

Yurui Sun, Sheng Wenyi, Jinhua Lin und Peter Schulze Lammers

Kabelloses Sensornetzwerk zur Erfassung der Bodenfeuchte in Pflanzenbeständen

Um die Bodenfeuchte im Laufe einer Vegetationsperiode verfolgen zu können, wurde ein Sensornetzwerk mit elektronischen Bodenfeuchtefühlern aufgebaut. Die Sensoren wurden durch Solarzellen mit Energie versorgt und übertrugen die Daten per Funk auf einen Datenlogger. Die elektronischen Komponenten und der Messmodus wurden auf einen energiearmen Betrieb ausgelegt, um eine Spannungsversorgung über ein Solarpanel auch im abgeschatteten Bereich von Nutzpflanzenbeständen zu ermöglichen. Die Sensoren wurden in einem Maisbestand, einem Zuckerrübenbestand und auf einer unbewachsenen Fläche für eine Messperiode von zwei Monaten eingesetzt.

Schlüsselwörter

Mobile Sensoren, autarke Sensorsysteme, Sensorknoten, Bodensensorik

Keywords

Mobile sensors, autarkic sensor system, sensor node, soil monitoring

Abstract

Sun, Yurui; Wenyi, Sheng; Lin, Jinhua and Schulze Lammers, Peter

Wireless sensor network for monitoring soil water content on field scale

Landtechnik 65 (2010), no. 6, pp. 442-445, 5 figures, 1 table, 7 references

For the demand to monitor soil water dynamics at field scale, this study presents a solar-powered wireless cell that contains a water content sensor with a communication module and a data-logger. The electronical components and the operation mode were designed to reduce the energy demand and to attain a continuous operation even under the canopy of field crop. To evaluate its feasibility in the field, three cells were independently installed in a bare plot, a maize plot and a sugar beet plot for a period of two months.

Die Kenntnis der Bodenfeuchte ist für die Führung von landwirtschaftlichen Kulturen von grundlegender Bedeutung. Um sie im Wurzelbereich in wachsenden Pflanzenbeständen verfolgen zu können, werden Ansprüche an die Sensorik gestellt, die insbesondere Zuverlässigkeit, geringen Energieverbrauch sowie ausreichende Ansprechzeit und Genauigkeit betreffen [1; 2]. Bisher wurden dazu Tensiometer und Gipsblöcke eingesetzt, die u. a. durch ihre Hysterese zwischen Befuchtung und Abtrocknung gekennzeichnet sind [3]. Die von Topp [4] entwickelte Formel, die den Zusammenhang zwischen dem volumetrischen Wassergehalt des Bodens (volumetric water content VSWC) und der relativen dielektrischen Konstante (ϵ_r) beschreibt, führte zur Entwicklung von verschiedenen dielektrischen Sensoren. Darunter haben die sogenannten TDR-Sensoren (Time Domain Reflectometry) die größte Bedeutung erlangt [5]. TDR-Sensoren benötigen nur wenige Sekunden zur Erzeugung eines stabilen Signals [6]. Noch schnellere Ansprechzeiten haben Feuchtesensoren, die im Frequenzbereich arbeiten [7]. Beide Sensorarten sind gut geeignet für die Erfassung der Bodenfeuchte aufgrund ihrer zeitlichen Auflösung, müssen jedoch für einen feldtauglichen Einsatz für die Dauer einer Vegetationsperiode in Pflanzenbeständen als energieautarkes System und mit einer drahtlosen Datenübertragung ausgestattet werden.

Aufbau der Sensoren

Die Sensoren bestehen aus einem Stab (Durchmesser 10 mm, Länge 600 mm), an dessen Ende Elektroden angeordnet sind, die mit Kabeln mit einem Controller verbunden sind (**Abbildung 1**). Der Controller wird energetisch über eine Solarzelle (amorphes Silizium, Durchmesser 170 mm) und einen

Akku (6 V, 2000mAh) mit Spannung versorgt. Der Mikrokontroller (MSP430F149) bildet zusammen mit einem Flashspeicher (1MB) einen Zwischenspeicher an jedem Sensor. Ein Funkmodul (nRF905) überträgt die Daten jeweils von den Sensoren auf einen Datalogger. Die elektrische Konfiguration des Sensors ist in **Abbildung 2** dargestellt und gibt sowohl die Energieversorgungsleitungen wie auch die Datenverbindungen an. In **Tabelle 1** werden die Spezifikationen der Komponenten des Sensors aufgeführt. Um den Energieverbrauch des Sensors gering zu halten, kann vom Messmodus auf einen Ruhemodus umgeschaltet werden. Das Messintervall wurde auf 15 Minuten eingestellt. Der Ablauf ist in **Abbildung 3** mit Angabe der Betriebsströme für die Komponenten und der dazugehörigen Einschaltzeiten dargestellt. Da der Betriebsstrom des Mikrokontrollers nur 0,1mA beträgt, wird diese elektrische Komponente bei der Auflistung der Verbraucher nicht berücksichtigt.

Messprinzip des Bodenfeuchtefühlers

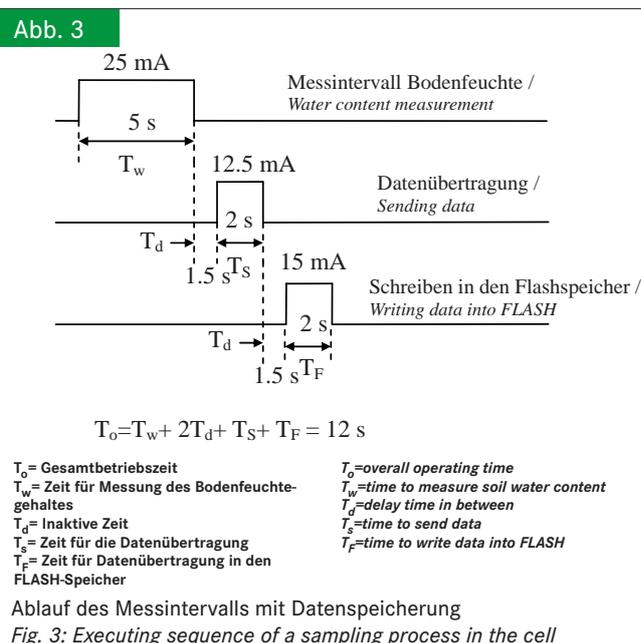
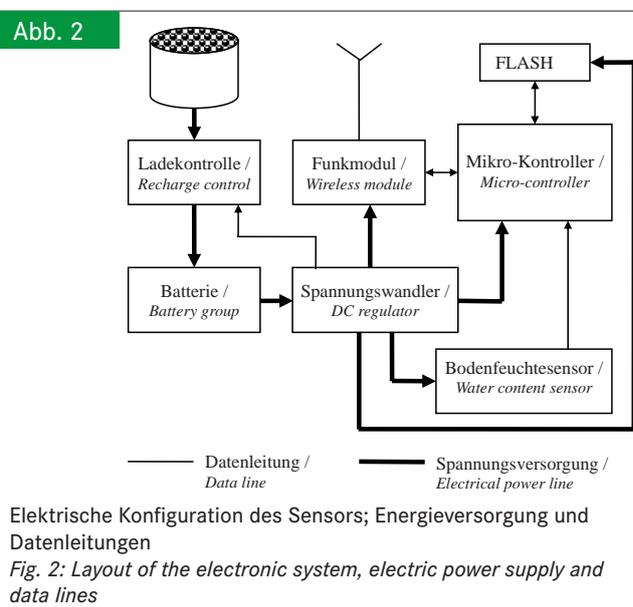
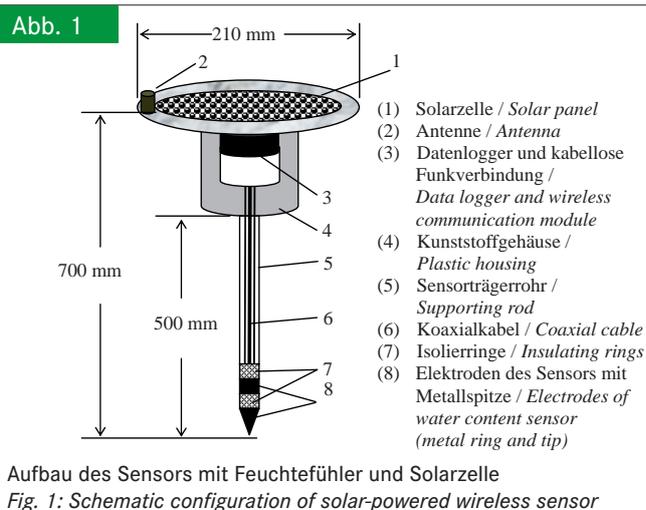
In **Abbildung 1** wird der schematische Aufbau des Feuchtefühlers dargestellt. Die in den Stab integrierten Elektroden werden vom Boden umgeben, der das dielektrische Medium für das elektrische Feld bildet. Die Elektroden sind über ein Hochfrequenzkabel im inneren Hohlraum des Sensorstabes mit einem Oszillator (100 MHz) verbunden. Der Bodenfeuchtegehalt verändert das elektrische Feld und erzeugt damit eine Frequenzveränderung, die gemessen und durch Kalibration in den volumetrischen Bodenfeuchtegehalt transformiert wird.

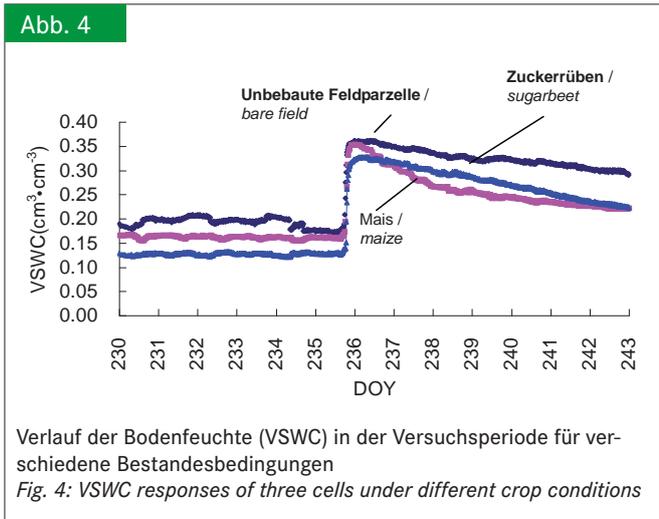
Aufbau und Durchführung der Feldversuche

Drei Sensoren wurden in den Versuchspartellen A (unbebauter Fläche), B (Mais) und C (Zuckerrüben) auf einer Versuchsfeldfläche des Poppelsdorfer Versuchsfeldes der Universität Bonn (6°43'33'' E, 50°, 43'9'' N) in der Zeit von DOY 221 bis 270 (Anfang August bis Ende September 2008) in den Boden eingebracht. Der Abstand zwischen den Sensoren zum Datalogger betrug ca. 100 m. Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Sensoren waren die Reihen der Zuckerrüben geschlossen und der Mais beschattete die gesamte Bodenoberfläche. Über eine Wetterstation im Versuchsfeld Poppelsdorf wurden die meteorologischen Daten aufgenommen.

Solarzelle

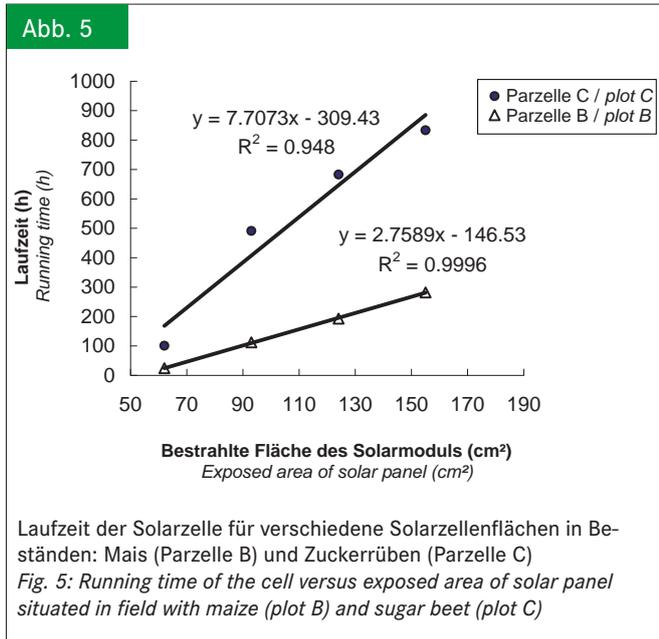
Die Solarstrahlung in dem Versuchsfeld betrug in der Zeit von Juli bis Mitte September $5,5 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ mit einem Minimum von $0,8 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ und einem Maximum von $10,7 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Der Energiebedarf des Sensors lag im Betrieb mit Ruhezeiten bei 0,03 Wh und für den Dauerbetrieb bei 0,29 Wh pro Tag. Für die Auslegung des Solarmoduls wurde ein Wirkungsgrad von 6 % angenommen und eine Akkukapazität von 40 Tagen gewählt. Um die notwendige Fläche des Solarmoduls näher zu bestimmen, wurden Versuche durchgeführt, in denen die Solarmodulfläche von 155 auf 124, 93 und 62 cm² abgedeckt wurde.





Ergebnisse

Die Auswertung der Daten begann zehn Tage nach Installation der Sensoren, um die Einflüsse durch das Einbringen des Sensors in den Boden auszuschalten. Die Betrachtung der Ergebnisse in **Abbildung 4** wird auf die Zeit vor und nach einem Regenfall von 20mm am DOY 235 beschränkt und zeigt die Bodenfeuchtegehalte von DOY 230 bis 243 für die drei Versuchspartzellen. Die Parzelle ohne Pflanzenbewuchs hatte den höchsten Wassergehalt in dieser Messzeit, der nach dem Regenfall vom DOY 235 linear abnahm. Der Bodenfeuchtegehalt in dem Zuckerrüben- und dem Maisbestand war in der Messzeit vor dem Regenereignis geringer als im unbebauten Feld, was auf die Wasseraufnahme der Pflanzen zurückgeführt wird. Die unterschiedliche, aber bei beiden Kulturen lineare Abnahme des Bodenfeuchtegehaltes kann mit dem unterschiedlichen Trockenstressverhalten von Mais und Zuckerrüben erklärt werden.



Tab. 1
 Elektrische Größen zum Energieverbrauch der elektronischen Komponenten eines Sensors
 Table 1: Power consumption from each component of designed electronic system

	Spannung (V)/ Voltage	Strom (mA)/ Current
Mikrokontroller/ Micro-controller	3,3	0,1
Bodenfeuchtesensor/ Water content sensor	6	25
FLASH-Speicher	3,3	15 (schreiben)/ (writing) 4 lesen/(reading)
Spannungswandler/ Linear DC-regulator	6	1 (Eigenverbrauch)/ (self-consumption)
Funkmodul/ Wireless module	3,3	12,5 (senden)/ (emitting) 11 (empfangen)/ (receiving) 0,002 (Ruhe)/ (sleeping)
Ladekontroll-Einheit/ Recharge control unit	6	2 (Eigenverbrauch)/ (self-consumption)

Energienutzung durch das Solarmodul

Abbildung 5 zeigt zwei Kurven der Betriebszeit des Sensors in Abhängigkeit von der beschienenen Fläche des Solarmoduls für vier verschiedene Panelgrößen. In dem Maisbestand wurde ein Teil der Solarpanelfläche beschattet (Panelhöhe über dem Boden: 45 cm; Höhe der Maispflanzen > 2 m). Die zweite Kurve wurde für die Fläche mit Zuckerrüben aufgenommen und zeigt deutlich höhere Betriebszeiten für die vier Panelflächen. Beide Kurven können mit einem linearen Verlauf gut angenähert werden (**Abbildung 5**: $R^2 > 0,948$). Die Solarmoduldimensionierung reicht somit aus, um die eingebaute Batterie zu laden (Ladezeit 10 h). Mit Ausnahme der kleinsten Modulfläche von 62 cm² konnte auch in dem hohen Maisbestand bei bedecktem Himmel ein sicherer Betrieb der Sensoren gewährleistet werden.

Schlussfolgerungen

Es wurden Bodenfeuchtesensoren auf der Basis des Impedanzprinzips entwickelt und mit einer Datenfunkverbindung ausgestattet. Während der Einsatzzeit von zwei Monaten wurden die Sensoren durch Solarmodule mit Energie versorgt und in einem Mais- und einem Rübenstand sowie auf einer unbebauten Fläche eingesetzt. Die ausgewählte Akkukapazität und die Größe des Solarmoduls stellten einen sicheren Betrieb, auch bei der

Abschattung in dem Maisbestand, sicher. Die Werte der Bodenfeuchte sprachen auf Regenereignisse kurzfristig an und erlaubten eine kontinuierliche Beobachtung des Bodenwasserzustandes in der Wurzelzone während der Vegetationsperiode.

Literatur

- [1] Jones, S. B.; Blonquist, J. M.; Robinson, D. A.; Philip Rasmussen, V.; Or, D. (2005): Standardizing characterization of electromagnetic water content sensors: Part 1. Methodology. *Vadose Zone Journal* 4, pp. 1048-1058
- [2] Nishat, S.; Guo, Y.; Baetz, B. W. (2007): Development of a simplified continuous simulation model for investigating long-term soilmoisture fluctuation. *Agricultural water management* 92, pp. 53-83
- [3] Whalley, W. R.; Clark, L. J.; Take, W. A.; Bird, R. A.; Leech, P. K.; Cope, R. E.; Watts, C.W. (2007): A porous-matrix sensor to measure the matrix potential of soil water in the field. *European Journal of Soil Science*, 58, pp. 18-23
- [4] Topp, G. C.; Annan, J. L.; Davis, A. P. (1980): Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, 16, pp. 574-582
- [5] Marek, A. M.; Wojciech, M. S. (1989): A manually controlled TDR soil moisture meter operating with 300 ps rise-time needle pulse. *Irrigation Science* 10, pp. 153-163
- [6] Vaz, C. M. P.; Hopmans, J. W. (2001): Simultaneous measurement of soil penetration resistance and water content with a combined penetrometer-TDR moisture probe. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65, pp. 4-12
- [7] Sun, Y.; Ma, D.; Schulze Lammers, P.; Lin, J.; Damerow, L. (2005): An improved frequency domain technique for determining soil water content. *Pedosphere* 15, pp. 805-812

Autoren

Prof. Dr. Yurui Sun ist leitender Wissenschaftler am Research Center of China Agricultural University in Beijing. **MSc Sheng Wenyi** und **Dr. Jinhua Lin** sind wissenschaftliche Mitarbeiter derselben Einrichtung.

Prof. Dr. Peter Schulze Lammers ist am Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn im Fachgebiet Systemtechnik in der Pflanzenproduktion tätig, Nussallee 5, 53115 Bonn, E-Mail: lammers@uni-bonn.de

Danksagung

Die Autoren danken dem Sino-German Center of NSFC-DFG (GZ494) und dem DAAD/CSC für die finanzielle Unterstützung der Forschungsarbeiten.