

Horst Domsch, Potsdam-Bornim

# Durchdringungswiderstand und Trockenrohdichte

## Vergleich dieser Meßgrößen bei Messungen entlang von Trassen

**Praxis und Wissenschaft sind seit langem bemüht, den notwendigen Aufwand für die Bodenbearbeitung anhand von Richtwerten für den Gefügestand abzuleiten. Diesem Vorhaben stehen die Schwierigkeiten einer Bestimmung des Gefügestandes auf einer Ackerfläche entgegen.**

Die Kennzeichnung des Gefügestandes erfolgt durch unterschiedliche Meßgrößen, von denen die Bodendichte bevorzugt genutzt wird. In mehreren Ländern wurden Optimalbereiche oder Grenzbereiche der Bodendichte für verschiedene Böden und Kulturen abgeleitet [1]. Die Anwendung dieser Erkenntnisse in den Betrieben wird erschwert, da die Gefügeheterogenität auf den Äckern groß ist und es bisher keine effektiven Meßverfahren zur Dichtebestimmung gibt.

Wegen seiner leichteren Bestimmbarkeit hat sich der Durchdringungswiderstand in vielen Fachbereichen zur Kennzeichnung des Bodengefüges bewährt.

Allgemein geht man davon aus, daß der Durchdringungswiderstand proportional der Bodendichte ist, aber zusätzlich von der Bodenart und dem Wassergehalt abhängt. Wird ein zulässiger Bereich der Bodenfeuchtigkeit bei Messungen des Durchdringungswiderstandes vorgegeben (Frühjahrsfeuchte, Feldkapazität, unter 200 mbar Tension), müßte für jede Bodenart eine direkte Beziehung zwischen der Bodendichte und dem Durchdringungswiderstand existieren. Diese Hypothese sollte unter Feldbedingungen überprüft werden.

### Versuchsdurchführung

Die Messungen erfolgten auf einer durch die Eiszeit geprägten, talsandbestimmten Fläche im Raum Potsdam. Der Boden ist schwach schluffiger Sand (Su2) und weist einen Feinsandanteil von etwa 50 % auf. Während der Messungen des Durch-

dringungswiderstandes veränderte sich die Wassertension im Bereich zwischen 100 und 150 mbar.

Für den unmittelbaren Vergleich beider Meßgrößen wurden die Messungen entlang von Trassen senkrecht zur Hauptbearbeitungsrichtung durchgeführt. Diese Meßstellenanordnung bietet die Möglichkeit, den Vergleich mit Methoden der Spektralanalyse zu führen.

Untersucht wurden zwei Trassen von jeweils 80 m Länge. Eine Trasse (Trasse 5) durchschneidet einen Flächenbereich, der in üblicher Weise bewirtschaftet wird. Die zweite Trasse (Trasse 6) verläuft senkrecht zu angelegten Fahrspuren, die mit unterschiedlicher Belastung in einem regelmäßigen Abstand von 3,2 m angelegt worden waren. Die Trasse 6 ist somit durch eine sehr kleinräumige hohe Gefügeheterogenität gekennzeichnet. Ausgewertet wurden die Messungen für den Tiefenbereich von 40 cm, den Bereich der höchsten Verdichtungen.

Zur Bestimmung der Bodendichte diente eine radiometrische Bodensonde, die in den 60er Jahren in Potsdam-Bornim entwickelt wurde. Eine Dichtebestimmung mit Hilfe von Stechzylindern schied wegen der großen Meßtiefe aus.

Für die Erfassung des Durchdringungswiderstandes wurde ein Penetrometer genutzt, dessen Kraftsensor unmittelbar hinter der 1 cm<sup>2</sup> großen Kegelspitze angeordnet war.

Um die hohen Durchdringungswiderstände des feinsandigen Bodens über-

winden zu können und ein ermüdungsarmes Arbeiten zu gewährleisten, wurde die Sonde mit einem hydraulisch betriebenen Meßgeräterahmen mit gleichmäßiger Geschwindigkeit in den Boden gedrückt.

Der Meßpunktabstand sollte gewährleisten, daß Fahrspuren mit Sicherheit erfaßt werden. Für das Penetrometer wurde der Abstand deshalb auf 15 cm festgelegt. Der geringste Abstand für die Dichtesonde ergab sich aus deren Konstruktion mit 32,5 cm.

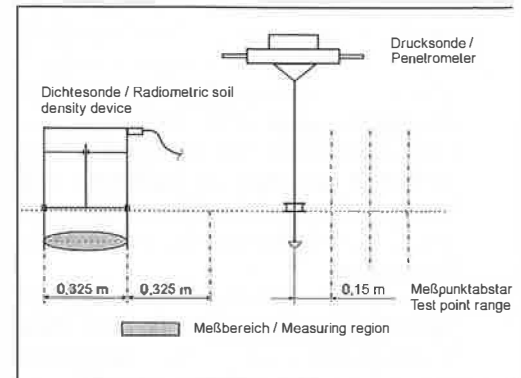


Bild 1: Bodenbereiche der beiden Meßgeräte, die im jeweiligen Meßwert abgebildet werden

Fig. 1: Soil sections of measuring instruments, which are reflected in the respective measuring value

Beide Meßgeräte unterscheiden sich nicht nur bezüglich der zu bestimmenden Meßgröße, sondern auch in bezug auf den Bodenbereich, der mit einem Meßwert abgebildet wird (Bild 1). Einer fast punktförmigen Messung durch das Penetrometer steht die Abbildung eines ellipsoidförmigen Bodenbereiches durch die Dichtesonde gegenüber.

Während für die Bodendichte geschlossene Meßwertreihen für die folgenden Auswertungen ermittelt werden konnten, weisen die Werte des Durchdringungswiderstandes vermehrt Fehlstellen auf. Sie sind durch Steine oder hohe Verdichtungen verursacht, die zu einem Abbruch der Messungen wegen überschrittenem Meßbereich der Sonde

Bild 2: Meßwertverlauf des Durchdringungswiderstandes (DW) und der Trockenrohdichte (TRD); (Heimfeld Ackerfläche, Trasse 5, 40 cm Tiefe, 1997). Eingezeichnete Kurven des gleitenden Mittelwertes beziehen sich auf etwa 1 m Meßstrecke.

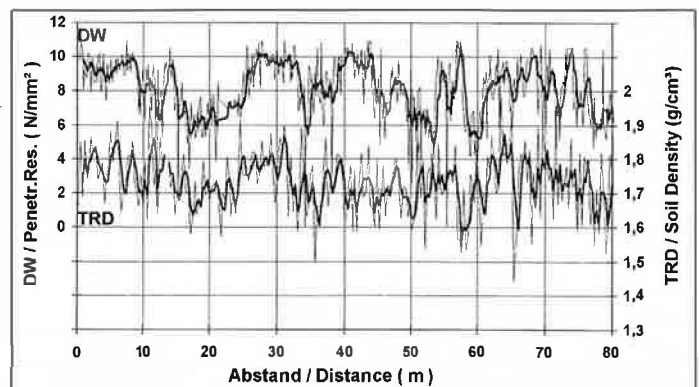


Fig. 2: Course of measuring value of penetration resistance (DW) and dry crude density (TRD); (Heimfeld farm land, marked-out route 5, 40 cm depth, 1997). Marked curves of sliding average refer to about 1 m measuring distance.

Dr.-Ing. Horst Domsch ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Technik in der Pflanzenproduktion“ am Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zaske).  
Referierter Beitrag der Landtechnik

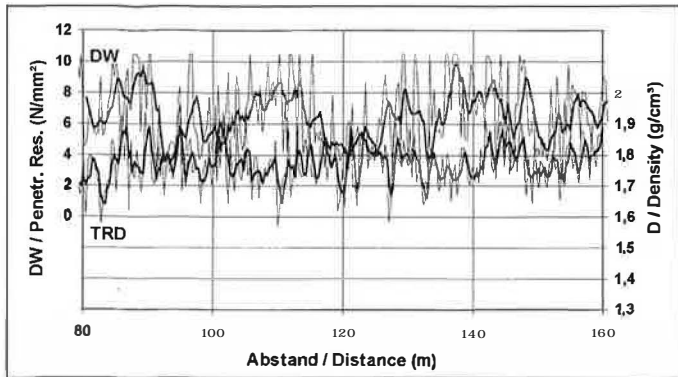


Bild 3: Meßwertverlauf des Durchdringungswiderstandes (DW) und der Trockenrohddichte (TRD); (Heimfeld Versuchsfläche, Trasse 5, 40 cm Tiefe, 1997). Eingezeichnete Kurven des gleitenden Mittelwertes beziehen sich auf etwa 1 m Meßstrecke.

Fig. 3: Course of measuring value of penetration resistance (DW) and dry crude density (TRD); (heimfeld experimental plot, marked-out route 5, 40 cm depth, 1997). Marked curves of sliding average refer to about 1 m measuring distance

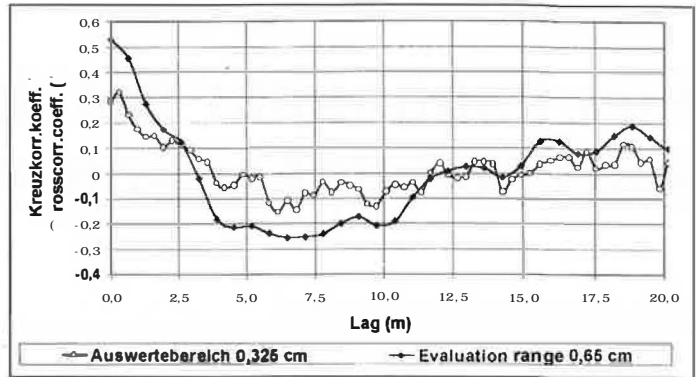


Bild 4: Kreuzkorrelation zwischen den Werten des Durchdringungswiderstandes und der Trockenrohddichte (Heimfeld Ackerfläche, Trasse 5, 40 cm Tiefe, 1997)

Fig. 4: Cross correlation between values of penetration resistance and dry crude density; (Heimfeld farm land, marked-out route 5, 40 cm depth, 1997)

führten. Da der Steinanteil auf der Fläche insgesamt niedrig war, wurden alle Fehlwerte in der Reihe als Verdichtungen interpretiert und durch den maximalen Meßwert des Gerätes ersetzt.

## Ergebnisse

### Meßwertverlauf

Beide Meßgrößen weisen selbst zwischen benachbarten Meßstellen große Differenzen auf (Bild 2 und Bild 3). Am Beispiel der Kurven des gleitenden Mittelwertes über einen Bereich von etwa einem Meter erkennt man zusätzlich deutlich ausgeprägte Fluktuationen des Meßsignals. Der Meßwertverlauf verdeutlicht die Schwierigkeit, aus einigen zufällig auf der Fläche durchgeführten Messungen einen repräsentativen Mittelwert angeben zu wollen.

Eine Kurvenähnlichkeit der zwei Meßgrößen ist im Bereich der Trasse 5 auf der unbehandelten Ackerfläche vorhanden, die im Bereich der Trasse 6 mit den Fahrspuren nicht mehr zu erkennen ist.

### Autokorrelation

Durch die Berechnung der Autokorrelationsfunktion kann der Abstand bestimmt werden, innerhalb dessen die Meßwerte noch miteinander korreliert sind. Als Grenzwert der gegenseitigen Abhängigkeit wird der Wert  $1/e$  gleich 0,37 genannt [2]. Der zugehörige Abstand entspricht dem optimalen Meßpunktabstand.

Die Abhängigkeit der Werte des Durchdringungswiderstandes reicht auf der Trasse 5 bis zu einem Abstand zwischen 0,75 und 0,90 m und auf der Trasse 6 bis zu einem Abstand zwischen 0,15 und 0,30 m. Für die Dichtemessung mit der Dichtesonde ist bereits der gewählte Meßpunktabstand zu groß. Die Korrelationskoeffizienten sind kleiner als 0,2 auf beiden Trassen.

### Spektrale Leistungsdichte

Jeder reale Meßwertverlauf kann als Summenkurve harmonischer Schwingungen dargestellt werden. Im Ergebnis einer Spektralanalyse, im sogenannten Periodogramm (Varianz als Funktion der Wellenlänge), werden die Wellenlängen der entscheidenden harmonischen Schwingungen als Peaks dargestellt [3].

Für die Trasse 5 zeigen beide Meßgrößen übereinstimmend entscheidende Wellenlängen bei 2,5 sowie 2,7 m und bei 19 sowie 20 m. Die kleinere könnte auf eine häufig verwendete Gerätebreite, die größere auf die jährlich sich verschiebenden 18 m – Regelspuren hinweisen.

Auf der Trasse 6 ist als dominante Wellenlänge der Abstand zwischen den Fahrspuren zu erwarten. Sie ist deutlich ausgeprägt im Periodogramm des Durchdringungswiderstandes mit dem Wert 3,2 m sowie dem etwa doppelt so großen Wert von 6,25 m. Das Periodogramm der Dichte zeigt andere Wellenlängen an, unter anderem den Wert 2,54 m, der auch auf der unbeeinflussten Ackerfläche (Trasse 5) bestimmt wurde. Der größere abgebildete Bodenbereich ist zu groß, um die durch die Fahrspuren erzeugten Gefügeänderungen wiederzugeben.

### Kreuzkorrelation

Über die Kreuzkorrelation kann geprüft werden, wie sich der Korrelationskoeffizient der beiden Meßreihen verändert, wenn diese gegeneinander verschoben werden. Vor der Berechnung wurden die Werte des Durchdringungswiderstandes durch Zusammenfassung an den Meßpunktabstand der Dichtesonde von 32,5 cm angepaßt.

Für die Trasse 5 ergibt sich der größte Korrelationskoeffizient von 0,32 bei einer Verschiebung beider Meßreihen um einen Meßpunktabstand. Der Korrelations-

koeffizient erhöht sich auf 0,52, wenn vor der Berechnung aus jeweils zwei benachbarten Meßwerten ein Mittelwert gebildet wird oder ein Auswertebereich von 0,65 m unterstellt wird.

Auf der Trasse 6 ist kein Zusammenhang zwischen beiden Meßgrößen nachweisbar ( $k=-0,07$ ).

### Schlußfolgerungen

Unter Feldbedingungen ist der Zusammenhang zwischen den beiden das Bodengefüge kennzeichnenden Meßgrößen Trockenrohddichte und Durchdringungswiderstand geringer, als aus dem theoretischen Zusammenhang zu erwarten wäre. Es zeigt sich, daß der Zusammenhang zwischen den beiden Größen desto enger wird, je gleichmäßiger die Bodenbedingungen sind. Die Ursache für einen schwachen Zusammenhang ergibt sich folglich vorrangig aus einer großen Heterogenität des Bodengefüges. Durch sie wirken sich die Unterschiede in den abgebildeten Bodenbereichen beider Meßgeräte besonders massiv aus. Im Untersuchungsergebnis überschneiden sich die Unterschiede in der Darstellung von Bodengefügeänderungen durch die beiden Meßgrößen und diejenigen, die sich aus den gewählten Meßgeräten ergeben.

**Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 98215 erhältlich.**

## Schlüsselwörter

Bodengefüge, Dichtebestimmung, Meßverfahren

## Keywords

Soil structure, determining density, measuring methods