

Sensorik zur bodenfeuchteabhängigen Saatgutablage

Wolfgang Fichtner¹, Peter Zimmermann², Dieter Horlacher³, Heinz Friedrich Schönleber³
und Michael Mertig¹

¹Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e.V., Waldheim, Deutschland

²TEB, Berlin, Deutschland

³LWB Heinz Friedrich Schönleber e.K., Niederstrießis, Deutschland

Kontakt: wolfgang.fichtner@ksi-meinsberg.de

Einleitung

Die optimale Ablagetiefe für Saatgut hängt hinsichtlich der Keimfähigkeit stark von der Bodenfeuchte ab. Bedingt durch Witterungs- und Standortvariationen sind hier erhebliche lokale Schwankungen möglich. Durch eine optimale Einstellung der Ablagetiefe lassen sich Nachteile hinsichtlich des Pflanzenwachstums vermeiden. Ist beispielsweise die Kornablage zu hoch, erfolgt eine verzögerte Keimung im Saatbeet; ist dementsprechend die Kornablage zu tief, führt dies zu einem erhöhten Treibstoffverbrauch durch größere Arbeitstiefe und zu Nachteilen für die Keimung.

Treten auf einem Feld große Schwankungen der Bodenfeuchte auf, können durch eine teilflächenspezifische Variation der Bodenbearbeitung und insbesondere durch die Optimierung der Ablagetiefe des Saatguts die o.g. Nachteile (Abb. 1) minimiert werden.

Der Beitrag stellt eine Messtechnik für Bodenfeuchte zum *On-board*-Betrieb auf der Drillmaschine und deren Erprobung dar. Das KSI Meinsberg verfügt über langjährige Erfahrungen bei der Impedanzmessung in unterschiedlichen Medien, insbesondere bei der Erfassung des Feuchtegehaltes in Bodenmaterialien [1]. Die Sensorik ist in ein Gesamtsystem integriert, bei dem die zugehörige Aktorik über einen elektrischen Stellmotor die für die überfahrene Teilfläche optimale Bearbeitungstiefe einstellt. Der Feuchtegrad wird simultan elektrisch (Leitfähigkeit/Impedanz) während der Bearbeitung vor Ort gemessen. Hierbei fungieren elektrisch isolierend gelagerte Drillscheiben als Elektroden für die Messung der Bodenfeuchte. Die Messung erfolgt im Bereich des Bodens zwischen



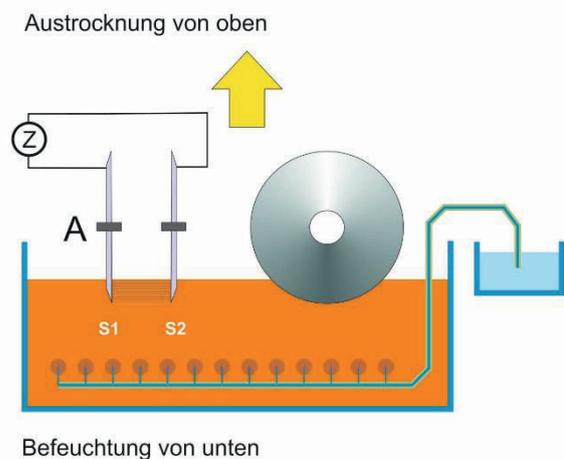
vier Drillscheibenpaaren.

Abb. 1: Acker mit stark unterschiedlich ausgeprägter Keimung der Jungpflanzen.

Messmethoden und Versuchsanordnungen

Laboruntersuchungen

Für die Laborversuche zur Entwicklung der Messmethode wurden reale Bodenproben beschafft und charakterisiert. Mittels gravimetrischer Feuchtebestimmung wurde der Absolutgehalt des enthaltenen Wassers bestimmt. Für die folgenden Versuche wurde die vorgegebenen Bodenfeuchte durch Zugabe einer definierten Wassermenge eingestellt. Zunächst wurden orientierende Impedanzmessungen zur Abschätzung des zu erwartenden Messeffektes an Edelstahlelektrodenblechen (400 mm Elektrodenabstand, 95 mm x 95 mm Elektrodenfläche) durchgeführt. Als Impedanzmessgerät wurde ein Potentiostat *Interface 1000* von *Gamry Instruments* eingesetzt. Die Laborversuche erfolgten in Ackerboden, der in eine ca. 20 dm³ fassende Versuchsbox eingebracht war. Gleichartige mit Erde gefüllte Versuchsboxen wurden auch für die Impedanzmessungen an Drillscheiben (Durchmesser 330 mm, gebrauchte Exemplare von Originalmaschine) eingesetzt. Dabei wurden die im Erdreich positionierten Scheiben mittels Festkontaktierungen bei drei verschiedenen Feuchtewerten untersucht (Abb. 2). Die Variation der Feuchtwerte erfolgte durch gezielte Befeuchtung bzw. durch Ver-



dunstung über die Bodenoberfläche.

Abb. 2: Laboraufbau zur Untersuchung der Messmethodik in realen Bodenproben variabler Feuchte.

Die Erfassung kompletter Impedanzspektren im Bereich von 1 Hz bis 100 kHz erfolgte an ruhenden sowie an bewegten Elektroden (oszillierende Bewegung mit einer Geschwindigkeit von ca. 0,2 m/s) in der Messbox.

Messungen im Versuchsbeet

Zur Simulation eines Ackers mit vorgegebenen, konstanten Eigenschaften wurde ein separates Versuchsbeet aufgebaut. Daraus folgen einige wesentliche Vorteile: reproduzierbare und definierte Bodenverhältnisse, u.a. gleichmäßige und homogene Bodenbeschaffenheit, sowie Unabhängigkeit von großer Trockenheit (Mai bis August 2020) auf dem Realacker. Konstruktiv besteht das Versuchsbeet aus einer Mulde von 5 m x 1 m im Holzrahmen, gefüllt mit ca. 20 cm Ackerboden. Das Versuchsbeet kann zum Verdunstungs- und Niederschlagschutz gegenüber Umwelteinflüssen abgedeckt werden. Über dem Beet operiert auf seitlichen Fahrbahnen zur Vermeidung separater Bodenverdichtung durch Antriebsräder ein selbstfahrender, elektrisch angetriebener Messwagen. Während der 4 m langen Überfahrten in zwei Richtungen (Vor- und Rückfahrt) werden auf den mitgeführten Messgeräten ortsaufgelöste Signalverläufe aufgezeichnet. Am Fahrgestell des Messwagens ist ein Drillscheibenpaar mit einstellbarem Scheibenabstand und einstellbarer Eindringtiefe in das Erdreich montiert (Abb. 3).



Abb. 3: Versuchsbeet, hier mit alternierenden Feuchtebereichen und dem Messwagen mit einem Drillscheibenpaar (links).

Zunächst wurden die Messparameter für den Einsatz des Potentiostaten *Gamry Interface 1000* optimiert (AC-Amplitude, Messfrequenz, Abtastrate). Es wurden die Ergebnisse zweier Messmodi (potentiostatisch: 100 mV konstante Spannungsamplitude und galvanostatisch: 1 mA konstante Stromamplitude) miteinander verglichen. Zur Quantifizierung des Rauschverhaltens wurde das Rauschsignal PECN (*Potentiostatic Electrochemical Noise*) bei Variation der Signalamplitude von 0,1 V bis 3 V erfasst. Daraus wurde jeweils ein Signal-zu-Rausch-Verhältnis ermittelt.

Mit den zuvor optimierten Geräteeinstellungen wurden Impedanzspektren bei einem Scheibenabstand von 10 cm und 15 cm gemessen. Die Scheibentiefe betrug wahlweise 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm und 10 cm. Zur Simulation eines Niederschlageinflusses auf die Erde im Versuchsbeet wurde dieses in 1 m breiten Abschnitten mit Beregnung von 10 mm und 20 mm Wasser beaufschlagt (dunkle Bodenbereiche in Abb. 3). Das Zeitsignal der Impedanzwerte

wurde im Messmodus EISMON (Single Frequency Electrochemical Spectroscopy Monitoring) bei Festfrequenz 700 Hz erfasst. Bei Überfahrt mit einer geradlinig gleichförmigen Geschwindigkeit kann dem Zeitsignal eine Ortskoordinate x zugeordnet werden.

Ergänzend zu den Untersuchungen mit dem Labormesssystem von *Gamry* wurde mit einer mobilen und für den späteren Feldeinsatz vorgesehenen Elektronik (RCL-Meter *Peaktech 2170*) gemessen. Die festeingestellte Messfrequenz betrug 1 kHz. Ein Mikrorechner RaspberryPI erfasste permanent die Messwerte, führte mittels spezieller Software eine Signalbearbeitung durch und speicherte die berechneten Daten in ein Messfile. Zur Kontrolle des Messvorganges wurden die Daten simultan auf einem mitgeführten Monitor dargestellt. Die Kontaktierung der Messscheiben erfolgt auch hier über Federerschleifringe und Messleitungen per Kelvinklemme.

Ackerdreirad

Für die Erprobung der sensorischen Komponenten und der Messelektronik im Feldeinsatz wurde ein Dreirad entwickelt und gebaut. Das Fahrgestell verfügt über standardisierte Aufnahmepunkte für den Frontanbau an einem Traktor (Abb. 4). Damit kann der Wagen vor dem Traktor über den Acker geschoben werden. Kleine Lenkbewegungen mit großen Radien werden durch einen seitlichen Schlupf realisiert. Beim Richtungswechsel am Feldrand wird der Wagen zum mechanischen Schutz der Messscheiben von der Fronthydraulik ausgehoben und in der neuen Fahrtrichtung wieder eingesetzt.

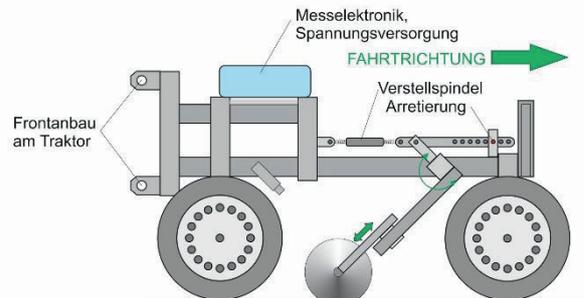


Abb. 4: Ackerdreirad zum Frontanbau an einen Traktor während des Drillvorgangs (schematisch).

Das Dreirad verfügt über einen Hilfsrahmen zur Verstellung für 4 Scheibenpaare (Abb. 5). Damit wird auch ein gleichzeitiges Anheben aller Scheibenpaare bei Bewegung und Abstellen des Dreirades auf festem Untergrund ermöglicht. Im Messbetrieb auf dem Acker ragen die Unterkanten der Scheiben gemäß der eingestellten Eindringtiefe 4 cm bis 10 cm in den Boden hinein.

Eine besondere konstruktive Anforderung sind die hohen vertikalen Anpresskräfte der Scheiben, die bei trockenen Böden und hohen Arbeitsgeschwindigkeiten im Bereich von 500 N pro Einzelscheibe liegen können. Entsprechend robust ist die flexible Lagerung der Scheibenpaare ausgelegt. Gleichzeitig muss in allen Fahrzuständen die sichere und verschmutzungsfreie Kontaktierung der Messschei-

ben gewährleistet sein. Dazu wurde eine komplett vor Wasser und Staub dicht gekapselte Lagerung mit elektrischer Kontaktierung per innenliegender Bronzekohleschleifbürste realisiert.

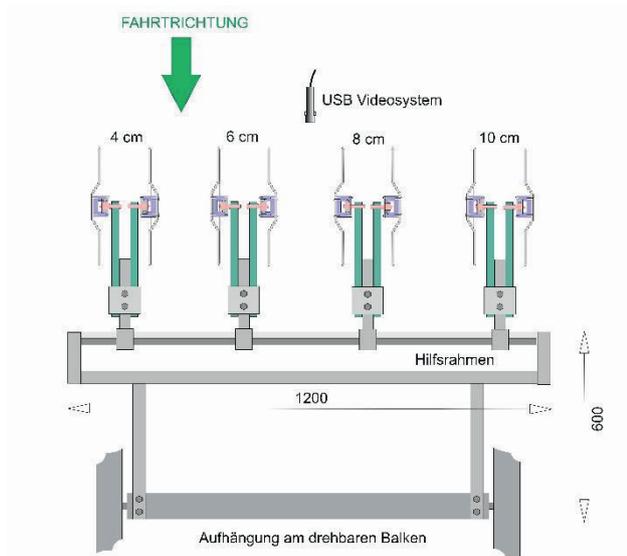


Abb. 5: Detailansicht der Scheibenanordnung im Hilfsrahmen des Ackerdreirades (Draufsicht schematisch).

Ergebnisse

Messungen im Versuchsbeet

Die Versuche mit dem Messwagen auf dem Versuchsbeet zeigen, dass Scheibentiefen ≤ 4 cm ungünstig sind, da schon kleinere Bodenunebenheiten zu Kontaktunterbrechungen und damit Signalverlust führen. Bei 6 cm bis 8 cm Eindringtiefe liegen optimale Verhältnisse vor. Bei 10 cm Eindringtiefe wurden die Fahrwiderstände so groß, dass mit dem Antrieb des Messwagens eine gleichmäßige Geschwindigkeit nicht gewährleistet werden konnte. Der Messscheibenabstand beeinflusst erwartungsgemäß die absoluten Werte der Impedanz. Eine Vergrößerung des Abstandes führt zu einer Abnahme der Signalströme, was insbesondere bei trockenen Bodenverhältnissen und Signalamplituden unter 100 mV begrenzend hinsichtlich eines akzeptablen Signal-zu-Rausch-Abstandes sein kann. Scheibenabstände unterhalb von 100 mm sind auf einem Acker nicht praktikabel, da hierbei die Gefahr der Verklebung mit Erdklumpen zwischen den Elektrodenscheiben steigt. Bei den Messungen im Versuchsbeet zeigte ein Scheibenabstand von 150 mm optimales Verhalten.

Zur Verifizierung der Ortsauflösung des Messsystems bei Überfahrt über inhomogen beschaffene Feldbereiche wurden im Versuchsbeet Niederschläge simuliert. Ein beispielhaftes Ergebnis ist im Diagramm (Abb. 6) gezeigt. Die feuchten Bodenbereiche (20 mm Niederschlag) führen zu zwei Plateaus deutlich abgesenkter Impedanzwerte zwi-

schen 500 – 700 Ω , während die trockenen Bodenbereiche dazwischen Werte bei ca. 3000 Ω zeigen.

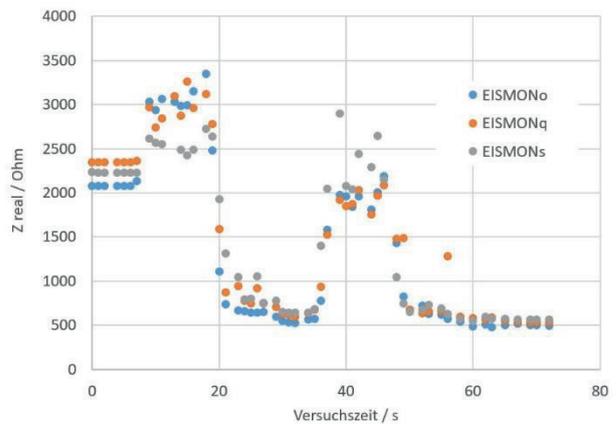
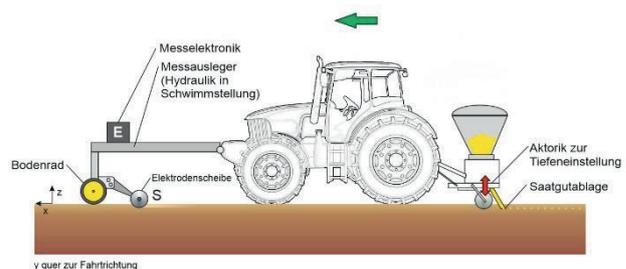


Abb. 6: Impedanzwerte bei 700 Hz von drei Überfahrten am Versuchsbeet mit 8 cm Scheibentiefe.

Erprobung Ackerdreirad

Die zwischen den Partnern abgestimmte Konzeption des geplanten Feldeinsatzes der feuchteabhängigen Saatgutablage ist in Abb. 7 dargestellt. Dabei werden die notwendigen sensorischen Komponenten im Frontanbaubereich des Traktors montiert. Die von der Bordhydraulik realisierte schwimmende Lagerung bewirkt, dass die Messscheiben dem gegebenen Bodenprofil folgen und die eingestellte Eindringtiefe einhalten. Die Drillmaschine mit aktiver Höhenregelung ist im Heckanbaubereich des Traktors montiert. Die Länge Δx zwischen Messscheiben und Drillscheiben führt bei einer gegebenen Fahrtgeschwindigkeit



zu einer maximal möglichen Zeitspanne für eine Reaktionszeit des Regelkreises im Bereich von ca. 1 s. Die Reaktionszeit setzt sich dabei zusammen aus der Signalverarbeitungszeit der Messelektronik und der Einstellzeit der Drillscheibenverstellung.

Abb. 7: Konzeption der Komponenten für die bodenfeuchteabhängige Saatgutablage.

Die Impedanzmessungen in den Laborversuchen bei variierender Eindringtiefe der Drillscheiben zeigten, dass eine Beseitigung von Scheibenbelag bzw. Scheibenlackierung

vor der Messung erforderlich ist. Im laufenden Messbetrieb wird eine Säuberung durch den Abrieb im Erdreich permanent gewährleistet. Grobe Rostansätze (tritt bei dem verwendeten hochwertigen Edelstahlmaterial der Scheiben bei sachgemäßer Einlagerung der Drillmaschine nur selten auf) oder Verschmutzungen sind vor einer Messfahrt zu entfernen.

Die Tests zur Scheibenlagerung mittels Kugellager zeigten mechanisch zufriedenstellende Ergebnisse, während die Kugellager als konstruktive Elemente zur Potentialübertragung ungeeignet sind. Der Schmierfilm aus Öl oder Fett im bewegten Lager führt zu einer stark verrauschten Signalübertragung. Zur Gewährleistung eines störungsfreien Messbetriebs wurde daher mit speziellen, vollständig gekapselten Federschleifkontakten zur Signalübertragung aus dem rotierenden System gearbeitet.

Die Feldtests zum Einsatz des Ackerdreirads auf dem Feld stehen unmittelbar bevor (Abb. 8). Zur Kontrolle des Messvorgangs ist ein drahtlos gekoppelter Tablet-Rechner in der Kabine des Traktors vorgesehen, auf dem die Einstellungen der Messelektronik vorgenommen und die Verläufe der Messwerte dargestellt werden können.

rangig bei der Erweiterung sensorischer Grenzbereiche, sondern bei der innovativen Überführung eines etablierten Messverfahrens in den rauen Einsatz unter Praxisbedingungen eines Landwirtschaftsbetriebes.

Literatur

[1] W. Fichtner, M. Mertig, D. Fleischer, U. Helbig **Impedimetrische Sensoren zur Überwachung von Deichbauwerken**. 26. Interdisziplinäre Wissenschaftliche Konferenz Mittweida (2021) 25-28, DOI: 10.48446/opus-12301

Danksagung

Die hier vorgestellten Ergebnisse entstanden im Rahmen eines Projektes des Zentralen Innovationsprogrammes Mittelstand, das aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde, ZIM Förderkennzeichen ZF4088706SA9. Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung.



Abb. 8: Foto der Kombination Ackerdreirad, Traktor und Drillmaschine bei einer Testfahrt.

Diskussion

Die hier dargestellte Thematik hat einen starken Anwendungsbezug und soll einen Beitrag zur Digitalisierung in der Landwirtschaft leisten. Die mit dem kombinierten Einsatz von Bodensensorik und zusätzlicher Aktorik einer bestehenden Drillmaschine bereitgestellte Option ermöglicht die teilflächenspezifische Optimierung der Saatgutablage. Der Schwerpunkt der Entwicklung liegt hierbei nicht vor-