

Peter Schulze Lammers, Bonn, sowie Yurui Sun und Daokun Ma, Peking/China

Einsatz eines Kombinationssensors zur Kartierung des Bodenwiderstandes und Bodenwassergehaltes

Penetrometer sind einfach zu handhabende Messgeräte für die Messung des Bodenwiderstandes. Als Vertikalpenetrometer werden sie benutzt, um ein Verdichtungsprofil über der Tiefe darzustellen, als Horizontalpenetrometer, um die flächenmäßige Verteilung von Bodenverdichtungen zu erfassen. Wenn von dem Bodenwiderstand, der als Kraft gemessen wird, auf Verdichtungen geschlossen werden soll, ist jedoch eine starke nicht lineare Abhängigkeit von dem Bodenwassergehalt zu berücksichtigen.

Um den Einfluss der Bodenfeuchte auf den Bodenwiderstand zu kompensieren, ist eine ständige und gleichzeitige Messung der Bodenfeuchte bei Versuchen mit Penetrometern erforderlich. Dies kann durch Bodenproben geschehen, die getrocknet werden, oder mit anzeigenden Messgeräten, die zum Beispiel nach dem TDR-Prinzip arbeiten. Die Kombination eines Bodenfeuchtefühlers mit einem Penetrometer erlaubt die gleichzeitig und mit gleicher Auflösung erzeugte Erfassung der Signale zur Bodenfeuchte und zum Bodenwiderstand. Die Implementierung eines Bodenfeuchtesensors in ein Vertikalpenetrometer wurde bereits in 2004 von den Autoren [1] durchgeführt. Für eine flächenmäßige Erfassung der Bodenwiderstände ist jedoch ein Horizontalpenetrometer besser geeignet.

Methodik

Der Bodenwassergehalt wurde mit einem kapazitiven Sensor, der in den Schaft eines Penetrometers eingefügt wurde, gemessen. Zwei metallische Ringe, getrennt durch isolierenden Ringe, stellen die Elektroden des Kondensators dar (Bild 1). Das Messprinzip beruht auf dem Zusammenhang zwischen der Dielektrizität und dem Wassergehalt des

Bodens und macht eine Kalibration des Sensors notwendig. Wenn die dielektrischen Eigenschaften des Bodens bekannt sind, kann die Beziehung von Topp [2] zur Abstimmung des Sensorsignals benutzt werden. Zur Reduzierung der elektromagnetischen Verluste als Teil der scheinbaren Dielektrizität wird der Sensor in einem Frequenzbereich betrieben, in dem der imaginäre Teil der Dielektrizität geringe Werte aufweist.

Da der Schaft des Konus eine Bohrung zur Verlegung von Leitungen zu den Kondensatorelektroden enthält und wegen der zusätzlichen Bauteile relativ lang ist, weist er eine geringe Stabilität auf. Deshalb werden die Bodenwiderstandskräfte über ein Hebelsystem und eine außen angeschlagene Kraftmessdose gemessen (Bild 1). Zum Schutz vor der Einwirkung des Bodens auf den Lenker, der zur Kraftübertragung dient, wird dieser durch einen Stab abgedeckt. Die Konusspitze und der Schaft wurden in Anlehnung an den ASABE-Standard S313.2 [3] gestaltet.

Versuche

Zunächst wurden Kalibrationsversuche für den Bodenfeuchtesensor und den Bodenwiderstandssensor durchgeführt. Das Signal

Prof. Dr. Peter Schulze Lammers leitet am Institut für Landtechnik der Universität Bonn den Bereich Systemtechnik in der Pflanzenproduktion, Nussallee 5, 53115 Bonn, e-mail: lammers@uni-bonn.de
 Prof. Dr. Yurui Sun leitet das Research Center for Precision Farming und Dr. Daokun Ma ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der China Agricultural University, Qing Hua Dong Lu 17, Beijing, 10083, e-mail: pal@cau.edu.cn

Schlüsselwörter

Penetrometer, Bodenfeuchte, Bodenverdichtung, Online-Verfahren

Keywords

Soil compaction, water content, penetrometer, on-the-go measurement

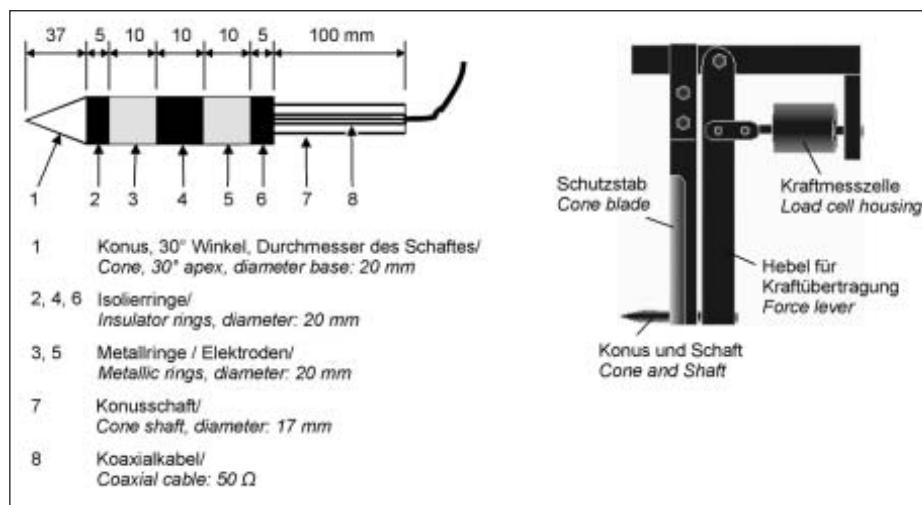


Bild 1: Aufbau des Horizontalpenetrometers mit Konus und implementierten Elektroden

Fig. 1: Main parts of horizontal combined penetrometer and implementation of electrodes

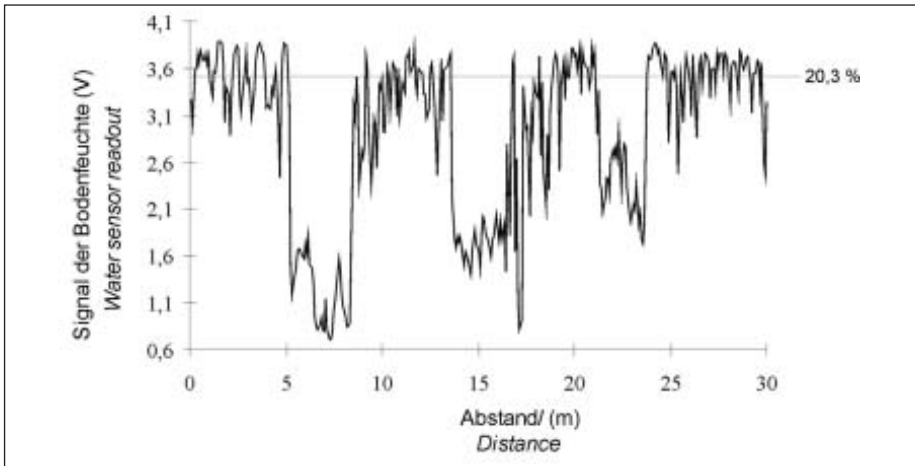


Bild 2: Sensorsignal für die Bodenfeuchte beim Durchfahren von Bodenbereichen mit drei verschiedenen Bodenfeuchtegehalten

Fig. 2: Response of the water content sensor when going through soil sections with three different moisture profiles

des Bodenfeuchtesensors korreliert mit dem Bodenfeuchtegehalt bei Anwendung der nachfolgenden quadratischen Funktion:

$$\Theta = 0,0259x^2 - 0,0087x + 0,0143 \quad (1)$$

mit $R^2 = 0,978$. Das Kraftsignal steht in einem linearen Zusammenhang mit den auf die Konusspitze wirkenden Widerstandskräften.

Zum Test der Eignung des Horizontalpenetrometers wurden zwei Versuche durchgeführt:

- Prüfung des Ansprechverhaltens der Bodenfeuchtemessung
- Prüfung von Effekten bei Veränderung der Geschwindigkeit

Für diese Untersuchungen wurde ein natürlich gelagerter Boden auf drei verschiedene Niveaus verdichtet und in einem anderen Bereich auf drei verschiedene Bodenfeuchten in der Einsatztiefe des Penetrometers (15 cm) eingestellt. In Bild 2 ist der Verlauf des Bodenfeuchtesignals beim Durchfahren der drei Bodenfeuchtezonen mit 6, 9 und 12% dargestellt. Jeweils im Anschluss an die Bodenbereiche mit den eingestellten Bodenfeuchten verändert sich das Signal unmittelbar wieder auf das Niveau des natürlichen Bodenfeuchtegehaltes von 20,3%. Die Ergebnisse des Einflusses der Fahrgeschwindigkeit wurden mit einer Kruskal-Wallis Varianzanalyse bewertet. Bei einer Arbeitstiefe von 15 cm stellte sich dabei (5% Vertrauensintervall) kein signifikanter Unterschied für das Bodenfeuchtesignal in einem Geschwindigkeitsbereich von 0,3 bis 1,5 m/s ein. Bei der gewählten Konstruktion des Penetrometerkonus mit einem Durchmesser von 20 mm und einem Winkel der Konusspitze von 30° nimmt das Kraftsignal in dem

gleichen Geschwindigkeitsbereich linear um 14% zu.

Nach den Vorversuchen wurde auf dem Versuchsgut Dikopshof der Universität Bonn der Schlag 9 auf einer Fläche von 2 ha beprobt. Dieser Schlag wurde ausgewählt wegen seiner großen Heterogenität in Bezug auf die Bodenarten. Bild 3 gibt im rechten Teil den Bodenfeuchtegehalt an und im linken Teil den Bodenwiderstand bei einer Einsatztiefe ebenfalls von 15 cm.

Fazit

Ohne einen zahlenmäßigen Vergleich, also bei visueller Betrachtung der beiden Merkmalskarten gibt es eine Übereinstimmung

zwischen den Bereichen hoher Bodenfeuchte und niedriger Bodenwiderstände. Einerseits ist das Ergebnis erwartungsgemäß und plausibel, andererseits wird damit bestätigt, dass die Bodenwiderstandswerte ohne Angabe der Bodenfeuchte wenig Aussagekraft besitzen. Es kann die Frage gestellt werden, ob ein Horizontalpenetrometer besser zur Anzeige der Heterogenität in Bezug auf die Bodenfeuchte als in Bezug auf die Bodenverdichtungen geeignet ist. Damit wird nicht infrage gestellt, dass ein Vertikalpenetrometer ein gebrauchsfähiges Instrument zur Bewertung der Bodentragfähigkeit für die Befahrbarkeit ist, als das es auch ursprünglich gedacht war.

Literatur

- Sun, Y., P. Schulze Lammers and D. Ma: Evaluation of a combined penetrometer for simultaneous measurement of penetration resistance and soil water content. J. Plant Nutr. Soil Sci. 167 (2004), pp. 1-7
- Topp, G. C., J. L. Davis and A. P. Annan: Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial lines. Water Resour. Res. 16 (1980), pp. 74-82
- ASAE S313.2: Soil cone penetrometer. ASAE Standard, 45th Edition, ASAE, St. Joseph, MI 49085, USA, 1998, pp. 820-821

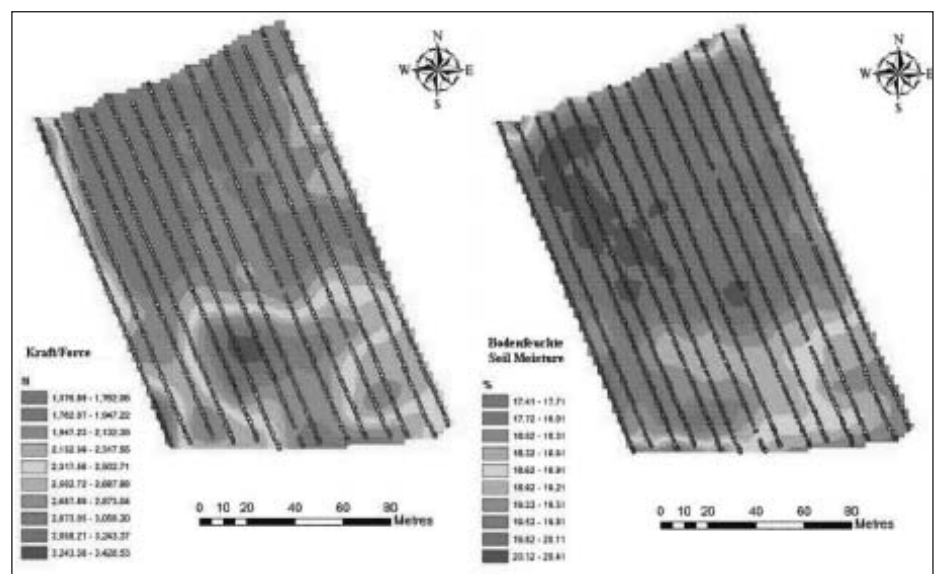


Bild 3: Karten für den Bodenwiderstand (a) und die Bodenfeuchte (b)

Fig. 3: Maps of the resistance force (a) and soil water content (b)