in dem nach einer bestimmten Zeit Δt nach Aussenden des TDR-Pulses ein

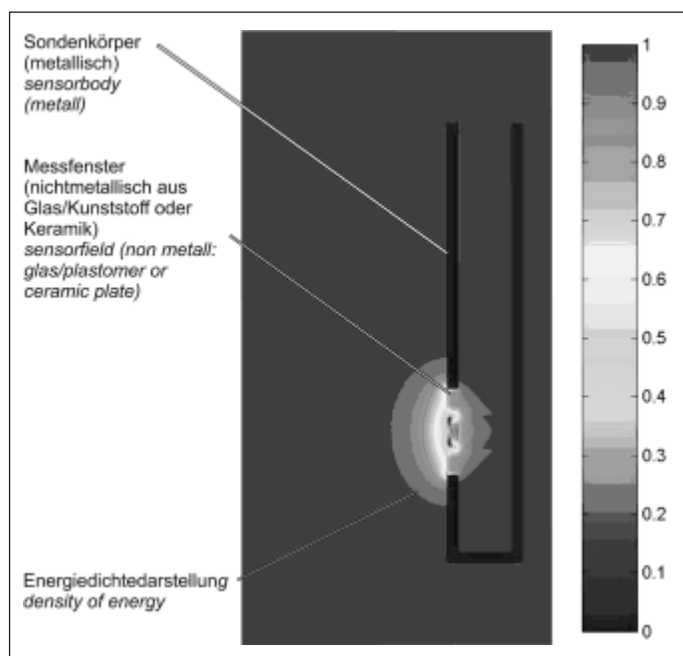


Bild 2: Energiefelddichte am dynamischen Sensor bei einer dielektrischen Permittivität von 20

Fig. 2: Density of energy at the dynamic sensor at a dielectrical permittivity of 20

Spannungswert ermittelt wird. Die Zeit Δt wird variiert, bis der aussagekräftige Teil des TDR-Signals abgetastet ist.

Modifikation des TDR Verfahrens zu TRIME

Das TRIME-Verfahren ist im Grunde eine hochgenaue Stoppuhr mit einer Auflösung von etwa 10 ps. TRIME misst die Zeit, bis das reflektierte TDR-Signal eine bestimmte einstellbare Spannungshöhe überschreitet. Durch die anschließende Variation der Spannungshöhe kann ein Teil der Reflektionsflanke abgetastet und so vermessen werden. Die hochgenaue Laufzeitmessung ermöglicht so eine Beurteilung der Signalqualität. Eine hohe ionische Leitfähigkeit des Bodens führt beispielsweise zu einer Absenkung der reflektierten Signalamplitude [6]. Durch diese Art der Abfrage eines TDR-Pulses ist es selbst bei relativ hohen Salzgehalten (entsprechend ionischer Leitfähigkeit) möglich, sehr hohe Genauigkeiten zu erreichen.

Anforderungen

Ein essentielles Kriterium der Auslegung einer dynamischen Sonde ist aufgrund des beschriebenen Messverfahrens die Wahrung eines möglichst gleichmäßigen Bodenkontakts zum Wellenleiter. Bei stationär verbauten Sonden wird dieser Bedingung mit sorgfältigem Einbau der Sonde ins Bodengefüge Rechnung getragen [6]. Bei einer dynamischen Messung ist der Kontakt zum fließenden Boden am Sensor zu wahren [3, 4], was die Gestaltung der Sonde vollkommen ändert.

Messaufbau

Der augenblickliche messtechnische Aufbau für die dynamische Erfassung der Bodenfeuchte durch TRIME umfasst neben dem

der Bodenrinne besteht aus einer Drainage (Kies und Sand) und einer Deckschicht von 35 cm sandigem Substrat (Dichte 2,4; Lagerungsdichte 1,1; Porosität 58,2).

Das vom Messschar übertragene Signal wird momentan analog ausgegeben und mit einer Messkarte [DAQCard 6024E] an DA-SYLab weitergegeben. Dieser Datensatz umfasst dann die Laufzeit der Messung, die Position des Fahrgestells, triaxiale Kraftdokumentation am Messschar und den aktuellen Bodenfeuchtewert. Dabei werden die randomisiert eingebrachten Feuchtestellen räumlich genau identifiziert und hinsichtlich ihrer Feuchte $\pm 5\%$ genau wiedergegeben.

Bei der Bewegung des Sensors durch den Boden treten proportional zur Fahrgeschwindigkeit und Eindringtiefe Kräfte am Sensor auf, die bei der Planung und Gestaltung eines Sensors bedacht und umgesetzt werden müssen, um den Messaufbau während der Feldmessung nicht zu gefährden. Aufgrund der unterschiedlichen Funktionsmodelle bestehen zwei Möglichkeiten der Realisierung. Zum einen werden die Öffnung des Bodens und die tatsächliche Messung von einem Werkzeug realisiert, was zur Folge hat, dass es sehr stabil ausgeführt werden muss (Bild 1). Zum anderen kann aber durch die Teilung der verschiedenen Arbeitsschritte (Bodenöffnung, Berühren des Bodens mit dem Wellenleiter, Messung) ein anderer Aufbau des Sensorssystems erfolgen. Damit steigt die Integrationsfähigkeit in bestehende Maschinensysteme. Hier besteht allerdings noch Entwicklungsbedarf.

Der geringe Anstellwinkel (bis 2°) zur Verbesserung des Bodenkontaktes ergibt kein nennenswertes Auftreten von Querkräften bei Fahrgeschwindigkeiten von bis zu 4 m/s in der Bodenrinne (Bild 1). Ausgehend von Zugkraftkartierungen für verschiedene Geräte und Böden [7] muss für reale Bodenverhältnisse eine erheblich höhere Belastung des Messschars angenommen werden. Das

eigentlichen Messschar ein Fahrgestell, das anhand einer Zugseilkonstruktion Geschwindigkeiten von bis zu 18 km/h in der Versuchsbodenrinne erreicht. Die Füllung

Auftreten von Steinen im Messfeld wurde messtechnisch bereits in [3] detailliert dargestellt. So erklärt sich auch der singuläre, kompakte Sensoraufbau. Das seitliche Auftreffen von Steinen auf die empfindliche Sensorplatte bedeutet eine Gefährdung des Sensors.

Simulation des Messfeldes

Zusätzlich zur systemimmanenten Begrenzung der Messfähigkeit von Substraten durch fehlenden Bodenkontakt oder eine unzureichende Sondengeometrie [3] stellt das Messvolumen des Sensors selbst bei hervorragendem Bodenkontakt einen entscheidenden Faktor für die Güte der Messung dar.

Das Messvolumen des vorliegenden Prototyps ist noch vor der mechanischen Beständigkeit die wichtigste Voraussetzung, um dynamisches Messen zu ermöglichen. Mit Hilfe von Maxwell2D wurden Energiedichtefelder simuliert und in Matlab weiter analysiert, um die Quantile der Energie zu bestimmen. Es wurden hierzu die Linien gleicher Energiedichte (Isolinien) bestimmt, die einen bestimmten Prozentsatz (zum Beispiel 95%) der gesamten Feldenergie umreißen. Dadurch wird der Hauptteil des Messfeldes charakterisiert, der in Bild 2 wiedergegeben wird.

Die 95%-Isolinie ist ein einfaches Maß für die Ausdehnung des Messvolumens. Anhand dieses Maßes lässt sich sowohl die Veränderung des Messvolumens mit verschiedenen Feuchten als auch die Ausbreitung des Messfeldes verschiedener Sonden vergleichen. In Bild 2 kann man die Feldgröße bei einer dielektrischen Permittivität von 20 erkennen, die wiederum einem Feuchtegehalt von 34 Vol. % entspricht [8]. Das entspricht einer Felddausdehnung von etwa 190 cm^3 bei dieser Sonde.

Ausblick

Im Hinblick auf eine praxisorientierte Anwendung der innovativen dynamischen Sensorik ergeben sich durch die gewonnenen Daten deutliche Chancen hinsichtlich der direkten Regelung von Maschinen und Geräten unter Bezug auf die vorliegende Feuchte. Die vorgenannte Messgenauigkeit von etwa $\pm 5\%$ ist für diese Art Regelung mehr als ausreichend. Eine Anbindung an bestehende BUS-Systeme soll während der weiteren Forschungstätigkeit erfolgen. Daneben muss die Weiterentwicklung der Sondenkörper vorangetrieben werden, um sie tatsächlich in bestehende Maschinen integrieren zu können und damit einen wertvollen Beitrag zum Umwelt- und Ressourcenschutz leisten zu können.