

Feldpenetrometer zum Nachweis von Schadverdichtungen in der Krumbasis

Dr. sc. agr. J. Lehfeldt/Dr. agr. B. Böttcher, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR

Problemstellung

Bewirtschaftungsbedingte Schäden der Bodenstruktur können in beachtlichem Ausmaß die Effektivität der Pflanzenproduktion mindern. Ursachen der Struktursschäden sind vor allem die Druckbelastungen des Bodens durch den Einsatz von Maschinen und Geräten mit hohem Auflagedruck und hohen Achslasten sowie das häufige Befahren der Ackerflächen im feuchtebedingt verdichtungsempfindlichen Zustand. Die so entstehenden Bodenverdichtungen reichen bis in Tiefen von ≥ 50 cm. Durch die sich in der Krumbasis akkumulierenden Verdichtungen tritt eine Hemmung der Transport- und Speichervorgänge und der Durchwurzelbarkeit des Bodens ein, so daß aufgrund der reduzierten Ausschöpfungsmöglichkeit der Bodenwasser- und Nährstoffpotentiale Ertragsausfälle von 10 bis 20%, in extremen Fällen bis zu 40%, auftreten können. Für den mechanischen Aufbruch von Verdichtungsschichten im Krumbasisbereich sind in den letzten Jahren verschiedene Geräte und Verfahren entwickelt worden, deren Anwendung allerdings beträchtliche zusätzliche Aufwendungen erfordert. Deshalb sind nur solche Ackerflächen zu lockern, auf denen Schadverdichtungen in der Krumbasis eindeutig nachgewiesen sind und eine Durchführung der Lockerungsmaßnahme ökonomisch gerechtfertigt ist.

Zur Realisierung dieser Forderungen müssen geeignete Feldmeßgeräte zur Bestimmung des Verdichtungsgrades der Krumbasis vorhanden sein. Das gemeinsam vom Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg und dem Zentrum zur Anwendung der Mikroelektronik Neuenhagen (Produzent) entwickelte Penetrometer mit mikroelektronischer Meßwerterfassung und -verarbeitung bietet gute Voraussetzungen dazu.

Grundlagen

Für die Strukturbeurteilung eines Bodens sind verschiedene Parameter, wie z. B. die Trockenrohichte, die gesättigte Wasserleitfähigkeit und die pneumatische Leitfähigkeit, verwendbar. Ihre Ermittlung in verschiedenen Tiefenstufen ist mit Aufgrabungen verbunden und erfordert darüber hinaus meist die Entnahme von Stechzylinderproben und die Parameterbestimmung in speziellen Laboratorien.

Einen hohen Aussagewert zur Charakterisierung des Verdichtungs Zustands eines Bodens hat auch der Parameter Durchdringungswiderstand. Er läßt sich relativ einfach bestimmen, indem eine kegelförmige Metallspitze gleichmäßig in den Boden gedrückt und tiefenabhängig der Widerstand gemessen wird, den der Boden dem Durchdringungskörper entgegensetzt.

Der Durchdringungswiderstand eines Bodens wird durch dessen Trockenrohichte,

seinen Feuchtigkeitsgehalt, die Korngrößenzusammensetzung und den Strukturzustand beeinflußt, der wiederum stark vom Gehalt an organischer Substanz abhängt. Da nicht alle Einflußgrößen bestimmt werden können und der Grad der Auswirkungen dieser Faktoren auf die Höhe des Meßwerts substratspezifisch differenziert ist, muß die Ermittlung reproduzierbarer und vor allem für die Ausgrenzung schadverdichteter Areale interpretierbarer Meßwerte an bestimmte Voraussetzungen gebunden werden. So kann davon ausgegangen werden, daß die Korngrößenzusammensetzung des Bodens aus der Schlagkarte 1 bekannt und zumindest auf den Moränenstandorten der Einfluß des Bodenverbands relativ gering ist. Große Auswirkungen auf den Durchdringungswiderstand hat in allen Böden deren Wassergehalt. Die Ermittlung der zum Zeitpunkt der Messung vorliegenden Bodenfeuchtigkeit kann deshalb nur vernachlässigt werden, wenn alle Messungen unter gleichen Feuchtigkeitsbedingungen erfolgen und die Feuchtigkeitsverteilung im Boden zumindest im Bereich der Krumbasis und darunter annähernd gleichmäßig ist. Das ist auf den Moränenstandorten mit Böden der Körnungsarten Sand bis sandiger Lehm zum Zeitpunkt der Frühjahrfeuchte (Feldkapazität 80 bis 100%) weitgehend gewährleistet.

Auf bindigen Böden erfolgt die Durchfeuchtung bzw. Abtrocknung ungleichmäßig, so daß auf diesen Böden die Meßwerte des Durchdringungswiderstands ohne Kenntnis der tiefenbezogenen Feuchtigkeitsverteilung nicht mit ausreichender Sicherheit zur Ausgrenzung von Schadverdichtungen verwendet werden können. Erschwerend für die Interpretation der Meßwerte des Durchdringungswiderstands wirkt sich auf diesen Böden weiterhin deren thixotropes Verhalten aus. Dies kann in Bereichen höherer Boden-

feuchtigkeit (Feldkapazität $> 80\%$) dazu führen, daß der Boden die Kegelspitze beim Eindringen umfließt, so daß auch am Sondenschaft Reibungskräfte auftreten, die zu einer völligen Verfälschung des Meßwerts führen.

Unter Berücksichtigung vorstehender Restriktionen hat sich der Durchdringungswiderstand vor allem auf mischkörnigen Sand bis sandigen Lehmböden als Parameter erwiesen, der Gefügeschäden des Unterbodens hinreichend genau charakterisiert und mit relativ geringem Zeit- und Kapazitätsaufwand gemessen werden kann. Diese Böden nehmen rd. 50% der Ackerfläche der DDR ein und neigen am stärksten zu Schadverdichtungen.

Aufbau und Arbeitsweise

Das Bodenpenetrometer (Bild 1) besteht aus folgenden drei Funktionseinheiten:

- Kegel mit einem Öffnungswinkel von 30° und einem Durchmesser an der Basis von 11,3 mm (≈ 100 mm² Grundfläche), der über den Sondenschaft (Länge 60 cm, Durchmesser 9 mm) mit einem Kraftaufnehmer (Kraftmeßdose, Dehnmeßstreifen) verbunden ist, der die Kraft zum Eintreiben des Kegels in den Boden in elektrische Impulse umsetzt. Da die Größe des Meßwerts der Spitzenquerschnittsfläche an der Kegelspitze direkt proportional ist, muß die Sondenspitze ausgewechselt werden, sobald sich durch Abrieb der Kegeldurchmesser um 0,2 mm verringert hat.
- Vorrichtung zur magnetfeldinduzierten Digitalisierung und Tiefenzuordnung des Meßwerts für den Durchdringungswiderstand (Bild 1, linker Stab). Durch Anordnung von Permanentmagneten im Abstand von 2 cm auf der sich in Abhängigkeit von der Eindringtiefe des Kegels verschiebenden Leiste am Penetrometer wird

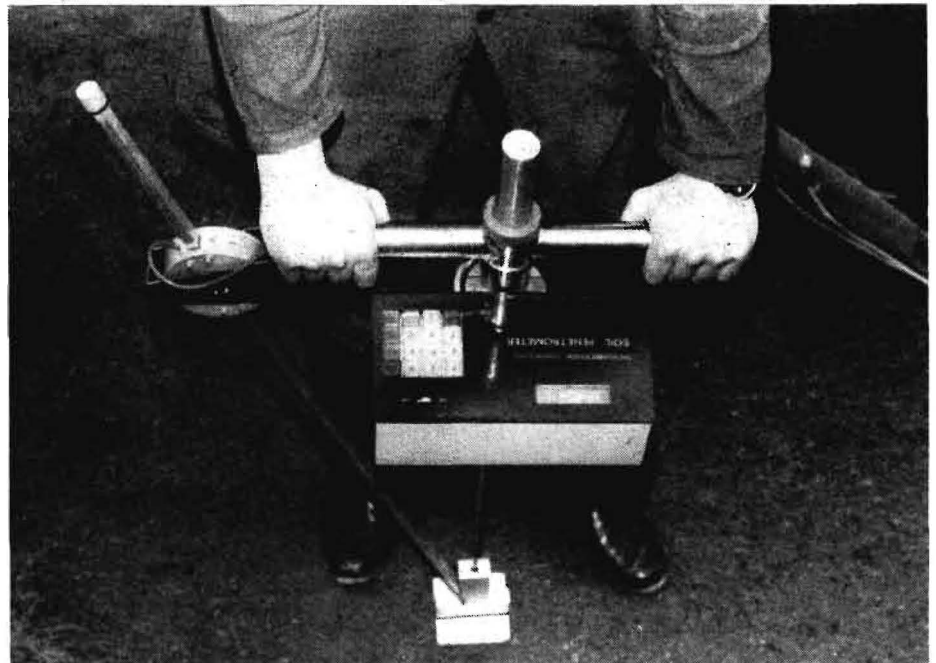


Bild 1. Penetrometer mit mikroelektronischer Meßwerterfassung und -verarbeitung

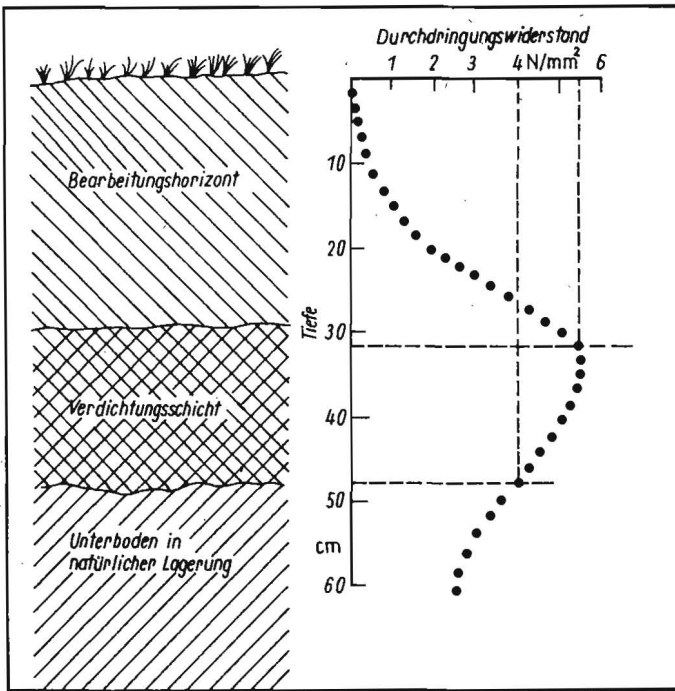
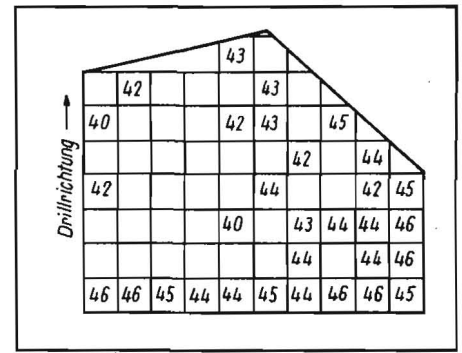


Bild 3
Flächenhafte Verteilung und Tiefenlage von Schadverdichtungen in der Krumenbasis eines Schlages (NStE D 3a) im VEG(P) Heinersdorf, Bezirk Frankfurt (Oder); Zahlenwert gibt die maximale Tiefenlage der Verdichtungen in cm an; an Meßstellen ohne nachgewiesene Verdichtungen wird kein Wert eingetragen



Tafel 1. Bodensubstrat- und streuungsmaßabhängige Grenzwerte des Durchdringungswiderstands in N/mm²

halbes Konfidenzintervall	Bodenart des Unterbodens ¹⁾		
	S	IS	sL
0,3	4,3	3,7	3,2
0,4...0,7	4,5	4,0	3,6
0,8	4,8	4,4	4,1

1) Tiefe 30 bis 50 cm
S Sand, IS lehmiger Sand, sL sandiger Lehm

Bild 2
Digitalisierte Mittelwertkurve des gemessenen Durchdringungswiderstands

die primär kontinuierliche Messung des Durchdringungswiderstands tiefenstufenabhängig digitalisiert (Bild 2).

– Meßwertspeicherung und -verarbeitung, Display und Tastatur.

Zur Durchführung der Messung wird das Penetrometer über beide Handgriffe (Bild 1) gleichmäßig belastet, so daß der Kegel langsam senkrecht in den Boden eindringt. Das stoßartige Eindringen der Sonde führt zu Meßfehlern.

Nach Erreichen der vorgesehenen Meßtiefe von maximal 60 cm werden durch Betätigen einer Taste am Handgriff (vergleichbar mit der ENTER-Taste am Computer) die tiefenbezogenen Wertepaare dem Speicher zugeführt. Unterbleibt der Tastendruck, z. B. weil aufgrund des Aufpralls der Sondenspitze auf einen Stein der Penetrometereinstich ungenügend bleiben soll, werden die Meßwerte vor dem nächsten Einstich eliminiert.

Für die Kennzeichnung des Verdichtungsstands der Krumenbasis an einer Meßstelle ist ein einzelner Einstich der Sonde nicht ausreichend repräsentativ. An jedem Meßplatz mit einem Durchmesser von rd. 2 m sind deshalb gleichmäßig verteilt 10 bis 15 Einzelmessungen vorzunehmen (die Anzahl der Wiederholungen ist vor Beginn der Messungen frei wählbar). Nach dem letzten gültigen Einstich erscheinen auf dem Display automatisch die Tiefenstufe der stärksten mittleren Verdichtung, der Mittelwert des maximalen Durchdringungswiderstands und das dazugehörige halbe Konfidenzintervall. Eine Anzeige aller Mittelwerte je Tiefenstufe mit halbem Konfidenzintervall ist durch Anwahl über die Tastatur möglich. Insgesamt können die Meßwerte von 14 Meßplätzen gespeichert werden.

Die Interpretation der Meßergebnisse erfolgt im Dialogsystem durch Vergleich der Mittelwertkurve je Meßplatz mit dem einzugebenden Grenzwert des Durchdringungswiderstands, der je nach Bodenart und halbem Konfidenzintervall der Meßwerte nach Tafel 1 auszuwählen ist. Nach Eingabe des Grenzwerts erscheint auf dem Display die

untere Tiefenstufe, in der der eingegebene Grenzwert wieder unterschritten wird. Dieser Wert ist identisch mit der erforderlichen Lockerungstiefe bei der Durchführung von Krumenbasisbearbeitungsmaßnahmen.

Durch die Einbeziehung der statistischen Maßzahl halbes Konfidenzintervall bei der Vorgabe des Grenzwerts für den Durchdringungswiderstand wird berücksichtigt, daß verdichtete Schichten in der Krumenbasis häufig nicht als großräumig homogene, sondern als heterogene, in der Hauptbearbeitungsrichtung des Schlages gestreckte Körper vorliegen. Nachgewiesen werden konnte, daß bei engräumigem Wechsel von verdichteten und weniger oder nicht verdichteten Zonen die Pflanzenwurzeln Gelegenheit haben, nur geringfügig gehindert zwischen den starken Verdichtungen in die Tiefe zu wachsen. Bei gleichem maximalen Durchdringungswiderstand ist also ein nachgewiesenes Verdichtungsmuster mit geringer Heterogenität, d. h. mit kleinem Konfidenzintervall, als kritischer für die Durchwurzelbarkeit einzuschätzen als eine Verdichtung mit großem Konfidenzintervall und damit kleinflächigem Wechsel von verdichteten und unverdichteten Zonen.

Ausgrenzung schadverdichteter Ackerflächen

Zur Ermittlung der zu lockernden Flächenanteile eines Schlages sind zur Reduzierung des Aufwands zunächst alle nicht lockerungsfähigen Schlagteile (hoher Haftsteinbesatz, große Hangneigung, Versorgungsleitungen, standortbedingte Staunässe) auszugrenzen. Auf der verbleibenden Fläche erfolgt das Sondieren in zwei Arbeitsschritten. Eine grobe Einschätzung des Verdichtungsstands ist meist bereits durch Sondierungen in einem sehr weiten Raster (Abstand zwischen zwei Meßplätzen 250 bis 300 m) bzw. entlang der Schlagdiagonalen möglich. Werden auf der Mehrzahl der Meßplätze starke Verdichtungen festgestellt, ist der gesamte Schlag als lockerungsbedürftig einzuschätzen. Sind dagegen auf mehreren Meßplätzen

auch nicht schadverdichtete Areale diagnostiziert worden, wird der exakte Flächenachweis in einem zweiten Schritt ermittelt, indem in den Bereichen des Übergangs von schadverdichteten zu nicht schadverdichteten Arealen in einem engeren Raster (vorzugsweise 100 m × 100 m) sondiert wird.

Für die in Bild 3 als Beispiel dargestellte Verteilung von Schadverdichtungen auf einem Schlag sind bei der Planung der Krumenbasisbearbeitung nur die rechte Seite und die Vorgewende des Schlages zu berücksichtigen. Eine weitere Flächenunterteilung (z. B. am linken Schlagrand) ist technologisch nicht effektiv.

Nach den gegenwärtig vorliegenden Kalkulationen kann davon ausgegangen werden, daß durch eine exakte Ermittlung des Strukturzustands und eine hinreichend genaue Ausgrenzung tatsächlich lockerungsbedürftiger Areale der Aufwand für die geplante Krumenbasisbearbeitung bis zu 20% reduziert werden kann.

Zusammenfassung

Auf mischkörnigen Sand- bis sandigen Lehmböden ist der Durchdringungswiderstand ein Parameter, mit dem der Verdichtungsstand der Krumenbasis zur Einschätzung der Lockerungsbedürftigkeit einer Ackerfläche mit ausreichender Genauigkeit charakterisiert werden kann. Mit Hilfe des Feldpenetrometers mit mikroelektronischer Meßwertverarbeitung und -verarbeitung kann dieser Parameter nicht nur mit geringem Zeit- und Kapazitätsaufwand gemessen werden, sondern es besteht auch die Möglichkeit, bereits auf dem Feld eine rechnergestützte Interpretation der Meßergebnisse vorzunehmen. Durch Vorgabe von Grenzwerten werden im Dialogsystem meßplatzbezogene Lockerungsbedürftigkeit und die erforderliche Lockerungstiefe angegeben. Der Einsatz des Penetrometers verringert die Gefahr von Fehlentscheidungen bei der Planung und Durchführung von Krumenbasisbearbeitungsmaßnahmen.