

Die Entwicklung einiger Methoden zur Ermittlung der Bodenstruktur

Von Dipl.-Landw. R. TEIPEL, Jena

DK 631.43

P. Lorenz [18] begann in Heft 4 dieser Zeitschrift eine Einführung in die Bodentypenlehre. Der geschulte Bodenkundler, Landwirt oder Techniker vermag allein durch die genaue Betrachtung eines aufgetragenen Bodenprofils wertvolle Hinweise auf Entstehung und Zustandsstufe des Bodens zu gewinnen und kann daraus auf dessen geschichtliche Entwicklung, Ertragsfähigkeit und auf notwendige Bearbeitungs- und Pflegemaßnahmen schließen. Schwieriger wird es allerdings, wenn die teils vorübergehenden, teils bleibenden Veränderungen erfaßt werden sollen, die ein Boden im Laufe einer oder mehrerer Wachstumszeiten erleidet.

Zweifellos ist der Ertrag letztlich maßgebend für die Beurteilung aller praktischen Maßnahmen. Die gewonnenen Erkenntnisse können allerdings erst für die nächste Wachstumsperiode ausgewertet werden. Es hat daher nicht an Bestrebungen gefehlt, schon vor Beginn der Bestellung die für einen bestimmten Boden nötigen Düngermengen, Bearbeitungsmaßnahmen und Sorten der anzubauenden Kulturpflanzen zu ermitteln. Am besten und wohl auch in der einfachsten, elegantesten Weise scheint bisher die Anweilermethode nach Arland [2] diese weitgespannten Forderungen zu erfüllen. Sie kann u. a. auch zur Beurteilung strukturbeeinflussender Maßnahmen herangezogen werden. – Schnellmethoden zur Feststellung der Düngerbedürfnis-

möglichst zahlenmäßige Angaben über die gewünschte Struktur benötigt. – In den folgenden Ausführungen soll versucht werden, eine kritische Wertung einiger Untersuchungsmethoden am natürlich gelagerten Boden zu geben. – Als für die Praxis gut geeignet erscheint zweifellos die

Görbingsche Spatendiagnose

Zu ihrer Ausführung werden lediglich ein Planspaten und eine mehrzinkige Kratze benötigt [9]. Das Blatt des Planspatens soll aus etwa 4 mm dickem Stahlblech hergestellt werden, 300 mm lang, vorn 190 mm, hinten 180 mm breit, an der Vorderkante und an den Seiten bis zur Hälfte gut angeschärft sein. Auf der Rückseite wird das Blatt durch eine Rippe verstärkt. Ein guter Eschenstiel wird mit durchgehenden Schrauben und Muttern am Blatt befestigt; gut bewährt hat sich auch ein über die Laschen geschobenes Stück Stahlrohr (Bild 1), da die Kräfte, die beim Herumdrücken des Spatens auftreten, recht erheblich sind.

Für feuchten, lockeren Boden genügt schon ein gewöhnlicher Spaten; ist der Boden aber fest und trocken, so muß der Planspaten verwendet und durch seitliche Pendelbewegungen in den Boden getrieben werden. Ein gewölbtes Blatt würde hierbei die natürliche Lagerung zerstören. Beim Herausdrücken muß man den etwa 12 bis 15 cm dicken Erdziegel mit der Hand am unteren Ende und an der Vorderseite abstützen. Der Erdziegel wird mit der Kratze abgetastet und zerlegt und dabei Krümelung, Wurzelentwicklung, Farbabstufungen, Tiefenlage des Saatkorns, Lage und Verteilung organischer und mineralischer Düngerreste beobachtet. Ebenso wertvoll ist ein Abtasten der Profilwand mit der Kratze oder am besten mit deren angespitztem Griffende. Damit lassen sich Zonen verschiedener Struktur abgrenzen. Das ist besonders dann wichtig, wenn die verdichteten Schichten bis unter 30 cm reichen. Da der Görbing-Spaten nur 30 cm lang ist, müßte eine Treppe in der Profilgrube angelegt werden, um die Schichten unterhalb 30 cm ebenfalls (mit dem Spaten) zu erfassen. Das ist recht umständlich und läßt sich mit der Kratze einfacher durchführen. Die genaue Festlegung der unteren Grenze verdichteter Schichten ist für den richtigen Einsatz der Lockerungsgeräte, die eine verdichtete Schicht stets unterfassen sollen, sehr wichtig. – Aus der Art der Krümelung ergibt sich die Gliederung des Profils in strukturell verschiedene Schichten.

Sekera unterscheidet vier Arten der Struktur bzw. daraus folgend in Verbindung mit der Durchwurzelung drei Verdichtungsgrade:

- V_0 = gare Krümelnschicht
- V_1 = Verdichtung 1. Grades mit bröckeligem Bruch, befriedigend durchwurzelt, kann unbedenklich gewendet werden
- V_2 = Verdichtung 2. Grades mit scharfkantigem Bruch, stets schwach durchwurzelt, Wurzeln folgen den Bruchflächen und älteren Wurzel- und Wurmkanälen
- V_3 = Verdichtung 3. Grades, Schichten brechen plattig wie Schiefer oder Glimmer und stellen dem Wurzelwachstum die größten Hindernisse in den Weg.

Noch weiter geht der Versuch einer Gliederung nur nach der Struktur mit bildlicher Darstellung der einzelnen Glieder, der in Völknerode ausgearbeitet wurde und in Bild 2 wiedergegeben ist.

Als Beispiel ist in Bild 3 der Befund eines Profils aufgezeichnet. Links stehen die Zahlen in Zentimeter für die Grenzen der verschiedenen Schichten, rechts besondere Angaben. – In dem dargestellten Profil sind die obersten 2 cm des Bodens verkrustet, dann folgen 10 cm gut krümelnde Pflugfurche; von 12 bis 25 cm erstreckt sich eine starke, schiefrig brechende Verdichtung (V_3 , IVa), anschließend folgen 5 cm schollig brechenden Bodens mit 6 bis 8 cm großen Schollen, bei 30 bis 40 cm

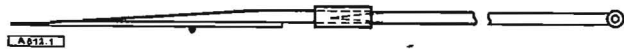













Bild 1. Görbing-Spaten von der Seite gesehen

tigkeit des Bodens, für die nur geringe Bodenmengen benötigt werden, wie z. B. die Aspergillummethode nach Niklas [31] und die Laktatmethode nach Egré-Riehm [31] erlauben zusammen mit Strukturuntersuchungen eine Beobachtung des Bodens während der ganzen Wachstumszeit und können ebenfalls noch zu Ratschlägen für laufende Maßnahmen herangezogen werden. – Im allgemeinen werden jedoch die Bodenproben für die Untersuchungen auf Düngerbedürftigkeit nach der Ernte entnommen. Die Ergebnisse können also erst für die nächste Bestellung ausgewertet werden.

Grundsätzlich anders ist es bei physikalischen Bodenuntersuchungen am gewachsenen Boden. Sie sollen vor der Bearbeitung und Bestellung ausgeführt werden, um z. B. Verdichtungen, Wasserhaltefähigkeit, Wasserdurchlässigkeit, Stauhorizonte usw. festzustellen und Bearbeitungs-, Pflege- und Meliorationsmaßnahmen darauf abzustimmen. Physikalische Bodenuntersuchungen geben aber auch dem Landtechniker Auskunft über die Wirkung seiner Bearbeitungs- und Pflegegeräte, wie Tiefgang, Wendung, Krümelung usw., über die Wirkung verschiedener Arbeitsgeschwindigkeiten und Gerätekopplungen, über den Bodendruck der Geräte und Zugmaschinen usw. Die sich aus diesen vor und während der Bestellung durchgeführten Untersuchungen ergebenden Maßnahmen wirken sich noch in der folgenden Wachstumsperiode aus. Zweckmäßig werden die Anfangsuntersuchungen durch laufend in bestimmten Abständen während der ganzen Wachstumszeit durchgeführte physikalische und evtl. auch chemische Bodenuntersuchungen ergänzt, um die Fernwirkung bestimmter Bearbeitungs- und Düngungsmaßnahmen bei der Bestellung sowie die Wirkung der laufenden Pflege- und Düngungsmaßnahmen zu überwachen. Zusammen mit der Beurteilung des Pflanzenbestandes läßt sich dann schon während des Wachstums ein Urteil über die Wirkung der bisher ergriffenen Maßnahmen der Bestellung, Düngung und Pflege fällen. Leider werden physikalische Untersuchungen am gewachsenen Boden weder in der Praxis noch in den Untersuchungsanstalten im nötigen Umfang durchgeführt. Der Praktiker spricht von „gartenmäßigem Saatbett“ oder vom „lockeren Kopf und festen Fuß“, und solche Begriffe genügen ihm, nicht aber dem Techniker, der exakte,

Strukturstufe	Beschreibung	nach Sekera
 I _a	Vollkommene Krümelung (biologisch lebendige Schicht)	
 I _b	Teilkrümelung (einschl. %Angabe der Arten und Einmischungen)	K(IV ₆)
 I _c	Mechanisch locker (Bearbeitung, Frostgare)	
 II _a	(Verdichtet erscheinende Lagerung) Bei Druck noch krümelnd	V ₁
 II _b	Bei Druck teils krümelnd, teils bröckelnd	
 III _a	(Geschlossen erscheinende Lagerung. Bei Druck nur bröckelnd) Schollig (Größe der Schollen in cm angeben)	V ₂
 III _b	1. kantig-muschelig 2. scharfkantig Geschlossene Schicht (noch schwach gegliedert)	
 IV _a	Feinschiefrig	V ₃
 IV _b	Tafelig	
 IV _c	Durch Schlag mit Rückseite Kompakt d. Kralle: 1. zertrümmerbar 2. nicht mehr zertrümmerbar	
 U	Ungestörter Untergrund	U

ABIZ 2

Bild 2. Gliederung der Bodenstruktur

liegt eine geschlossene Schicht mit muscheligen Bruch, die ab 40 cm in den ungestörten Untergrund (eckig-prismatisch krümelnd) übergeht. – Ohne Zweifel erzieht diese weitere Aufgliederung zur genauen Beobachtung der Struktur, nur wird kaum eine so genaue Abgrenzung der einzelnen Strukturen immer praktisch möglich sein. – Am deutlichsten erkennt man die verschiedenen Strukturformen beim vorsichtigen Zerbrechen des Erdziegels mit der Hand. Zieht man ihn langsam mit beiden Händen in der Längsrichtung (Bild 4) auseinander, so reißt der Boden meist sehr deutlich an den Grenzschichten strukturell verschiedener Schichten auseinander.

Oft breiten sich die Wurzeln flächenhaft auf diesen Grenzschichten aus. Die schiefrig-plattige Struktur starker Verdichtungen wird durch dieses Auseinanderziehen in der Längsrichtung sehr deutlich sichtbar. Schwieriger wird es, wenn der Boden stärker ausgetrocknet ist und dann in dichter, kompakter Struktur vorliegt. In solchen Fällen hilft die Abwurfprobe nach Görbing. Der ausgestochene Erdziegel wird aus etwa 1 m Höhe auf den Boden geworfen und dann die Menge der dabei entstehenden Krümelgröße beurteilt (Bild 5).

Bild 5 zeigt eine solche Abwurfprobe aus einem durch Beregnung oberflächlich zusammengeschlagenen Weißkohlfeld bei Dorndorf. Deutlich sind die großen ungarischen Schollen sichtbar. Es würde sich also hier nach Bild 2 um eine Verdichtung

ABIZ 3

Bild 3. Bodenprofil

V₃, IV_c handeln. – In ähnlicher Weise läßt sich auch trockener, fester, kompakter Boden durch die Aufbruchprobe nach Görbing beurteilen. Der Spaten wird in den Boden eingestochen und herumgedrückt. Aus der Breite des Aufbruchs und der Größe und Form der dabei auftretenden Bodenschollen lassen sich ebenfalls Rückschlüsse auf die Struktur des Bodens ziehen. Häufig erkennt man bei diesen Untersuchungen deutlich die Bearbeitungstiefen der vergangenen Jahre. Man findet ungar, verschmierte Schollen im Profil, die auf eine – oft mehrere Jahre zurückliegende – Bearbeitung in zu nassem Zustand oder die Verwendung ungeeigneter Bearbeitungsgeräte hindeuten.

Wird die Spatendiagnose während der Wachstumszeit ausgeführt, so ergeben sich aus ihr zusammen mit der Beurteilung der Wurzelentwicklung und des oberirdischen Erscheinungs-

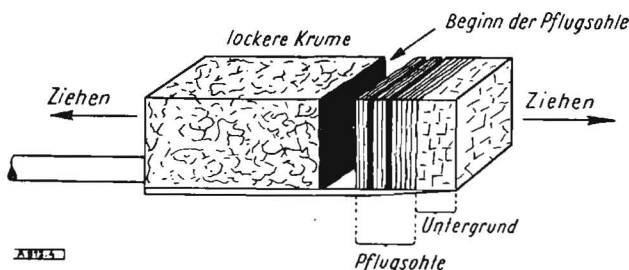


Bild 4. Görbing'sche Spatenprobe

bildes der Pflanzen zweifellos sehr wertvolle, sofort auswertbare und jedem Praktiker einleuchtende Schlußfolgerungen. Sie sind aber doch stets subjektiv bedingt, und Görbing selbst weist in seinem Buch ([9], S. 10) auf die notwendigen Ergänzungen der Spaten- durch Stechzylinderuntersuchungen hin. Die Spatendiagnose allein reicht nicht aus zur Erklärung aller Erscheinungen im Profil, da das Wurzelwachstum z. B. auch vom p_H-Wert, vom Kalk- und Nährstoffgehalt der verschiedenen Schichten abhängig ist. Aus diesem Grunde schließt Görbing auch eine weitere Probenahme für p_H und Nährstoffuntersuchungen in



Bild 5. Abwurfprobe nach Görbing

seine Diagnose mit ein. – Die Spatendiagnose ist zwar einfach, verursacht aber doch einen gewissen „Flurschaden“ und ist bei trockenem Boden mit erheblichem Kraftaufwand verbunden. Diese Nachteile will D. Albrecht [1] mit seinem

Strukturbohrer

vermeiden. Damit soll eine Erdsäule in ungestörter Lagerung bis 1 m Tiefe entnommen werden können. Er besteht aus zwei Hälften, die durch einen Schneidering zusammengehalten werden. Der ausgestochene Erdzylinder wird in Papphüllen transportiert. Da er dann in einem Spülzylinder ausgewaschen wird, um das Wurzelbild freizulegen, ist es ratsam, möglichst eine ganze Pflanze samt Wurzeln mit auszustecken. – Der Erdzylinder kann auch in 5 cm dicke Scheiben zerschnitten werden, aus denen nach Aufschlammung die Wurzeln abgesiebt werden, um das Faserwurzelgeflecht der einzelnen Bodenschichten zu er-

fassen. – Bedenklich erscheint das Abdrehen der Probe, um sie vom Untergrund zu lösen und herauszunehmen. Dabei wird zweifellos die Struktur in den unteren Schichten durch Verdrehung verändert. Auch bei dieser Methode müßte eine chemische Untersuchung der verschiedenen Schichten zur besseren Beurteilung der Wurzelentwicklung mit herangezogen werden. Die Methode liefert wohl nur zur Zeit des Wurzelwachstums objektive Ergebnisse, ohne Wurzeln bleibt die Beurteilung der Struktur subjektiv. – Auch Mitscherlich [22], S.7 und Janert [15] entwickelten Bohrer zur Entnahme volumetrischer Bodenproben, ebenso Hey [14], dessen Gerät aus einer an langem Stiel sitzenden Eintreibhülse besteht, in der der Stechzylinder festgehalten wird. Auch bei dem Gerät von Hey wird die Probe durch Abdrehen aus dem Boden genommen. Grosse [10] verglich die Geräte von Mitscherlich, Janert und Hey mit Stechzylindern. Dabei stellte sich heraus, daß die Stechzylinder die genauesten Ergebnisse liefern, die Proben der verschiedenen Bohrergeräte jedoch je nach Lockerheit und Bodenart erhebliche Schwankungen aufweisen. Es sei daher im folgenden näher auf die

Stechzylindermethode

eingegangen. – Wenn bei den oben beschriebenen Bohrergeräten einmal durch drehende Bewegung von Bohrrohren, durch das Herauswinden mit Bohrstangen oder durch das Abdrehen der Erdsäulen vom Untergrund erhebliche Strukturänderungen hervorgerufen werden, zum anderen ungenaue Begrenzungen der entnommenen Erdzylinder deren nachträgliche Ausmessung erforderlich machen, so wird mit Stechzylindern ein genau bekanntes Volumen an natürlich gelagertem Boden entnommen, das durch Innendurchmesser und Länge der Stahlzylinder gegeben ist. Als *Arbeitsvorschrift für kultur- und bautechnische Zwecke* wurde die DIN-Vornorm 4021 „Grundsätze für die Entnahme von Bodenproben mittels Stahlzylindern und Zelluloidverschleißkapseln“ herausgegeben. – Durchmesser und Länge der Stechzylinder richten sich nach dem vorhandenen Material, jedoch ist anzustreben, daß der Durchmesser etwa gleich der Länge ist. Zu große Länge verursacht zu starke Reibung an den Zylinderinnenwänden, während ein zu großer Durchmesser die Fehlerquellen infolge Vergrößerung der beiderseitigen Schnittflächen vermehrt. *Konische Stechzylinder*, die sich vom angeschärften Ende aberweitern, weisen zwar eine verminderte Reibung auf, können aber für Durchlässigkeits- und Wasserkapazitätsprüfungen nicht verwendet werden [8]. Die *zweckmäßigste Stechzylindergröße* wurde von verschiedenen Autoren geprüft. Mathy [19] fand beim Vergleich von 100-, 500- und 1000-cm³-Zylindern im Untergrund gleiche Schwankungen. Eigene Versuche zum Vergleich von 100-, 250- und 500 cm³-Stechzylindern ergaben keine Vorteile für eine bestimmte Größe (s. Tafel 1).

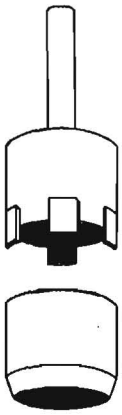


Bild 6. Aufsatz zum Eintreiben von Stechzylindern

gleicher Struktur genau abgrenzen und dann die Zylinder horizontal so eintreiben kann, daß sie nicht auf strukturell andere Schichten übergreifen. Letzteres ist bei den Bohrmethode kaum zu vermeiden. – Auf Grund der erwähnten Versuche kann man für Vergleichsuntersuchungen innerhalb desselben Profils, wie sie zur Feststellung verdichteter Schichten (Pflugsohle, Oberflächen- und Allgemeinverdichtungen) notwendig sind, sowie auf lange nicht bearbeitetem Land 100-cm³-Zylinder verwenden, während zur Beurteilung der Wirkung von Bearbeitungsmaßnahmen und zur Beobachtung der Strukturschwankungen eines Bodens, z. B. während einer Wachstumszeit, bei denen es auf die genaue Erfassung kleiner Unterschiede ankommt, den 500-cm³-Zylindern der Vorzug zu geben ist (Blohm [4, 5]). Im allgemeinen genügen drei Wiederholungen. – Von großer Bedeutung für die Entnahme ungestörter Proben ist das *Eintreiben der Stechzylinder*. – Zu diesem Zwecke müssen die Zylinder *senkrecht* eingedrückt (Hensel [13]) oder eingeschlagen werden. Das senkrechte Eindringen von Hand ist nur in die lockere Krume möglich, völlig unmöglich aber schon in die Pflugsohle. Hier muß der Stechzylinder mit möglichst *wenigen kräftigen Schlägen* so eingetrieben werden, daß die Oberfläche im Zylinder nicht einsinkt (Stoklasa und Doerfl [30]). Bei meinen Arbeiten hat sich der in Bild 6 gezeigte Aufsatz sehr gut bewährt. Er besteht aus einem Rohr von gleichem Innen- und Außendurchmesser, wie bei den Stechzylindern, und wird mit vier aufgeschweißten Laschen auf dem Zylinder gehalten. Der ausgestochene Erdzylinder läuft noch ein Stück ohne Pressung im Aufsatz weiter. Das erleichtert das genaue Abschneiden der Proben. – Die Stechzylinder werden mit Deckeln verschlossen und möglichst erschütterungsfrei zur weiteren Untersuchung ins Laboratorium gebracht. Über die dort erfolgende Bestimmung des Substanz- und Porenvolumens usw. wurde vom Verfasser in dieser Zeitschrift bereits berichtet [32]. Ergänzend dazu sei auf eine Dissertation von R. Loebell [17] hingewiesen, der ein neues, vom Außenluftdruck unabhängiges Luftpiknometrier entwickelte.

Der *Wassergehalt* wird durch Trocknen bei 105 bis 110° C, noch besser bei niedrigeren Temperaturen im Vakuumschrank ermittelt. Wurden die Proben im Luftpiknometrier gemessen, so läßt sich der Wassergehalt bei bekanntem spezifischem Gewicht nach der von v. Nitzsch angegebenen Formel $y = (v \cdot s - g) \frac{1}{s-1}$ berechnen.

Dabei bedeuten: y = Wassergehalt
 v = Volumen des feuchten Bodens
 g = Gewicht des feuchten Bodens
 s = spezifisches Gewicht.

Beispiel: Die feuchte 100-cm³-Probe wiegt 152 g und ergibt im Luftpiknometrier ein Volumen von 69,5 cm³, das spezifische Gewicht sei 2,67, dann ist der Wassergehalt

$$y = (69,5 \cdot 2,67 - 152) \frac{1}{2,67-1} = 20,1 \text{ g.}$$

Der Luftgehalt der Probe ergibt sich aus $100 - 69,5 = 30,5$ Vol.-%, das Porenvolumen ist dann

$$30,5 + 20,1 = 50,6 \text{ \%}$$

Von großem Interesse ist die Ermittlung der *Wasserkapazität* oder *Wasserhaltefähigkeit* des Bodens in natürlicher Lagerung. Hier sei auf die ausführliche Behandlung dieses Themas durch Zunker im Handbuch der Bodenlehre verwiesen [35].

v. Nitzsch [26] bezeichnet als Wasserhaltefähigkeit die Wassermenge in Vol.-%, die in einer 10 cm hohen Säule natürlich gelagerten Bodens nach vollständiger Durchtränkung festgehalten wird. Sie steigt mit zunehmender Lockerung, um von einem bestimmten Porenvolumen an, das bei lehmigem Sand bei 40% und bei tonigem Lehmboden bei 56% liegen soll, wieder abzufallen. Daraus erhellt die Notwendigkeit der *unterschiedlichen Behandlung verschiedener Böden im Hinblick auf den Wasserhaushalt*. Bayer [3] verweist auf die Bedeutung der Struktur der *Bodenoberfläche*, die entscheidend für die Wasseraufnahme und -durchlässigkeit des ganzen Profils ist. Das Eindringen des Regens ist in den ersten zwanzig Minuten weiterhin abhängig vom augenblicklichen Wassergehalt, besonders der Bodenoberfläche. – Zahlreich sind die Methoden zur Unterscheidung und Abgrenzung kapillarer und nichtkapillarer Poren; ebensowenig

Tafel 1. Löß unter Winterweizen

Tiefe	Inhalt der Stechzylinder	Porenvolumen %	± m
1 bis 11	500	49,5	0,65
1 bis 8	250	51,0	0,32
1 bis 6	100	52,9	0,65
8 bis 18	500	43,7	0,75
8 bis 15	250	41,8	0,35
8 bis 13	100	41,8	1,45
Auelehm unter Wiese			
5 bis 15	500	54,1	0,35
5 bis 12	250	54,0	1,1
5 bis 10	100	53,4	0,24
18 bis 28	500	48,1	1,0
18 bis 25	250	45,9	1,1
18 bis 23	100	49,0	0,5

Dabei ist zu beachten, daß mit verschiedener Stechzylinderlänge auch Bodenschichten verschiedener Struktur erfaßt werden, d. h. also Grenzschichten überschritten werden und damit die Werte verschiedener Zylindergrößen häufig nicht vergleichbar sind. Es ist ein weiterer Vorteil der Stechzylindermethode, daß man beim Ausheben der Entnahmegrube die Schichten

besteht eine Übereinkunft über die Ermittlung der Wasserkapazität an Proben aus natürlich gelagertem Boden. Teils werden die Zylinder vollständig oder nur mit ihrem unteren Ende ins Wasser gestellt (*Burger* [6], *Müllerlein* [23], *Blohm* [5]), teils geschieht die Absättigung durch eine vorgeschaltete Sandschicht hindurch (*Schoel* [29]). Noch mehr den natürlichen Gegebenheiten entspricht eine Absättigung vor der Entnahme auf dem Felde oder eine Entnahme nach stärkeren Regenfällen (*Mitscherlich* [22]).

Ich stellte in Anlehnung an *Burger* [6] und *Müllerlein* [23] die Zylinderproben auf feinmaschigen Drahtnetzen vierundzwanzig Stunden lang unter Wasser und dann zwei Stunden lang zum Abtropfen auf und erhielt damit bei größeren Untersuchungsreihen brauchbare Ergebnisse, die gut zu den übrigen Ermittlungen (Substanzvolumen, mechanische Zusammensetzung, Kalkgehalt usw.) in Beziehung gebracht werden konnten. Überquellender Boden wurde nicht abgeschnitten, dadurch ergaben sich mitunter negative Luftkapazitäten, d. h. die Proben nahmen mehr Wasser auf, als ihrem Porenvolumen nach möglich war. – Zum Schluß sei noch auf die Schnellmethode v. *Nitzsch* [26] hingewiesen, mit der sowohl Substanzvolumen als auch der Wassergehalt mit einer für Massenuntersuchungen ausreichenden Genauigkeit bestimmt werden können. Die 100-cm³-Proben werden zerkleinert, in 100 bis 150 cm³ Brennspiritus zerteilt und quantitativ in Meßröhren gefüllt. An der Mensur wird das Substanzvolumen abgelesen und mittels Thermoalkoholometer die Alkoholkonzentration, d. h. die Verdünnung des Brennspiritus durch das Wasser der Probe und damit letztlich deren Wassergehalt bestimmt. – Die nie ganz zu vermeidende Stauchung und Erschütterung bei der Probenahme mit Stechzylindern wurde von *Trnka* [33] kritisiert und soll durch seine

Erdschollenmethode

vermieden werden. Hierbei wird das Volumen kleiner Erdschollen, die getrocknet und mit Paraffin überzogen werden, bestimmt. Dazu können wohl nur kleine Mengen von Böden in Krümelstruktur, nicht aber lose schüttende Sandböden verwendet werden. *Russel* [28] beschreibt ein Verfahren, bei dem eine Grube ausgehoben und mit schwerem Motorenöl gefüllt wird. Das Gewicht der ausgehobenen getrockneten Erde wird durch das Volumen des verbrauchten Öls geteilt und ergibt das Volumengewicht.

Eine unmittelbare Betrachtung der größeren Bodenhohlräume ist an

Bodenschnitten

möglich. Die Hohlräume werden mit gefärbten Substanzen gefüllt, die später fest werden. An einem herausgeschnittenen Stück können an geglätteten Schichten die Poren beobachtet werden. Noch besser ist das an

Dünnschliffen

möglich. Die ausgeschnittene Bodenplatte wird auf eine Glasscheibe gekittet, ganz dünn geschliffen und mit durchscheinendem Licht unter dem Mikroskop betrachtet. Dabei können die Porendurchmesser ausgemessen und die Poren auf quer durch die Probe laufenden Linien ausgezählt werden. Durch Wiederholungen erhält man ein statistisches Material der Porengrößen. – Für eine unmittelbare Betrachtung und auch Konservierung der Krümelung des Bodens eignet sich die

Lackfilmmethode

Eine senkrechte Profilwand wird mit einem durchsichtigen Lack (mit Azeton verdünnter Zaponlack, Sprimoloid-Geiseltalack), der nach dem Festwerden noch eine gewisse Biegsamkeit aufweisen muß, mehrmals besprüht. Nach dem Festwerden löst man den Lackfilm mit dem darin eingebetteten Boden ab und gewinnt damit ein getreues Abbild der Krümelung, Schichtung, Farbe, Hohlräume, Einschlüsse usw. des betreffenden Bodens.

Zahlenmäßige Unterlagen für die Beurteilung der Krümelstruktur sucht man durch die verschiedenen

Trocken- und Naßsiebverfahren

zu erhalten. *Puchner* [27] zerlegt mit seiner *Schollenanalyse* den Boden in Krümel (unter 20 mm), Brocken (20 bis 40 mm) und Klumpen (größer als 40 mm). Die *Wasserbeständigkeit* der Krümel wird durch Naßsieben ermittelt, das auf *Tjulín* zurückgeht. *Tjulín* [22] tauchte drei ineinandergestellte Siebe mit 1, 0,5 und 0,25 mm Lochdurchmesser dreißigmal unter Wasser und wog die Siebrückstände. Die später zu ermittelnden Primärteilchen werden dann davon abgezogen. *Russel* [28] bewegt 50 g naturfeuchten, gewachsenen Boden auf einem Satz von sechs Rundsieben mit den Bohrungen 5, 2, 1, 0,5, 0,25 und 0,10 mm unter Wasser dreißig Minuten lang dreißigmal je Minute auf und ab. *L. Meyer* trennt und sortiert die wasserbeständigen Krümel in fließendem Wasser, während *Sehera* die Schollen beregnet und dabei die nicht wasserbeständigen Bodenteile abschlämmt.

Zum Schluß soll aber noch einiges zur Entwicklung der

Bodensonden

gesagt werden. Seit über 50 Jahren wird nunmehr immer wieder versucht, durch Eindringen oder Einschlagen von Spitzen, Stäben, Spaten usw. Hinweise auf die Struktur des Bodens zu erhalten. Die erste Bodensonde wurde 1902 von *van Scherneck* konstruiert. *Zander* [34] und *Mitscherlich* [22] entwickelten einen Spaten, der mit Fallgewichten in den Boden getrieben wurde. In neuester Zeit verwendete *Burggasser* [7] wieder eine Schlagsonde. Im Prinzip werden Gewicht, Fallhöhe, Zahl der Schläge und Eintreibtiefe zueinander in Beziehung gesetzt. Die erste selbstregistrierende Bodensonde entwickelte *v. Meyenburg* [21]. Sie bestand aus zwei teleskopartig ineinanderschiebbaren Gehäuseöhrchen mit zwei seitlichen Handgriffen und einer Registriertrommel, in der gleichzeitig die Druckfeder gelagert war. Für verschiedene Meßbereiche waren verschiedene Spitzenquerschnitte und Federn vorgesehen. Die Einstechtiefe betrug 40 cm. Im Prinzip wird – auch bei den später entwickelten Sonden – die Bewegung des Einstechens in eine Drehbewegung der Registriertrommel umgewandelt, während der Einstechwiderstand senkrecht durch eine Feder aufgenommen wird. Die Tiefe wird also auf der Waagrechten, der Druck auf der Senkrechten aufgezeichnet. *Mangelsdorf* [20] und *v. Nitzsch* [24] führten Messungen mit der *v. Meyenburgschen* Sonde durch. *Hénin* [12] entwickelte eine Sonde, bei der der Sondenstab mittels Kurbel über Schneckentrieb, Zahnrad und Zahnstange bewegt wird. Eine ähnliche Sonde baute *Janert* [16]. Der 1 m lange Sondenstab soll zwischen zwei gespannten, ineinander verzahnten Ketten reibungslos geführt werden.

Ich benutzte bei meinen Strukturermittlungen in Thüringen eine von der ehemaligen ZfL entwickelte registrierende Sonde (Bild 7). Man ging bei ihrer Entwicklung davon aus, daß nur sehr dünne Stäbe oder Nadeln von wenigen Millimetern Durchmesser geeignet seien, den Einstechwiderstand richtig anzugeben, da stärkere Spitzen beim Eindringen selbst Bodenverdichtungen bewirken. Um Durchknickungen einer solchen dünnen Meßnadel zu verhindern, wird sie in einem Führungsrohr von 1 m Länge untergebracht. Nur ein kleines Stück (etwa 7 mm) ihrer Spitze ist sichtbar. Die seitliche Reibungskraft wird von dem Führungsrohr aufgenommen und durch zwei gegenüberliegende Drallflächen zu seiner Drehung ausgenutzt. Gleichzeitig damit wird die mit dem Führungsrohr verbundene Registriertrommel gedreht.

Ich führte 1951 bei 36 Profilen auf den verschiedensten Böden Messungen mit diesem Gerät durch. Zu beachten ist dabei, daß sich die Handgriffe beim Einstechen nicht verdrehen, da sonst die Aufzeichnung der Tiefe nicht mehr stimmt. – Der Einstechwiderstand war hoch, meist konnte die Sonde nur mit Mühe durch zwei Mann eingestochen werden, auf trockenen, harten Böden nur bis 50 cm Tiefe. Geringer Steingehalt machte ihre Anwendung unmöglich. Nur bei etwa 50% der Messungen entsprachen die erhaltenen Diagramme den durch Spatendiagnose und Stechzylinder ermittelten Strukturverhältnissen. Das daran liegen, daß der Einstechwiderstand von zu vielen Faktoren, teils subjektiver Art, wie der Einstechgeschwindigkeit, teils solchen, die nicht sofort erfaßbar sind, wie Bodenart,

Stein- und Wassergehalt, beeinflusst wird. Der Einstechwiderstand wird nach Hénin [12] von der Einstechgeschwindigkeit unabhängig, wenn diese genügend verlangsamt wird (unter 65 cm/s.). Beim Unterbiegen des Einstechens muß die Feder in Ruhe bleiben. Geht die Spitze beim Anhalten noch ein Stück in den Boden, so war die Einstechgeschwindigkeit zu hoch. – Auch die Spitze ist von Einfluß. Eine kurze stumpfe Spitze schiebt den Boden vor sich her, dadurch erhöht sich der Widerstand mit zunehmender Tiefe. Eine lange steile Spitze bietet der Bodensubstanz – vor allem bei grobkörnig-rauhen Gemengteilen – eine zu große Reibungsfläche. Bei Spitzen mit gleichem Spitzenwinkel (etwa 53°), bei denen die Höhe gleich dem Durchmesser ist, steigt der Stechwiderstand proportional mit dem Durchmesser, so daß der Druck je cm² Grundfläche

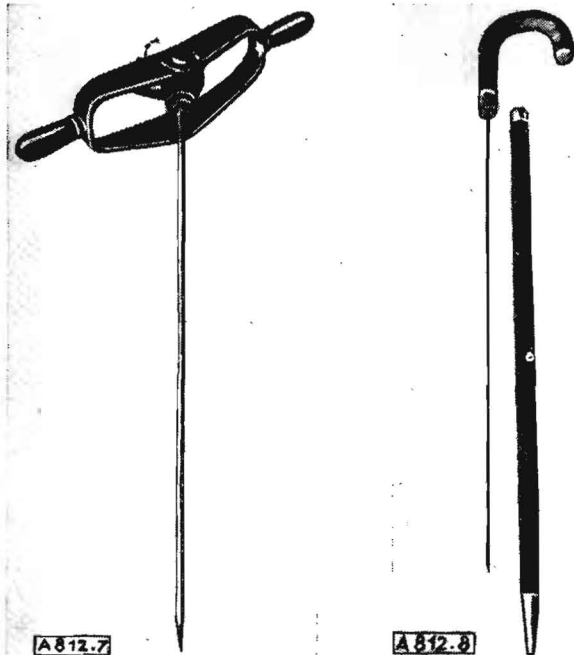


Bild 7. Registrierende Bodensonde

Bild 8. Handsonde mit Spazierstockgriff

gleichbleibt. Nach Janert [16] sollen zusammenhängende Bodenschichten, die mehr als 40 kg je cm² Durchdringungswiderstand aufweisen, nicht mehr von Pflanzenwurzeln durchwachsen werden. Sehr unterschiedlich wirkt sich der Wassergehalt bei verschiedenen Böden auf den Einstechwiderstand aus. Nach Zander [34] und Mitscherlich [22] ist der Eintreibwiderstand bei trockenem Boden hoch, fällt bis zur hygroskopischen Sättigung des Bodens auf ein Minimum, steigt wieder an, bis der Boden die Hälfte seiner Wasserkapazität aufgenommen hat, nimmt dann wieder ab, um, unter Wasser gesetzt, einen konstanten Wert zu erreichen. Bei Versuchen v. Nitzsch [24] fiel bei einem Lehm Boden der Stechwiderstand bis zu einem Wassergehalt von 20 Vol.-%, um dann wieder zuzunehmen. Nach Hénin [12] soll Lehm den größten Stechwiderstand bei einem etwas unter der Plastizitätsgrenze liegenden Feuchtigkeitsgehalt haben. Aus diesen widerspruchsvollen Angaben ist zu erkennen, daß ein absoluter Vergleich von Sondenmessungen untereinander schon infolge der Einflüsse des Wassergehaltes unmöglich ist. Heine [11] verzichtete aus diesem Grunde auf die Aufzeichnung von Diagrammen und machte den wechselnden Einstechwiderstand über ein elektrisches Feld auf einem Meßgerät sichtbar. Er geht noch einen Schritt weiter und empfiehlt für den praktischen Gebrauch eine einfache, an einem Spazierstock angebrachte Sonde mit angestecktem Meßband zur Feststellung der Tiefe. Ich ließ mir die in Bild 8 gezeigte Sonde herstellen. Ein 80 cm langer Stab aus V2A-Stahl von etwa 5 bis 6 mm Dmr, mit verstärkter Spitze ist mit seinem oberen Ende in einen Spazierstockgriff eingeschraubt. Auf dem Stab ist eine Zentimeterteilung angebracht. Die Sonde kann in den ausgebohrten Teil des

Spazierstockes eingeschraubt werden. Mit dieser einfachen Sonde lassen sich Verdichtungen im Boden durch das Gefühl der Hand schnell und sicher feststellen.

Da sich die bisher entwickelten registrierenden Sonden für praktische Massenuntersuchungen nicht durchsetzen konnten und auch mit dem zuletzt beschriebenen Gerät keine guten Erfahrungen gemacht wurden, muß eine weitere Entwicklung dieser und ähnlich gebauter Sonden abgelehnt werden. Ihre Messungen sind von vielen Faktoren, die nicht sofort exakt zu erfassen sind, abhängig. Die Geräte sind entweder zu schwer und unhandlich (mit Bodenplatte, Kurbel, Zahnstangen usw.) oder sie verlangen bei leichterer Bauart einen zu hohen Kraftaufwand beim Einstechen. Beides schließt ihre Massenanzugung aus. Aussicht auf Anwendung in der Praxis hätte – neben den einfachen Handsonden – allenfalls noch eine stabil gebaute, am Schlepper angebrachte und von ihm – etwa hydraulisch – betriebene Sonde, die dem Traktoristen am Führersitz die Tiefenlage von Verdichtungen anzeigt. Zusammen mit dem von Naethbohm in Heft 4/52 dieser Zeitschrift beschriebenen Lastenanzeiger ließe sich vom Führersitz aus die Tiefeneinstellung des Pfluges so regulieren, daß festgestellte Bodenverdichtungen sachgemäß beseitigt würden.

A 812

Literatur

- [1] Albrecht, D.: Verbesserung der Spatendiagnose. Neue Geräte und Verfahren zur schnellen und sicheren Ausführung der Gareprüfung im Sinne Görbings. Die Deutsche Landw. 2. Jg. H. 1, 1951, S. 41.
- [2] Ariand, A.: Saat- und Pflanzgutbeurteilung. Saat- und Pflegemaßnahmen im Blickfeld der Anweilmethode. Die Deutsche Landw. 1. Jg. H. 2, 1950, S. 66.
- [3] Bayer, D.: Practical values from physical analyses of soils. Soil Sci 68, 1949, S. 1.
- [4] Blohm, G.: Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Wasserführung des Bodens. Kühn-Archiv, Bd. 12, 1926, S. 324.
- [5] Blohm, G.: Der Einfluß der Bodenstruktur auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Landw. Jahrb. 1927, S. 147.
- [6] Burger, H.: Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Mitt. d. Schweiz. Centralanst. f. d. forstl. Versuchswesen. 13. Bd., 1. H. Zürich 1922.
- [7] Burgasser, E.: Die Garegroßversuche der landw.-chem. Bundesversuchsanstalt in Linz. Festschrift Linz 1949, S. 87.
- [8] Fauser, O.: Kulturtechnische Bodenverbesserungen I. Berlin 1947.
- [9] Görbing, J.: Die Grundlagen der Gare im prakt. Ackerbau. Hannover 1948, S. 10.
- [10] Grosse, B.: Vergleich der Bohrer nach Hey, Janert und Mitscherlich zur volumetrischen Entnahme von Bodenproben. Bodenkunde und Pflanzenernährung. 13. (58.) Bd. 1939, S. 326.
- [11] Heine, H.: Nochmals Bodensonde usw. Deutsche Bauerntechnik 4, H. 2, 1950 S. 6.
- [12] Hénin, S.: Quelques résultats obtenus dans l'étude des sols à l'aide de la sonde dynamométrique de Demolon-Hénin. Bodenkundl. Forsch. Bd. V, 1936/37, S. 1.
- [13] Hensel, W.: Veränderung der physikalischen Bodenverhältnisse durch Abwasserzuführung. Bodenkunde u. Pflanzenernährung. 13. Bd., H. 5/6, 1939, S. 257.
- [14] Hey, A.: Über ein Gerät zur Entnahme von strukturmäßigen Zylinderproben im Bodenprofil. Bodenkundl. Forsch. Bd. 6, 1938/39.
- [15] Janert, H.: Neue Methoden zur Bestimmung der wichtigsten physikalischen Grundkonstanten des Bodens. Landw. Jahrb., Berlin, 66, 1927, S. 425.
- [16] Janert, H.: Eine registrierende Bodensonde zur Feststellung von Bodenverdichtungen. Deutsche Bauerntechnik 3, H. 10, 1949, S. 3.
- [17] Loebell, R.: Grundlagen und Entwicklung des Luftpknometers. Diss. Bonn 1951.
- [18] Lorenz, P.: Agrartechnische bodenkundliche Betrachtungen. Deutsche Agrartechnik. 2. Jg., H. 4, 1952, S. 121.
- [19] Mathy, W.: Einfluß von Untergrundverdichtungen auf die Wasser- und Luftbewegung im Boden. Diss. Halle 1940.
- [20] Mangelsdorf, E. G.: Experimentelle Beiträge zur Bodenbearbeitung. Diss. Halle 1928.
- [21] Meyenburg, K. v.: Registrierende Druck- und Stichtfestigkeitssonde für Kulturböden und andere stechbare Körper. Intern. Mitt. f. Bodenkde., Bd. XIII. 1923, S. 201.
- [22] Mitscherlich, E. A.: Bodenkunde für Landwirte, Forstwirte und Gärtner, 5. Aufl. Halle 1949.
- [23] Mütterlein, K.: Untersuchungen über Bodenbearbeitung. Diss. Halle 1929.
- [24] Nitzsch, W. v.: Die Beziehungen zwischen Bearbeitung, Struktur und Ertrag des Ackerbodens. Berlin 1927 (Gieshof).
- [25] Nitzsch, W. v.: Über Porosität und Wasserbewegung im Boden und ihre Beziehungen zur Bodenbearbeitung. Diss. Leipzig 1933.
- [26] Nitzsch, W. v.: Bessere Bodenbearbeitung. RKT-L-Heft 70, 1936.
- [27] Puchner, H. B.: Bodenkunde für Landwirte. 2. Aufl. 1926.
- [28] Russel, M. B.: Methods of measuring soil structure and aeration. Soil Sci. 68, 1949, S. 25.
- [29] Schoel, W.: Ein Arbeitsgang zur serienmäßigen Bestimmung von Vergleichswerten physikalischer Bodeneigenschaften an in natürlicher Lagerung entnommenen Zylinderproben. Bodenkunde u. Pflanzenernährung 13. (58.) Bd., 1939, S. 305.
- [30] Stoklasa und Doerfl: Biophysikalische und biochemische Durchforschung des Bodens. Berlin 1926.
- [31] Thun-Herrmann: Die Untersuchung von Böden, Methodenbuch, Bd. I. Radebeul und Berlin 1949.
- [32] Teipel, R.: Porenvolumenmessungen mit einem neuen Luftpknometer. Deutsche Agrartechnik, 1. Jg., H. 11, 1951, S. 327.
- [33] Trnka, R.: Eine Studie über einige physikalische Eigenschaften des Bodens. Intern. Mitt. f. Bodenkde., Bd. IV, 1914, S. 363.
- [34] Zander, H.: Der Einfluß des Wassergehaltes und des Hohlraumvolumens auf die Bearbeitbarkeit des Bodens. Intern. Mitt. f. Bodenkde., Bd. X, H. 3/4, 1920, S. 89.
- [35] Zunker, F.: Das Verhalten des Bodens zum Wasser. Handbuch der Bodenlehre. 6. Bd., Berlin 1930, S. 66.