

Der Pneumatische Strukturmesser

Von Prof. Dr. H. JANERT und Dr. F. K. WITT, Greifswald

DK 631.42

In einem Aufsatz über den Rotorpflug in Heft 2/1953 der „Deutschen Agrartechnik“ [1] wurde auf Bodenuntersuchungen Bezug genommen, die mit einem neuartigen pneumatischen Strukturmesser ausgeführt worden sind. Um diese Untersuchungen besser verständlich zu machen, erscheint es angebracht, die Methodik dieser Messungen genauer zu beschreiben.

Der pneumatische Strukturmesser ist aus einem Durchlüftungsmesser entwickelt worden, der schon im Jahre 1937 von Janert [2] veröffentlicht worden ist. Dieses Gerät war lediglich dazu bestimmt, die Durchlüftbarkeit des Bodens im Gelände zu messen, und es wurde insbesondere benutzt, um den Einfluß verschiedener natürlicher und künstlicher Einwirkungen auf die Luftdurchlässigkeit des Bodens zu studieren.

Nach diesem Prinzip hat später auch der Schweizer Buess [3] gearbeitet, der das pneumatische Verfahren erstmalig für die Diagnostizierung von Bodenverdichtungen benutzte, wobei er feststellen konnte, daß sich dieses Verfahren hierzu hervorragend eignet, und der pneumatische Bodendurchlüftungsmesser ein empfindliches Instrument zum Erkennen von Bodenverdichtungen darstellt.

Diese Feststellung kennzeichnet den von Buess erzielten Fortschritt und gab uns Veranlassung, mit dem Durchlüftungsmesser erneut gründliche Untersuchungen durchzuführen, um die interessanten Resultate von Buess nachzuprüfen. Im Verlauf dieser Untersuchungen, über die Will eingehend berichtet hat [4] bestätigten sich nicht nur die von Buess mitgeteilten Untersuchungsbefunde, sondern es zeigte sich darüber hinaus, daß die Luftdurchlässigkeitswerte ganz allgemein kennzeichnend sind für den Strukturzustand der Böden, das pneumatische Untersuchungsverfahren also für Bodenstrukturmessungen benutzt werden kann. Will hat infolgedessen vorgeschlagen, den früheren Durchlüftungsmesser künftig als „Pneumatischen Strukturmesser“ zu bezeichnen und anzuwenden. Bevor wir auf Einzelheiten der Untersuchungen und deren Resultate näher eingehen, möge zunächst eine Beschreibung der Apparatur folgen.

Die Apparatur

Der frühere Durchlüftungsmesser ist unter Beibehaltung des bewährten Meßprinzips im Laufe der Jahre wesentlich verbessert worden und hat die in Bild 1 dargestellte Form erhalten. Die Apparatur besteht aus einem unten angeschärften Stechzylinder *a*, der mit einem Bügel *b* versehen ist, der zum leichteren Eintreiben des Stechzylinders in den Boden mittels Gummi- oder Holzhammers oder von Hand dient. Auf das obere konisch verjüngte Ende des Stechzylinders ist ein Gummischlauch für die Luftzuführung aufgezogen. Der Zylinder wird 2 cm tief bis zu dem Anschlagring *d* genau senkrecht in den Boden getrieben, wobei sorgfältig darauf zu achten ist, daß der Zylinder nicht verkantet oder womöglich in den Boden eingedreht wird, damit die natürliche Lagerung des Bodens möglichst wenig verändert und gestört wird. Sodann wird durch Einblasen von Luft mit dem Munde ein möglichst gleichmäßiger Luftstrom erzeugt, der den Apparat von oben nach unten durchströmt. Die Luftströmung wird an zwei Stellen gestaut, nämlich einmal durch die Blende *e* mit konstanter, genau kalibrierter Blendenöffnung und weiterhin durch den Boden, der den Stechzylinder unten mehr oder weniger abschließt, und der ebenfalls als Staublenne, jedoch mit unbekannter Blendenöffnung, anzusehen ist. Wenn der Boden sehr leicht durchlässig ist, so ist seine Stauwirkung gering, und demzufolge wird die Druckdifferenz, die sich ober- und unterhalb der Staublenne *e* einstellt, und die an dem Doppelmanometer *f* abgelesen werden kann, sehr groß. Umgekehrt staut ein undurchlässiger Boden den Luftstrom vollständig, so daß sich in dem Apparat statische Verhältnisse ausbilden, und die Drücke ober- und unterhalb der Drosselblende *e* gleichbleiben.

Zwischen diesen beiden Extremen liegen sämtliche möglichen Durchlässigkeitsgrade des Bodens, und die Abmessungen des Apparates und besonders der Staublenne sind so gewählt, daß bei der größten praktisch vorkommenden Durchlässigkeit des Bodens gerade noch ein geringer Druck unterhalb der Drosselblende abgelesen werden kann.

Um die Manometerablesungen unmittelbar für die Beurteilung des Bodens verwerten zu können, ist der Apparat geeicht worden. Dazu wurde der Zylinder, anstatt ihn in den Boden zu setzen, an seinem unteren Ende nacheinander durch Staublennen mit verschieden großen Blendenöffnungen verschlossen und für jede Bodenblende die Druckhöhe ermittelt, die sich bei Anwendung eines Normaldrucks von 160 mm Wassersäule oberhalb der Drosselblende ergab. Auf diese Weise ist die Eichskala entstanden, die an dem linken, mit dem unterhalb der Drosselblende angebrachten Druckstutzen verbundenen Manometer befestigt ist. An der Skala liest man also nicht die absoluten Druckhöhen ab, sondern die Größe der Bodenblende, die in pro mille der Bodenquerschnittsfläche angegeben ist. Die Größe der Bodenblende, die nunmehr indirekt bestimmt werden kann, entspricht dynamisch der Querschnittssumme der wirksamen Luftkanäle im Boden, die wir uns zu einem einzigen, entsprechend wirksamen Luftkanal zusammengezogen denken können.

Für die Realität der Skalenwerte ist natürlich unerläßliche Voraussetzung, daß stets mit dem gleichen Druck oberhalb der Drosselblende gearbeitet wird. Man muß also durch den Apparat so stark und so lange Luft blasen, bis die Wassersäule in dem rechten Manometer die vorgeschriebene und besonders markierte Normal-Druckhöhe erreicht hat. In diesem Augenblick werden die Anschlüsse beider Manometer durch Betätigung eines Doppelhahnes gleichzeitig gesperrt, und das Resultat kann nunmehr in Ruhe an der Skala des linken Manometers unmittelbar abgelesen werden. Bei einiger Übung kann eine einzelne, vollständige Messung in etwa 10 Sekunden erledigt werden. Sie erfordert keinerlei Materialaufwand, keine Wägungen oder Berechnungen.

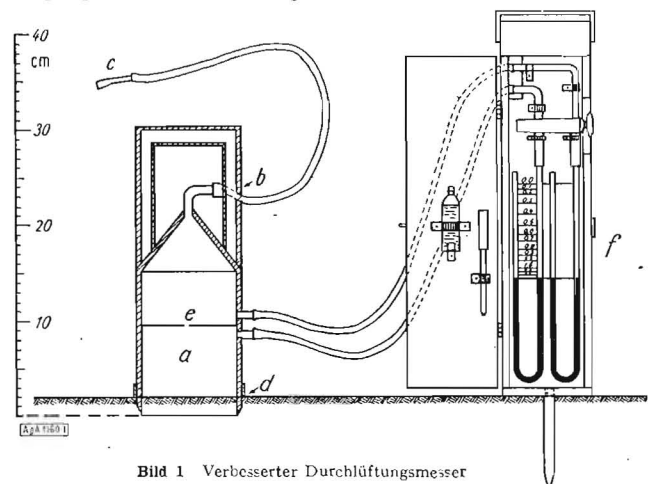


Bild 1 Verbesserter Durchlüftungsmesser
a Stechzylinder, b Bügel, c Schlauchmundstück,
d Anschlagring, e Blende, f Doppelmanometer

Die so bestimmten Querschnittssummen der wirksamen Luftkanäle stehen natürlich in engen Beziehungen zu den strukturellen Erscheinungen des Bodens, indem ein dicht gelagerter Boden bei der Untersuchung mit dem pneumatischen Strukturmesser sehr niedrige Werte liefert, während ein gut strukturierter Boden zwischen den Krümeln größere Hohlräume aufweist, die der Luftbewegung dienen können, und folglich steigt die Querschnittssumme der wirksamen Luftkanäle um so mehr, je günstiger die Struktur des Bodens ist.

Schwankungsbereich

Ein Kulturboden ist jedoch nicht allein durch eine vorteilhafte Krümelstruktur charakterisiert, sondern enthält auch zahlreiche Wurm- und Wurzelgänge, die ebenfalls die Luftdurchlässigkeit des Bodens verbessern. Natürlich sind derartige Hohlgänge nicht gleichmäßig im Boden verteilt, und es ist daher nicht verwunderlich, daß die pneumatischen Strukturmessungen in reichlich von Wurm- und Wurzelgängen durchsetzten Böden erhebliche Differenzen aufweisen. Darin liegt jedoch keineswegs ein methodischer Fehler, denn die Unterschiedlichkeit der Einzelmessungen spiegelt nur die natürlichen Verhältnisse wider, die wir nicht verwischen dürfen, sondern im Gegenteil gerade erfassen wollen. Der Schwankungsbereich der Einzelmessungen ist demnach als ein wertvolles Kennzeichen für die Beurteilung des Strukturzustandes der Böden anzusprechen, wie die in Tafel 1 zusammengestellten Messungen überzeugend beweisen.

Tafel 1

Bodenart	Feinerde in %	Mittlerer Schwankungsbereich der Strukturwerte in %
1. Sand	1,0	± 0,0
2. Sand	7,7	± 7,0
3. Sand	8,0	± 8,1
4. Lehmiger Sand	12,9	± 14,0
5. Sandiger Lehm	18,6	± 20,2
6. Sandiger Lehm	25,9	± 26,4
7. Milder Lehm	33,9	± 24,2

Allerdings können die Einzelmessungen, so wertvoll und interessant sie auch sein mögen, nur in Ausnahmefällen unmittelbar verwertet werden, während man im allgemeinen Mittelwerte verwenden muß. Um genügend sichere Mittelwerte zu erhalten, kommt man nur in Sandböden mit einigen wenigen Parallelbestimmungen aus und soll in allen lehmigen und humosen Böden regelmäßig jeweils 10 Parallelmessungen vornehmen.

Meist ist es erwünscht und notwendig, nicht nur an der Oberfläche Strukturmessungen durchzuführen, sondern diese über die ganze Krumentiefe und darüber hinaus auszudehnen, also ein ganzes „Strukturprofil“ des Bodens aufzunehmen.

Die Durchführung der Messungen

Zu diesem Zweck wird zunächst an der Oberfläche eine Reihe von Messungen durchgeführt und weitere Meßreihen in Tiefenabständen von 5 cm. Zeigt der Boden auffällige strukturmäßige Abweichungen, die man womöglich schon gefühlsmäßig erfassen kann, ist es notwendig, die Messungen in Tiefenabständen von 3 cm zu wiederholen, damit ein genügend genaues Bild der Struktur des betreffenden Bodens entsteht. Um die Messungen in den einzelnen Horizonten durchführen zu können, muß eine Grube angelegt werden. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, der Grube eine Grundfläche von 45 × 60 cm zu geben, damit die Möglichkeit besteht, etwa 12 Messungen in gleicher Tiefe durchzuführen. Dieses empfiehlt sich, weil man damit rechnen muß, daß einzelne Fehlmessungen vorkommen. Das trifft besonders für steinige Böden zu, weil sich der Stechzylinder beim Auftreffen auf einen Stein leicht verkantet und die Luft dann unmittelbar seitlich der Zylinderwandung abströmen kann. Solche Fehler erkennt man leicht, weil man meistens schon beim Einführen des Zylinders spürt, ob ein Widerstand vorhanden ist, oder der Fehler verrät sich durch einen aus dem allgemeinen Rahmen herausfallenden hohen Strukturwert. Dann muß man sich davon überzeugen, ob der Zylinder wirklich einwandfrei in den Boden eingeschlagen worden ist. Die meisten Fehler entstehen durch falsches Einschlagen oder gar Eindrehen des Zylinders, wodurch Wandströmungsfehler verursacht werden.

Beim Ausheben der zunächst nur 5 bzw. 3 cm tiefen Grube ist darauf zu achten, daß der Boden über die gewünschte Tiefe hinaus in seiner Lagerung nicht verändert wird, und daß er eine glatte Oberfläche erhält. Um diese Voraussetzungen für exakte Messungen zu schaffen, verwendet man zweckmäßig einen Spaten mit gerader Schnittkante, die geschärft sein muß. Mit einem stumpfen Spaten kann man keine Schnittwirkung erreichen, sondern schabt mit mehr oder weniger starkem

Druck über die Bodenfläche, die dadurch leicht verdichtet werden kann, was zu falschen Messungen führt.

Der Absperrhahn am oberen Manometerteil ist nach jeder Messung zu schließen. Beim Einschlagen des Zylinders in den Boden für die nachfolgende Messung entsteht nämlich ein gewisser Luftdruck im Innern des Zylinders, durch den die Flüssigkeit aus den Manometern herausgepreßt werden kann. In schweren, feuchten Böden ist außerdem zu empfehlen, sich nach Herausziehen des Zylinders und vor dem Wiedereinschlagen davon zu überzeugen, daß kein Boden im Zylinder verblieben ist.

Als wertvolle Ergänzung der Messungen sollten stets Aufzeichnungen über den Bestand, die letzte Bearbeitung, über Krümelung, Feuchtigkeitsgrad, Durchwurzelung, Tiefe der Krume, Regenwurmbesatz und Wurzelröhren gemacht werden. Durch die Beachtung aller dieser Punkte in Zusammenhang mit den Durchlüftungswerten rundet sich das Bild der Bodenstruktur sehr gut ab.

Die graphischen Auftragungen der in den verschiedenen Tiefen festgestellten Mittelwerte ergeben ein „Strukturprofil“, das in anschaulicher Weise die Bodenstruktur von der Oberfläche bis in den Untergrund wiederholt.

Theoretische Betrachtungen

Mit dem beschriebenen Untersuchungsverfahren wird nicht einfach die Luftdurchlässigkeit des Bodens gemessen, sondern es werden bestimmte Strukturwerte ermittelt. Das hat sich aus Tausenden von Messungen ergeben, die übereinstimmend gezeigt haben, daß Sandböden durch wesentlich niedrigere Werte gekennzeichnet sind als lehmige und humose Böden, obwohl allgemein bekannt ist, daß die Sandböden durchlässiger sind. Eine Erklärung dieser auffälligen Erscheinung ergibt sich daraus, daß reine Sandböden nicht fähig sind, eine beständige Struktur im eigentlichen Sinne des Wortes zu bilden. Strukturlose Sande besitzen zwar eine gute Durchlässigkeit für Wasser und Luft, wenn es sich um eine langsame Sickerbewegung handelt, wie sie unter natürlichen Verhältnissen allein auftritt. Sie stellen aber einer lebhaften Luftströmung, wie sie in dem pneumatischen Strukturmesser künstlich erzeugt wird, einen erheblichen Widerstand entgegen, weil das Hohlraumvolumen in strukturlosen Sanden sehr fein und gleichmäßig verteilt ist und größere durchgängige Hohlräume fehlen, die allein eine lebhafte Luftströmung ermöglichen könnten. Denn man darf nicht übersehen, daß der im pneumatischen Strukturmesser angewandte Luftdruck von 160 mm Wassersäule immerhin einer Windstärke entspricht, die diejenige eines Orkans noch um etwa 30 % übertrifft. In lehmigen und humosen Böden mit mehr oder weniger gut entwickelten Luftwegen liegen die Verhältnisse umgekehrt, und der pneumatisch gemessene Strukturwert wird um so höher, je günstiger sich der vorhandene Porenraum auf die aerodynamisch unwirksamen Poren innerhalb der Krümel einerseits und auf größere Hohlräume zwischen den Krümeln andererseits verteilt.

Man darf also nicht erwarten, mit dem pneumatischen Strukturmesser die Durchlässigkeit der Böden messen zu können, wie wir es anfänglich angestrebt haben. Vielmehr sind die pneumatisch gemessenen Strukturwerte von der effektiven Durchlässigkeit der Böden weitgehend unabhängig. Auf Grund dieser Überlegung ist es auch verständlich, daß die pneumatisch gemessenen Strukturwerte der absoluten Größe des Hohlraumvolumens nicht parallel gehen können, wie zahlreiche frühere Untersuchungen (von Blohm, Kuhnke, Buess u. a.) bereits gezeigt und unsere Messungen erneut bestätigt haben.

Wohl läßt sich ein Ansteigen der Strukturwerte mit steigendem luftgefüllten Porenvolumen nachweisen; die Beziehung ist jedoch so unregelmäßig und sprunghaft, daß auch noch andere Faktoren als nur der Luftgehalt eine Rolle spielen müssen. Der entscheidende Faktor ist eben die Größenverteilung der luftgefüllten Poren, über die uns die meist übliche Bestimmung des Porenvolumens trotz ihrer Umständlichkeit leider keine Auskunft zu geben vermag.

Der Wassergehalt des Bodens kann sehr großen Einfluß auf seine Luftdurchlässigkeit haben; denn das Wasser befindet sich ebenso wie die Luft in den Bodenhohlräumen. Der Wasser-

gehalt des Bodens beeinflusst aber den Strukturwert erst dann, wenn er eine bestimmte Höhe erreicht hat. Bei niedrigen Wassergehalten sind nur die engen Bodenporen mit Wasser gefüllt, die ohnehin für die Luftströmung bedeutungslos sind. Der Wassergehalt beginnt sich erst dann auf die Strukturwerte auszuwirken, wenn auch die größeren Poren Wasser enthalten. Das bedeutet, daß die Strukturwerte von Böden, die wenig größere Hohlräume besitzen, schon bei relativ niedrigen Wassergehalten beeinflusst werden. Bei leichten Böden kann man 15% Wassergehalt als obere Grenze annehmen. Die Strukturwerte schwerer Böden werden dagegen erst bei Wassergehalten von 25% und darüber merklich beeinflusst, weil dann nicht nur die zahlreichen Mikrokapillaren innerhalb der Krümel mit Wasser erfüllt sind, sondern auch die größeren Hohlräume zwischen den einzelnen Krümeln sich mit Wasser zu füllen beginnen. Aus den genannten Zahlen läßt sich ersehen, daß pneumatische Strukturmessungen erst dann nicht mehr ohne Bedenken ausgeführt werden können, wenn der Boden auch für eine Bearbeitung zu naß ist.

Die absolute Höhe der Strukturwerte wird also lediglich durch die größeren luftgefüllten Hohlräume bestimmt, die allein eine lebhafte Luftbewegung zulassen. In Böden, die von Hohlräumen dieser Art nur in geringem Maße durchsetzt sind, weil die einzelnen Bodenteile unmittelbar aneinanderliegen und eine sogenannte Einzelkornstruktur aufweisen, müssen die Strukturwerte niedrig liegen. Das trifft für alle leichten Böden zu. Ähnliche niedrige Strukturwerte müssen schwere Böden aufweisen, bei denen die Bodenteilchen teigartig dicht liegen, so daß ebenfalls eine Art Einzelkornstruktur entsteht. Bei Böden mit höheren Strukturwerten ist die räumliche Verteilung der Bodenteilchen und vor allem der Hohlräume eine andere, und zwar ist sie gekennzeichnet durch das Vorhandensein größerer Hohlräume, die miteinander in Verbindung stehen und somit eine lebhafte Luftströmung ermöglichen. Das ist bei allen gut strukturierten Böden in mehr oder weniger großem Maße der Fall.

Demnach ist es möglich, mit Hilfe von Luftdurchlässigkeitsmessungen bei relativ hohen Drücken Rückschlüsse auf die Struktur der Böden zu ziehen. Zwischen den niedrigen Strukturwerten, die für die Einzelkornstruktur typisch sind, und den extrem hohen Werten, die durch guten Garezustand, d. h. durch das Vorhandensein großer Krümel und großer Hohlräume gekennzeichnet sind, liegen alle nur möglichen Übergänge. Zur Erläuterung sollen drei praktische Beispiele herangezogen werden.

Beispiele

Boden 1: Sandboden in Tützpatz, Kreis Altentreptow.

Vorfrucht: Frühkartoffeln, die einige Wochen vor der Aufnahme des Strukturprofils gerodet worden waren.

Die günstigste Struktur (Bild 2) zeigt der Boden an der Oberfläche und unmittelbar darunter. Die lockere und krümelige Lagerung ist eine Folge der Kartoffelrodung. Die unterhalb 5 cm Tiefe einsetzende Strukturverschlechterung hat ihre Ursache in der Kartoffelbearbeitung, die durch Trittwirkung und Raddruck eine Bodenverdichtung hervorgerufen hat. Von 10 cm Tiefe an ist wieder eine Verbesserung des Strukturzustandes zu verzeichnen, was auf den im Frühjahr untergebrachten Stallung zurückzuführen ist. Unterhalb 20 cm Tiefe wird die Struktur wiederum schlechter, um bei 30 cm ein Minimum zu erreichen, worin die Pflugsohlenverdichtung zum Ausdruck kommt. Die Verhärtung war qualitativ schon gefühlsmäßig mit dem Spaten oder Sondenstab zu erfassen. Auch deutete der etwas plattige Bruch des Bodens in dieser Tiefe auf das Vorhandensein einer Verdichtung. Der tiefere Untergrund zeigt einen gesunden Strukturzustand ohne schädliche Verdichtungen.

Boden 2: Schwach humoser, sandiger Lehm Boden in Tützpatz, Kreis Altentreptow.

Vorfrucht: Winterweizen. Die Aufnahme des Strukturprofils erfolgte unmittelbar nach der Mahd (Bild 3).

Wie aus den Strukturwerten ersichtlich ist, leidet dieser Boden an erheblichen Strukturschäden. Die Pflugsohlenver-

dichtung, die zwischen 20 und 25 cm Tiefe liegt, hat einen unheilvollen Einfluß ausgeübt. Unmittelbar darüber ist die schlechteste Struktur zu verzeichnen. Hier muß sich das Niederschlagswasser sehr lange gestaut haben, wodurch ein völliges Zerfließen der Krümel und die Bildung der Einzelkornstruktur bewirkt wurden.

Boden 3: Tiefgründiger, stark humoser, lehmiger Gartenboden. (Privatgarten Greifswald.) (Bild 4.)

Dieser Boden wird seit Jahrzehnten intensiv genutzt. Dabei wurde stets eine planmäßige Humusanreicherung getrieben, verbunden mit regelmäßiger Kalkzufuhr. Die Strukturmessungen wurden im April 1952 durchgeführt, die letzte Bearbeitung hat der Boden im Sommer 1951 erfahren, so daß er genügend abgelagert war. Er macht den Eindruck bester Gare; beim Darüber-schreiten federt er (Bild 4).

Zur Zeit der Profilaufnahme war eine leichte Verkrustung vorhanden, die im Strukturprofil sehr gut zum Ausdruck kommt. Schon unmittelbar unter der Oberfläche zeigt sich eine sehr gute Gare. Die Krümel sind jedoch noch relativ klein, aber mit zunehmender Tiefe nimmt auch die Krümelgröße zu, was infolge der entsprechend zunehmenden Hohlraumgröße zum Ansteigen der Strukturwerte führt. In etwa 15 cm Tiefe ist die günstigste Lagerung erreicht. In dieser Schicht ist auch die stärkste Durchwurzelung festzustellen. Von hier ab nimmt die Krümelgröße bis zur Bearbeitungstiefe wieder ab. Der ebenfalls noch stark humose Untergrund zeigt beim Aufbruch mit dem Spaten eine bröcklige Struktur, die man nicht mehr als Krümelstruktur bezeichnen kann. In etwa 35 cm Tiefe ist die ungünstigste Struktur vorhanden, die den Zustand des unveränderten Untergrundes kennzeichnet.

Ä 1160

Literatur

- [1] Janert, H.: Der Rotorflug. Deutsche Agrartechnik, Heft 2, 53.
- [2] Jannert, H.: Die Durchlüftbarkeit des Bodens. Verhandlungen der VI. Komm. d. I. B. G., Teil B, Zürich 1937.
- [3] Buess, O.: Beitrag zur Methodik der Diagnostizierung verdichteter Bodenhorizonte und Ergebnisse von Untergrundlockerungsversuchen auf schweizerischen Ackerböden. Verbandsdruckerei A. G., Bern 1949.
- [4] Witt, F. K.: Die Luftdurchlässigkeit des Bodens als Kriterium des Strukturzustandes und die Methodik ihrer Messung. Dissertation, Greifswald 1952.

Leserkonferenz in Markkleeberg

Die diesjährige Gartenbauausstellung in Markkleeberg vom 27. August bis zum 6. September wird wie alljährlich viele unserer Leser zu einem Besuch dieses schönen Kulturparkes veranlassen. Wir möchten diese Gelegenheit benutzen und unsere Leser zu einer Aussprache in Markkleeberg einladen.

Sie sollen uns dabei sagen, was an unserer Zeitschrift noch geändert werden muß, damit wir aus dieser Kritik und den Anregungen die Nutzenanwendung für unsere künftige Arbeit ziehen können.

Die Leseraussprache findet am 30. August 1953 um 17.00 Uhr im Kulturhaus statt.

AZ 1290 Die Redaktion

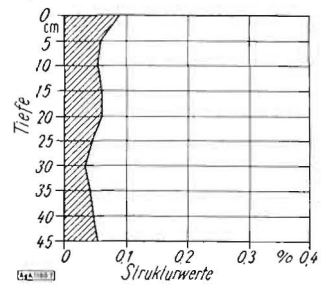


Bild 2
Strukturdiagramm von Boden 1

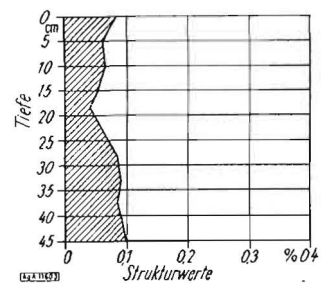


Bild 3
Strukturdiagramm von Boden 2

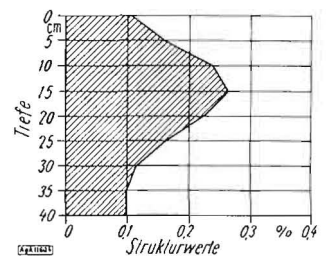


Bild 4
Strukturdiagramm von Boden 3