

Bodenverdichtung: Bewegt sich was?

Setzungsmessungen im Unterboden unter hoher Radlast

Am Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL in Braunschweig wurde ein Messverfahren zur Ermittlung vertikaler Setzungen in natürlicher Lage, wie sie durch Befahren im Unterboden ausgelöst werden können, entwickelt. Im Vergleich zu bekannten Verfahren [1, 2] ist es mit einer weiterentwickelten Technik gelungen, den Aufwand bei der Durchführung der Messungen im Feld drastisch zu reduzieren. Die einfache Handhabung erlaubt simultane Messungen in verschiedenen Bodentiefen mit jeweils mehreren Parallelmessungen, die in ersten Versuchen bei unterschiedlichen Bodenbedingungen und Belastungen reproduzierbare Ergebnisse erzielen ließen.

Dipl.-Ing. Klaus Nolting, Dr. Joachim Brunotte und Dipl.-Ing. Marco Lorenz sind Wissenschaftler, PD Dr.-Ing. habil. Claus Sommer ist Gastwissenschaftler am Institut für Betriebstechnik und Bauforschung (Leiter: Prof. Dr. agr. habil. F.-J. Bockisch) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig; e-mail: klaus.nolting@fal.de

Die Untersuchungen laufen im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens „Entwicklung eines Online-Sensorsystems zur Erkennung der aktuellen Befahrbarkeit von Ackerböden“.

Schlüsselwörter

Bodenverdichtung, Setzungsmessung, Bodenschutz

Keywords

Soil compaction, settlement metering, soil protection

An der Bodenoberfläche wird die Verformung des Bodens unter einer Radlast durch Ausbildung einer Fahrspur sichtbar. Aus dem Bestreben, die Fortsetzung der vertikalen Bodenbewegung von der Oberfläche in die Tiefe des Bodens verfolgen zu können, entstand die grundlegende Idee zur Messung der Bodensetzung vor Ort in unterschiedlichen Tiefen [3, 4]. Eine Möglichkeit besteht in der Messung der vertikalen (und auch horizontalen) Bewegung von Platten oder anderen in den Boden eingebrachten Probekörpern, die mechanisch mit Positionssensoren verbunden sind. Wegen des großen Aufwandes beim Einrichten derartiger Messstellen im Unterboden und der Störungsempfindlichkeit der mechanischen Komponenten wurde nach einer praktikableren Messmethode gesucht.

Das Prinzip Schlauchwaage

Die Schlauchwaage (Bild 1a) wurde für periodische Messungen vertikaler Bodendeformationen zur Bodendichtedynamik im Bodenprofil verwendet [5]. Insbesondere dient sie als einfaches, aber präzises Hilfsmittel in der Bautechnik [6, 7], um identische Niveaus an zwei Orten zu ermitteln, zwischen denen kein Sichtkontakt besteht. Nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren wird die Tatsache ausgenutzt, dass sich in den beiden Schenkeln eines u-förmigen, mit Wasser teilgefüllten Schlauches gleiche Wasserspiegelhöhen einstellen (unter der Voraussetzung gleichen atmosphärischen Luftdruckes p_{atm} an beiden Schlauchenden). Durch Verschluss des einen Schlauchendes mit einem Drucksensor, wird aus der Schlauchwaage ein hydrostatisches Niveau-Messsystem; ist es darüber hinaus wie in Bild 1b ein Differenzdruckaufnehmer, lässt sich der Einfluss von Luftdruckänderungen kompensieren. Diese moderne Variante wird in der Baumesstechnik beispielsweise zur Setzungsüberwachung an Bauwerken oder im Deponiebereich verwendet. Eine weitere Verbesserung stellt das geschlossene System in Bild 1c dar, mit dem sich Messfehler durch Luftdruckunterschie-

de zwischen den beiden Schenkeln der Schlauchwaage vermeiden lassen.

Ein Schlauch-in-Schlauch-System

Die eigene Weiterentwicklung sollte nun das freie Schlauchende über eine Schrägbohrung bis in die beabsichtigte Messposition im Boden einführen lassen, dafür Sorge tragen, dass am Schlauchende im Boden derselbe Luftdruck herrscht wie an dem Druckaufnehmer und das Abreißen der hängenden Wassersäule ausschließen. Als Lösung wurde ein ‚Schlauch-in-Schlauch‘-System entwickelt, bei dem sich der offene, mit Wasser gefüllte Schlauch in einem am Ende verschlossenen Hüllschlauch befindet (Bild 1d).

So entstand ein geschlossenes, vom Luftdruck unabhängiges System, aus dem kein Wasser entweichen kann. Ein Polyamid-schlauch mit 4 mm Innendurchmesser, der sich den Bewegungen des umgebenden Bodens gut anpasst, wird als Hüllschlauch verwendet. Der innere Wasserschlauch hat einen Innendurchmesser von 1 mm bei einer Wandstärke von ebenfalls 1 mm. Durch die Kapillarwirkung des kleinen Schlauchdurchmessers wird die Wassersäule zusätzlich stabilisiert. Änderungen des Luftdrucks innerhalb des Hüllschlauches infolge Verformung oder Temperaturänderung werden durch die Differenzmessung innerhalb des geschlossenen Systems kompensiert. Um der Bildung von Luftblasen, die zu Fehlern bei der Druckübertragung führen, vorzubeugen, wird das System vorzugsweise mit entgastem Wasser befüllt.

Zum Befüllen der Schlauchsonde und zum Anschluss an den Differenzdruckaufnehmer wurde eine spezielle Armatur für eine einfache Handhabung im Feld entwickelt. Die Miniatur-Differenzdruckaufnehmer sind in die Armatur integriert, der Messbereich beträgt 100 mbar. Die Drucksignale werden über hochstabile Messverstärker derart verstärkt, dass mit dem nachgeschalteten Datenerfassungssystem, bestehend aus Notebook und USB-Messbox mit einer Auflösung von 0,1 mm, ein nutzbares Messbereichsfenster von 400 mm erreicht wird.

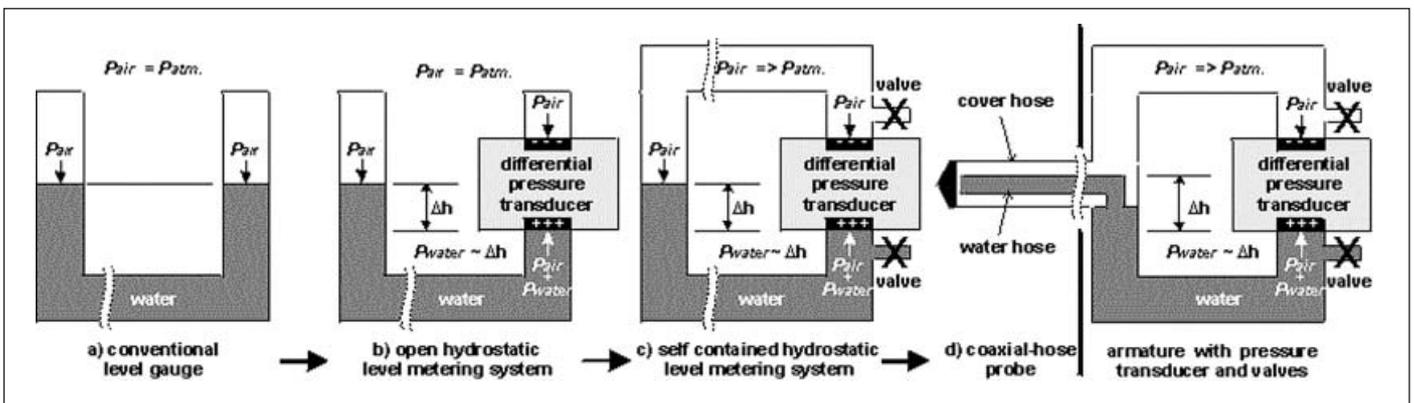


Bild 1: Von der Schlauchwaage zum hydrostatischen Setzungs-Messsystem

Fig. 1: Development steps of the hydrostatic level metering system

Ergebnisse eines Feldversuches

Das folgende Beispiel stammt aus einem Versuch, in dessen Rahmen der Einfluss des Reifeninnendrucks auf die Druckfortpflanzung im Boden sowie die damit einhergehende Setzung in den entsprechenden Mess-tiefen untersucht wurde.

Die Versuchsfläche, ein konservierend bearbeiteter, abgesetzter Boden, wurde mit der Hinterachse eines ballastierten Traktors mehrfach überrollt. Die Radlast betrug 4,1 Tonnen. Der Bodendruck wurde mit Schlauchsonden (nach Bolling) gemessen, die zusammen mit den Setzungssonden in 40 cm Tiefe unter der Mitte der Fahrspur eingebaut wurden. Bild 2a und 2b zeigen Mess-ergebnisse für die beiden Reifeninnendrucke

0,8 bar und 2,1 bar. Trotz der vergleichsweise großen Änderung des Reifeninnendrucks sind die in 40 cm Tiefe gemessenen Werte für den Bodendruck nahezu gleich bei ~0,4 bar. Bei den Setzungen ist jedoch ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Varianten zu erkennen. Während im Falle von 0,8 bar Reifeninnendruck lediglich eine elastische Verformung im Moment der Überrollung stattfand, blieb bei hohem Reifeninnendruck ein plastischer Anteil zurück, der sich nach vier Überrollungen zu einer Gesamtsetzung von ~ 2 mm aufsummierte.

Bemerkenswert ist, dass in beiden Varianten der elastische Anteil der Setzung mit jeweils ~ 3,5 mm etwa gleich ist.

Fazit und Ausblick

Gerade bei systematischen Feldversuchen zum Problem Bodenverdichtung offenbart das Messsystem seine Vorzüge: es erlaubt die Ermittlung von Setzungsdaten im Bodenprofil mit nur ganz geringer Gefügestörung und ohne Bodenprobenahme in einem Umfang, der bisher aufgrund des hohen Aufwandes bei der Einrichtung von Messstellen nicht möglich war.

Im Hinblick auf das Projektziel – Entwicklung eines Befahrbarkeitssensors – kann das beschriebene Messverfahren einen wichtigen Beitrag leisten: die Setzung an der Bodenoberfläche (Spurtiefe durch das Befahren) mit der Bodensetzung (Bodenverformung) bis in den Unterboden zu verknüpfen.

Für den Bodenschutz im Sinne der Vermeidung von Schädigungen natürlicher Bodenfunktionen auch im Unterboden zeichnet sich der Weg zu einem alternativen Ansatz für die Entwicklung eines Befahrbarkeitssensors ab: „Bewegt sich was?“ – bis in welcher Bodentiefe also ‚darf‘ sich beim Befahren des Ackerbodens ‚etwas bewegen‘?

Die Umsetzung der Ergebnisse für ein Online-Messsystem und eine noch bessere Handhabung sind zukünftige Ziele.

Literatur

- [1] Wiermann, C., D. Werner, R. Horn, J. Rostek and B. Werner: Stress/strain processes in a unsaturated silty loam Luvisol under different tillage treatments in Germany. *Soil & Tillage Research* 53 (2000), no. 2, pp.117-128
- [2] Arvidsson, J., A. Trautner, J.J.H. van den Akker and P. Schjoening: Subsoil compaction caused by heavy sugar beet harvestors in southern Sweden. *Soil & Tillage Research* 60 (2001), no. 1-2, pp. 79-89
- [3] Danfors, B.: Compaction of the subsoil. Report S 24, Swedish Inst. Agric. Eng., Uppsala, 1974, 91 pp.
- [4] Okhitin, A.A., A.V. Sudakov, J. Lipiec and S. Tarkiewicz: Deformation of silty loam soil under tractor tyre. *Soil & Tillage Research*, 19 (1991), no. 2-3, pp. 187-195
- [5] Wlodek, S.: Depth indicators method for determination of bulk density dynamics. *Soil & Tillage Research*, 19 (1991), no. 2-3, pp. 197-201
- [6] Collins, H.-J.: Verformungsmessungen in Deponien. Mitt. des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig, 1992, H. 37, S. 149-172
- [7] Buschhüter, K.: Linienhafte Verformungsmessungen bei Deponieabdichtungen. Bericht XXIII der Gesellschaft für Baumesstechnik, 1997, S. 3-11

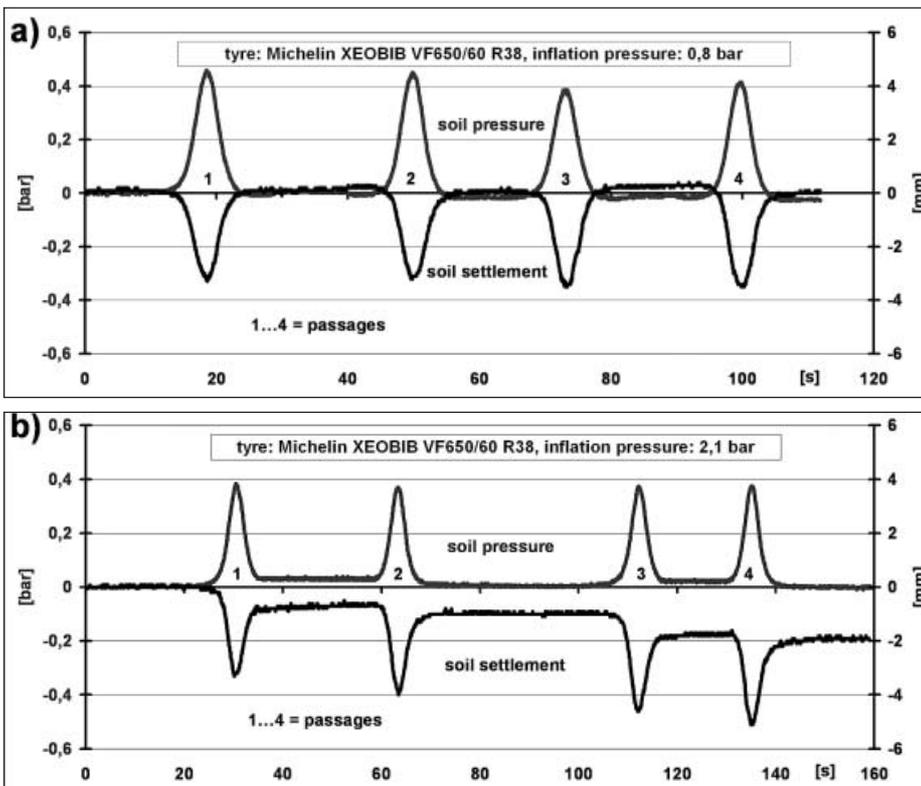


Bild 2: Bodendruck und Setzung bei mehrfacher Überrollung mit 4,1 t Radlast und a) 0,8 und b) 2,1 bar Reifeninnendruck

Fig. 2: Soil pressure and settlement with 4.1 t wheel load and a) 0.8 and b) 2.1 bar tire inflation pressure