

Gleichzeitige Erfassung von Eindringwiderstand und Bodenfeuchte

Sensorsystem zur Echtzeit-Messung im Penetrometer

Um Bodenverdichtungen einfach und flächendeckend messen zu können, wurde in Bonn ein Doppelsensor, der auf der Basis dielektrischer und mechanischer Größen arbeitet, entwickelt und als Prototyp für Labormessungen gebaut. Die geometrische Form des Sensors entspricht der ASAE-Norm für Penetrometerkegel. Der Sensor liefert die Signale beim Einstechen in den Boden in Echtzeit. Aus den Signalen kann auf die Bodenfeuchte und den Eindringwiderstand als Maß für die Bodendichte geschlossen werden. Laborversuche wurden mit einem Prototyp durchgeführt, der Einsatz im Feld ist geplant.

Prof. Dr. Yurui Sun ist leitender Wissenschaftler am Research Center of China Agricultural University in Beijing. Seit Oktober 2001 ist er am Institut für Landtechnik in Bonn als Gastwissenschaftler. Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers und Dr.-Ing. Lutz Damerow sind am Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn im Fachgebiet Systemtechnik in der Pflanzenproduktion tätig, Nussallee 5, 53115 Bonn; e-mail: landtechnik@uni-bonn.de
Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET.com.

Schlüsselwörter

Penetrometer, Bodenfeuchte, Konusindex

Keywords

Cone index, soil moisture, soil bulk density, dielectrics

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 02517 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Seit [1] eine empirische Formel zur Beschreibung der Beziehung zwischen der Bodenfeuchte und der Dielektrizität des feuchten Bodens vorgestellt hat, sind eine Vielzahl von Messmethoden auf der Basis von dielektrischen Eigenschaften des Bodens zur Bestimmung der Bodenfeuchte untersucht worden. Diese Methoden liefern unter Laborbedingungen hinreichend genaue Ergebnisse, im Feldeinsatz sind sie jedoch ungenau [2]. Der wesentliche Grund für die unzuverlässigen Werte im Feldeinsatz liegt darin, dass die Dielektrizität nicht nur von der Bodenfeuchte, sondern auch von der Bodendichte abhängt. Ein konventioneller Weg der Ermittlung der Bodendichte ist die Messung des Eindringwiderstands mittels Penetrometern. Dieses Verfahren liefert direkte Ergebnisse als Konusindex, der als Eindringwiderstandskraft bezogen auf die Querschnittsfläche des genormten Kegels definiert ist und eng korreliert mit der Bodendichte, aber auch von der Bodenart und dem Bodenfeuchtegehalt [2, 3] beeinflusst wird. Daraus ergibt sich der Vorschlag die Bodenfeuchte θ und Bodendichte ρ gleichzeitig zu messen [4].

Das Ziel dieser Entwicklungsarbeiten ist die Verbindung beider Messprinzipien zu einem Sensorsystem, das als Hygro-Penetrometer bezeichnet wird. Das Sensorsystem soll in Echtzeit Signalepaare liefern, die eine Bewertung des Eindringwider-

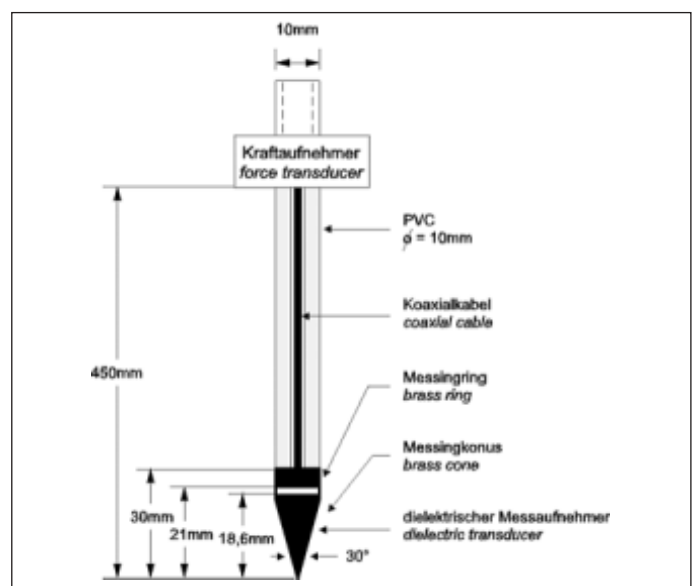
stands mit der Bodenfeuchte ermöglichen und zur Kartierung der Bodendichte von landwirtschaftlich genutzten Böden in einem Bereich der Bodenfeuchten zwischen 10 und 40 % und der Bodendichten zwischen 1,0 und 1,7 kg l⁻² Anwendung finden soll. Mit einem entsprechenden Messaufbau wurden an Bodenproben unter Laborbedingungen Ergebnisse zum Bodenfeuchtegehalt und der Bodendichte ermittelt.

Messprinzip

In Bild 1 wird der Aufbau des Sensorsystems schematisch dargestellt, das aus dem Penetrometerstab mit einem genormten Kegel nach ASAE [5] und dem Impedanzsensor besteht. Der dielektrische Messaufnehmer besteht aus dem Messingkegel und einem Messingring, der kurz oberhalb des Kegels am Ende des Stabes eingelassen ist. Das Penetrometer ist mit einem elektrischen Antrieb für Eindringbewegung in den Boden und einem Kraftaufnehmer ausgestattet. Als Kraftaufnehmer wird ein HM-C9B/500N mit einem maximalen Messbereich von 500N eingesetzt. Die maximale Vertikalbewegung beträgt 420 mm.

Bild 1: Sensorsystem bestehend aus den Messaufnehmern für Eindringwiderstand und Bodenfeuchte

Fig. 1: Sensorsystem combined with two transducers for cone index and water content



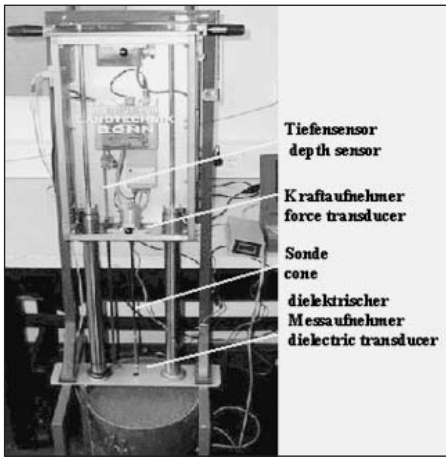


Bild 2: Aufnahme des ausgeführten Sensorsystems

Fig. 2: Photo of the sensorsystem

In den meisten Fällen steigt der Eindringwiderstand mit zunehmendem Gehalt an Schluff und Ton, mit abnehmender Bodenfeuchte, mit wachsender Tiefe der Eindringung in den Boden und bei steigenden Bodendichten [6,7, 8]. Es wird davon ausgegangen, dass die Signale des dielektrischen und des Kraftaufnehmers als Funktion dargestellt werden können

$$S_{\text{Dielektrik}} = f_1(\theta, \rho, \alpha) \quad (1)$$

und

$$S_{\text{Kraft}} = f_2(\theta, \rho, \alpha) \quad (2)$$

$S_{\text{Dielektrik}}$: Ausgangssignal des Kraftaufnehmers

S_{Kraft} : Ausgangssignal des dielektrischen Messaufnehmers

θ : volumetrischer Feuchtegehalt des Bodens

ρ : Bodendichte

α : Koeffizient zur Anpassung an verschiedene Bodenarten

Mit der Auswahl des Bodens wird α festgelegt. Wenn α konstant ist, bleiben zwei unbekannte Größen, der volumetrische Feuchtegehalt und die Bodendichte in jeder Gleichung. Weiterhin muss eine notwendige Bedingung, die sicherstellt, dass keine lineare Abhängigkeit zwischen beiden Gleichungen besteht, berücksichtigt werden. Wenn es eine dimensionslose Konstante C gibt, so dass

$$f_2(\theta, \rho, \alpha) = C f_1(\theta, \rho, \alpha) \quad (3)$$

ist, dann existiert eine Vielzahl von Lösungen für beide Gleichungen 1 und 2 und ein Paar der Ergebniswerte des Dualsensors wird identisch. Demzufolge wurde der dielektrische Messaufnehmer in einer Weise gestaltet, dass die folgende Bedingung erfüllt wird:

$$(\theta \uparrow \cup \rho \uparrow) \rightarrow S_{\text{Dielektrik}} \uparrow \quad (4)$$

Die Eigenschaften des Kraftnehmers sind bekannt wie folgt:

$$(\theta \downarrow \cup \rho \uparrow) \rightarrow S_{\text{force}} \uparrow \quad (5)$$

Als gefordertes Ergebnis sind dann beide Ausgangssignale linear unabhängig vonein-

Bild 3: Einfluss der Bodendichte auf das Signal des dielektrischen Sensors in Abhängigkeit von der volumetrischen Bodenfeuchte

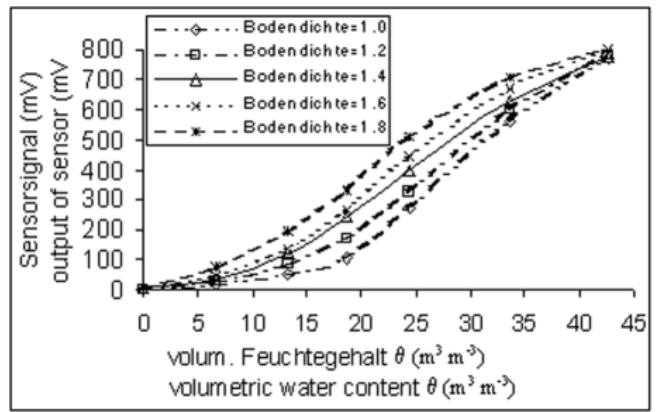


Fig. 3: Signal of the dielectric transducer versus volumetric water content depending on different soil densities

ander und es kann erwartet werden, dass die Wertepaare den Eindringwiderstand und die Bodenfeuchte repräsentieren.

Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Für die Versuche wurde Boden vom Versuchsfeld „Messdorferfeld“ in Bonn-Endenich verwendet. Bodenproben mit verschiedenen volumetrischen Feuchten wurden in sieben zylindrische Kunststoffbehälter gefüllt in einem Bereich zwischen 0 und $42,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, also zwischen absolut trockenem und gesättigtem Feuchtezustand. Die Behälter hatten eine Höhe von 400 mm und einen Durchmesser von 340 mm. Die Bodenproben sind als toniger Lehm und mit der Textur: Ton 36%, Schluff 53% und Sand 11% anzusprechen.

Bild 3 enthält eine Kurvenschar für verschiedene Bodendichten, die die Abhängigkeit zwischen der volumetrischen Bodenfeuchte und dem Sensorsignal des dielektrischen Aufnehmers angibt. Ein weiteres Ergebnis der Gesamtuntersuchungen ist in Bild 4 dargestellt, das einen dreidimensionalen Kurvenverlauf für die Abhängigkeit zwischen volumetrischer Bodenfeuchte, der Bodendichte und dem Eindringwiderstand für den ausgewählten Bodentyp enthält. Der Darstellung kann entnommen werden, dass der Verlauf des Eindringwiderstandes mit den theoretischen Überlegungen übereinstimmt. Andererseits tritt der Maximalwert des Eindringwiderstandes nicht immer bei der trockensten Probe (in der Nähe von θ gleich Null) auf. Dieses Phänomen wurde

bereits in [3] beschrieben und als wesentliche Gründe zwei Aspekte angeführt. Der Einfluss des Feuchtegehaltes auf die Bodendichte müßte berücksichtigt werden und die kohäsive Interaktion zwischen dem Boden und der Konusoberfläche ändert sich signifikant, wenn entweder der Feuchtegehalt oder die Bodendichte (im trockenen Zustand) sich ändern. Es muss deshalb davon ausgegangen werden, dass der Eindringwiderstand gemessen als Konusindex in vielen verschiedenen Kombinationen von Kohäsion und Reibung sich wiederfinden lässt.

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Ein Dualsensor zur gleichzeitigen und Echtzeiterfassung des Eindringwiderstandes und der Bodenfeuchte wurde entwickelt und unter Laborbedingungen erprobt. Besonders hervorzuheben ist, dass der Feuchtesensor wesentlich kostengünstiger ist als TDR-Messaufnehmer. Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen deuten auf eine gute Brauchbarkeit des Dualsensors auch für den Feldeinsatz hin. Die weiteren Untersuchungen werden sich auf die Kalibration bei verschiedenen Bodenarten und auf die Entwicklung eines Modells zur Interpretation der Vorgänge unter Kegelspitze und dem Einfluss der Bodendichte sowie des Feuchtegehaltes für eine universelle Anwendung konzentrieren. Weiterhin sollen die mathematischen Lösungsverfahren für das Messprinzip des dielektrischen Messaufnehmers optimiert werden.

Bild 4: Bodeneindringwiderstand (Konusindex) über der Bodendichte und der volumetrischen Bodenfeuchte

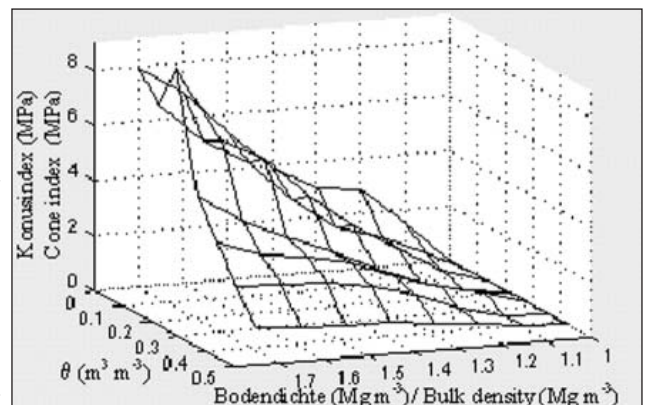


Fig. 4: The relationship among cone indices, volumetric water content θ and bulk density was obtained by the laboratory test