

BODENVERDICHTUNG BEI DEN SCHLEPPER- UND BODENBEARBEITUNGSARBEITEN

von

G. SITKEI

Lehrstuhl für Landmaschinenbau, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 14. Mai, 1971)
Vorgelegt von Prof. A. ZALKA

Einleitung

Die Kraft- und Bodenbearbeitungsmaschinen stehen mit dem Boden in ständiger Wechselwirkung. Durch die Laufwerke der sich auf dem Boden fortbewegenden Kraftmaschinen wird der Boden sowohl in senkrechter als auch in waagerechter Richtung verformt. Die auftretende Bodenformation ist von den spezifischen Kraftwirkungen und den physikalischen Eigenschaften des Bodens abhängig.

Die Werkzeuge der Bodenbearbeitungsmaschinen dringen in den Boden ein und üben auf die Bodenteile, mit denen sie in Berührung kommen, Kraftwirkungen aus, durch die in einem gewissen Umfang der Boden verformt wird, u. U. auch seine Lage ändert.

Die Bodendeformation kann mannigfaltiger Art sein, und damit ist auch ihre Wirkung auf die Struktureigenschaften des Bodens unterschiedlich. Bei der Verformung ändert sich vor allem der Porenanteil (das Raumgewicht), doch kann auch in gewissen Fällen eine wesentliche Änderung in der Krümelung erfolgen. Durch die Veränderung der Strukturkennwerte werden jedoch Luftdurchlässigkeit, Sauerstoffdiffusion im Boden sowie der Wasserhaushalt entscheidend beeinflusst, die für den Pflanzenbau wichtige Belange darstellen.

Die wichtigsten Eigenschaften des Bodens

Bei der Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Landmaschinen und Boden sind die mechanischen Bodenkennwerte sowie die strukturellen Eigenschaften des Bodens zu berücksichtigen. Die mechanischen Eigenschaften sind für die Konstruktion der Maschinen, die Strukturkennwerte für den Pflanzenbau wichtig. Sowohl die mechanischen als auch die Strukturkennwerte sind von verschiedenen Einflußfaktoren, vor allem vom Feuchtigkeitsgehalt und von der Bodenzusammensetzung (Korngrößenverteilung und Humusgehalt) beeinflusst.

Die strukturellen und die mechanische Kennwerte sind voneinander nicht unabhängig. Da jedoch die Wirkung der Einflußfaktoren entscheidend

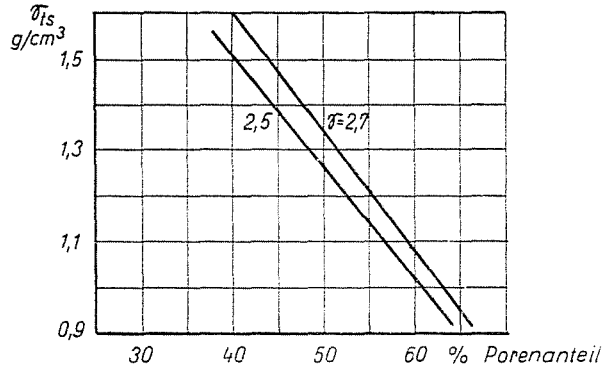


Abb. 1. Zusammenhang zwischen Raumgewicht und Porenanteil

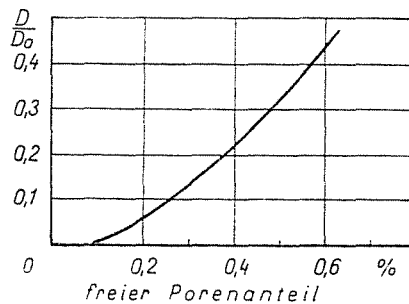


Abb. 2. Änderung der Sauerstoffdiffusion in Abhängigkeit vom freien Porenanteil

sein kann, ist die Natur der Beziehungen zwischen Struktur- und mechanischen Faktoren von letzteren stark abhängig (vor allem vom Feuchtigkeitsgehalt).

Der *Porenanteil* stellt einen der wichtigsten Bodenstrukturkennwerte dar, wobei es sich um äußere und innere Poren handelt. Zwischen Porenanteil und Raumgewicht besteht ein eindeutiger Zusammenhang (Abb. 1), daher läßt sich auch letzteres als Strukturkennwert verwenden.

Durch den Porenanteil wird die Pflanzenentwicklung entscheidend beeinflußt. Vom freien (durch Wasser nicht ausgefüllten) Porenanteil ist die Luftdurchlässigkeit des Bodens und damit die Sauerstoffversorgung des Wurzelwerks abhängig. Die Sauerstoffdiffusion hängt vor allem von dem freien Gesamtporenvolumen ab, in geringerem Maße von der großemäßigen Porenverteilung. Dabei sind die Bewegungen des Wassers (Anstieg, Wasserdurchlässigkeit, strukturelle Wasserkapazität) auch von der Größe der freien Poren abhängig. Nach den zur Verfügung stehenden Angaben ist ein freier Porenanteil von 10 bis 15% die untere Grenze, bei der noch eine befriedigende Pflanzenentwicklung möglich ist. Das erklärt sich vorwiegend dadurch, daß mit einer Verminderung des freien Porenanteils die Sauerstoffdiffusion bedeutend abnimmt. Sind lediglich 10% des Gesamtporenvolumens durch Luft ausgefüllt, ist die Sauerstoffdiffusion praktisch unterbunden (Abb. 2).

Unterschreitet die Sauerstoffdiffusion im Boden den Wert von $0,16 D_0$ (wo D_0 die Sauerstoffdiffusion in der Luft bedeutet), so wird nach KOHNKE [1] die Entwicklung der Pflanzen zurückgehalten.

Mit abnehmendem Porenanteil erhöht sich das Raumgewicht und mit diesem nimmt in der Regel auch die mechanische Festigkeit zu. Durch Versuche [2] wurde nachgewiesen, daß ein dichter Boden in festem Zustand dem Wurzelwachstum auch einen mechanischen Widerstand leistet. Durch das Wurzelwerk der Pflanzen kann ein um so größerer mechanischer Widerstand überwunden werden, je mehr Sauerstoff zur Verfügung steht.

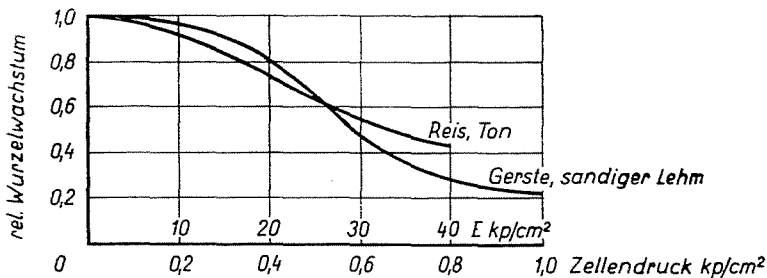


Abb. 3. Das relative Wurzelwachstum in Abhängigkeit von der Bodendichte

In Abb. 3 ist das relative Wurzelwachstum in Abhängigkeit von der Bodendichte dargestellt [3]. Die einzelnen Pflanzenarten sind gegen die Bodendichte nicht in gleichem Maße empfindlich, über $E = 20 \text{ kp/cm}^2$ ist jedoch das Wachstum der Wurzel in jedem Falle beeinträchtigt.

Der Porenanteil nimmt mit der Zusammendrücken des Bodens ab. In Abb. 4 ist die Verminderung des Porenanteils in einem Lehm Boden in Abhängigkeit vom Oberflächendruck bei zwei verschiedenen Eindringgeschwindigkeiten zu sehen [4]. Wie zu erkennen ist, läßt sich der Boden mit höherem Feuchtigkeitsgehalt durch denselben Druck auf einen geringeren Porenanteil zusammendrücken. Sind diese Kurven für verschiedene Feuchtigkeitsgehalte bekannt, läßt sich der höchste Oberflächendruck ermitteln, durch den der Pflanzenwuchs noch nicht beeinträchtigt wird.

Auch der *Wasserhaushalt des Bodens* (natürliche Wasserkapazität, Anstieg und Durchlässigkeit) ist in bedeutendem Maße von der Verformung, der Dichte, d. h. von den Strukturkennwerten abhängig. Umgekehrt, hängt die natürliche Setzung (z. B. zufolge des Winterniederschlags), durch die das Wachstum der Pflanzen verschiedenartig beeinflusst wird, in bedeutendem Maße von der erzeugten Bodenstruktur ab. Leider harren letztere Probleme hinsichtlich der quantitativen Daten größtenteils noch der Lösung.

Bodenkrümelung und Außenporenanteil stehen miteinander in einem gewissen Zusammenhang. Eine Aufgabe der Bodenbearbeitungswerkzeuge besteht darin, die größeren Schollen im gesetzten Boden zu zerkrümeln, u. zw. ohne höheren Staubanfall. Durch eine entsprechende Krümelung werden gute Wasserhaushalt-Eigenschaften und ein geeigneter Gesamtporenanteil gewährleistet.

Unter den mechanischen Kennwerten spielt die *Tragfähigkeit des Bodens* eine wichtige Rolle. Die Räder von Landmaschinen und Fahrzeugen sind so

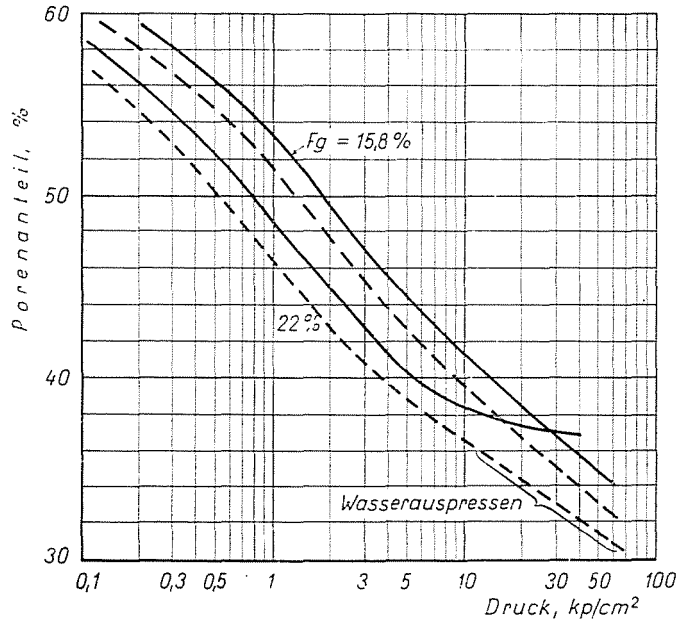


Abb. 4. Der Porenanteil im Boden als Funktion des Druckes

zu bemessen, daß sie bei den vorhandenen Bodenverhältnissen nicht über eine bestimmte Tiefe in den Boden einsinken. Dafür muß die Bodentragfähigkeit bekannt sein.

Die Tragfähigkeit des Bodens wird in der Regel mit Hilfe von kreis- oder rechteckförmigen Druckplatten gemessen und die Ergebnisse werden in der Form

$$p = k \left(\frac{z}{D} \right)^n$$

ausgewertet, wo

- p — den mittleren Druck unter dem Stempel,
- z — die Einsinkung des Stempels,
- D — den Durchmesser des Stempels,
- k — den Tragfähigkeitsbeiwert des Bodens bedeuten.

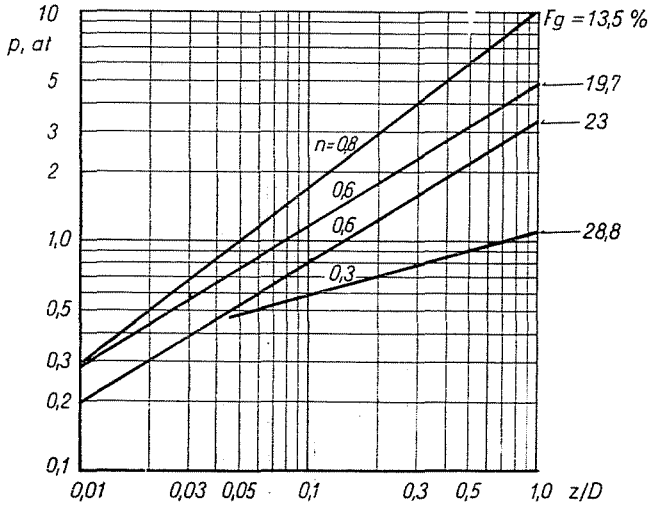


Abb. 5. Druck-Einsinkungskurven bei verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten

Für die Flugsandböden in Ungarn schwankt der Tragfähigkeitsbeiwert zwischen 3 und 5, während er in frisch gepflügten oder gelockerten Lehm Böden Werte um 1,0 haben kann. Der Wert des Exponenten n ändert sich zwischen 0,3 und 0,8, in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt.

Abb. 5 zeigt Druck-Einsinkungs-Kurven eines Tschernosem-Bodens bei verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten. Dabei schwankt der k -Wert zwischen 1,1 und 10.

Unter dem Druck-Stempel (oder in ähnlicher Weise unter Rad-Auflageflächen) entsteht eine Druckverteilung gemäß Abb. 6. Demnach nimmt der Druck in der Achse des Stempels nach unten verhältnismäßig rasch ab, falls sich die Tragfähigkeit mit der Tiefe nicht ändert. In der Praxis befindet sich in der Furchensohlenebene eine harte Schicht, deren Tragfähigkeit um eine Größenordnung höher ist. In diesem Falle ist die Druckverminderung mit der Tiefe geringer. Liegt z. B. die Furchensohle bei $z/r = 1$ unter dem Stempel, so beträgt der Druck auf die Furchensohle 0,96 p, d. h. die gesamte lockere Schicht verdichtet sich praktisch im gleichen Maße.

Der Boden ist ein visko-elastisches Material und dementsprechend wird nach der Entlastung eine gewisse Rückfederung des Bodens beobachtet, der Porenanteil nimmt um einen geringen Wert zu bzw. das Raumgewicht ab (Abb. 7) [5].

Unter wiederholter dynamischer Belastung wird der Boden stärker verdichtet als unter gleichwertiger statischer Last. Abb. 8 zeigt die Bodenverdichtung unter wiederholter dynamischer Belastung (von etwa 1s Dauer) [6]. Die Belastung betrug 1,9 atm. Wie aus der Abbildung zu ersen ist,

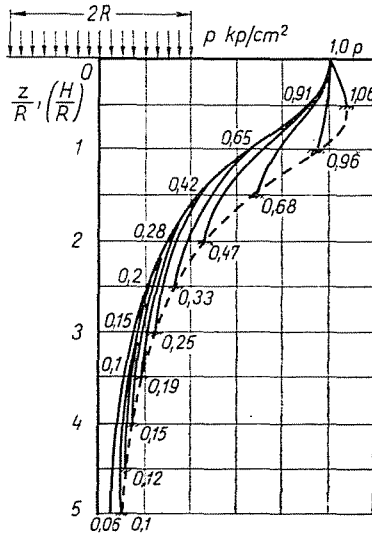


Abb. 6. Druckverteilung unter dem Druckstempel

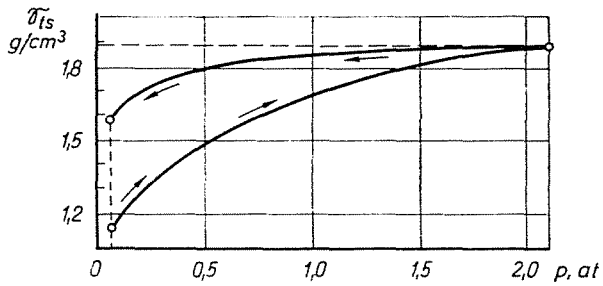


Abb. 7. Belastungs-Entlastungskurven für den Boden

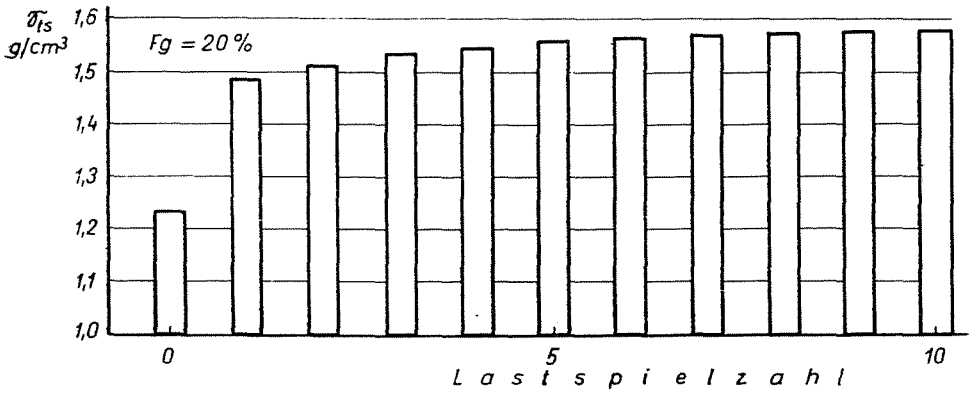


Abb. 8. Bodenverdichtung unter wiederholter, dynamischer Belastung

werden 70 bis 80% des maximalen Raumgewichts bereits beim ersten Schlag erreicht, während sich bei den weiteren Schlägen die zusätzliche Verdichtung allmählich vermindert. Nach 15 Schlägen erfolgt in der Regel keine weitere Verdichtung.

Bei dynamischer Belastung ist die Spannungsverteilung (und somit die Verformung) im Boden ungleichmäßig, da sich die Deformation von der Oberfläche ausgehend mit endlicher Geschwindigkeit fortpflanzt (ähnlich wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls), wobei die sich fortpflanzende Energie infolge der Dissipation fortwährend abnimmt. Je kleiner die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Deformation, um so mehr wird die mitgeteilte

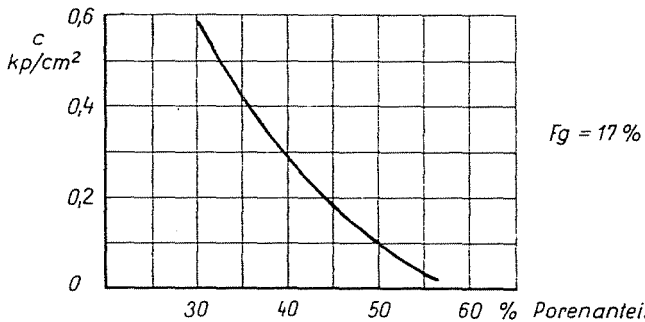


Abb. 9. Verlauf der Kohäsion in Abhängigkeit vom Porenanteil

Energie durch die unmittelbare Umgebung der einer Kraftwirkung ausgesetzten Oberfläche aufzunehmen, um so größer wird die Verformung sein. In lockeren und feuchten Böden ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Verformung am geringsten, deshalb sind derartige Böden gegen dynamische Belastung am meisten empfindlich.

Der *Winkel der inneren Reibung* schwankt in den Böden von normalem Feuchtigkeitsgehalt innerhalb verhältnismäßig enger Grenzen, er beträgt $\mu = \operatorname{tg} \rho = 0,7$ bis $0,8$. Mit einer Erhöhung des Feuchtigkeitsgehalts nimmt μ etwas zu; in leichten (Flug-) Sandböden beträgt sein Wert in natürlich abgesetzten Zustand $\mu = 0,65$. In aufgelockertem Zustand vermindert sich dieser Wert etwas, während er sich bei künstlicher Verdichtung erhöht.

Die *Kohäsion* stellt einen wichtigen Kennwert der Böden dar, der sowohl die Tragfähigkeit als auch die Umfangskraft, die sich durch die Tribräder auf den Boden übertragen läßt, wesentlich beeinflusst.

Die Kohäsion ist grundlegend von Porenanteil und Feuchtigkeitsgehalt abhängig. In Abb. 9 ist die Kohäsion eines Lehmboedens mit 17prozentigem Feuchtigkeitsgehalt in Abhängigkeit vom Porenanteil dargestellt [4]. Die Kohäsion wird auch durch eine Erhöhung des Feuchtigkeitsgehalts bedeutend herabgesetzt.

Eine Eigenschaft feuchter Böden besteht darin, daß sie durch *Adhäsion* an den Werkzeugoberflächen haften, mit denen sie in Wechselwirkung sind, und sich von dort nur unter Kräfteinsatz entfernen lassen. Die Neigung zur Adhäsion ist von der Rauigkeit der Oberfläche, von Bodenart, Bodenstruktur, Feuchtigkeitsgehalt, vom Anpreßdruck und von der Temperatur abhängig. Abb. 10 zeigt den Verlauf der spezifischen Adhäsion in Abhängigkeit von Anpreßdruck, bei drei verschiedenen Bodenfeuchtigkeiten [7].

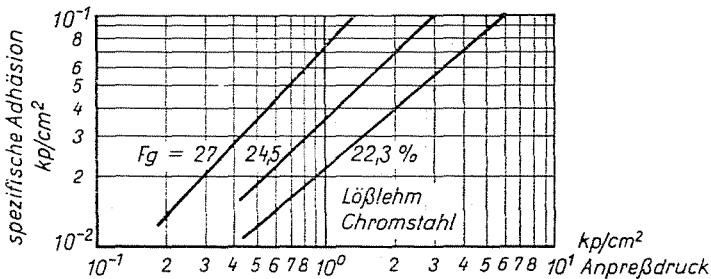


Abb. 10. Die spezifische Adhäsion in Abhängigkeit vom Anpreßdruck

Wirkung des Laufwerks auf Struktur und mechanische Eigenschaften des Bodens

Ein Hauptzweck der Laufwerke besteht in der Beförderung eines bestimmten Gewichts. Dabei wird das auf die Räder wirkende Gewicht durch die verteilte Kraftwirkung in der Berührungsfläche zwischen Rad und Boden ausgeglichen. Durch die Kraftwirkung wird der Boden im allgemeinen Falle auf Druck und Schub beansprucht, wodurch er sich verdichtet, der Porenanteil abnimmt. Zufolge der Bodenverdichtung (der Deformation) rollen die Räder immer mit einer gewissen Einsinkung und es verbleiben auf dem Felde Fahrspuren.

Eine stärkere Radeinsinkung ist auch aus energetischer Sicht ungünstig: wegen des erhöhten Rollwiderstands wird entweder die erforderliche Zugkraft groß sein (geschleppte Maschinen) oder die Nutzzugkraft abnehmen (Kraftmaschinen).

Um die Verdichtung des Bodens zu berechnen, müssen die Kräftewirkungen bekannt sein. In früheren Arbeiten [8, 9] wurde vom Verfasser eine verhältnismäßig einfache Methode angegeben, nach der für beliebige Verhältnisse die Reifeneinsinkung und der mittlere Druck in der Berührungsfläche ermittelt werden können. Im weiteren ist die Beziehung Porenanteil—Druck (siehe Abb. 4) notwendig und auf dieser Grundlage läßt sich die Verminderung des Porenanteils in der Spur errechnen.

Die nach der obenangeführten Methode erhaltenen Werte sind als Näherungswerte zu betrachten. Durch diese Methode werden nämlich nur die Vertikalkräfte berücksichtigt, wobei genauere Versuche [8, 10] zeigten, daß die Bodenverdichtung durch die Spannungen σ und τ gemeinsam bedingt ist. Das bedeutet, daß der Boden durch gezogene Räder weniger verdichtet wird als durch angetriebene Räder unter gleicher Belastung. Aus diesen Überlegungen folgt auch, daß die maximale Verdichtung nicht unmittelbar in der Berührungsfläche, sondern unterhalb dieser, in der Schnittlinie der Gleitflächen zustandekommt.

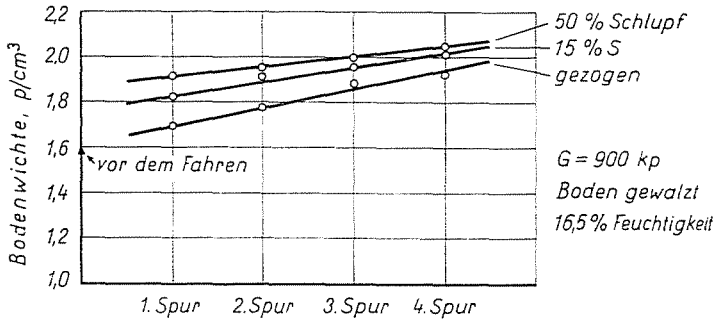


Abb. 11. Bodenverdichtung unter dem gezogenen bzw. unter dem angetriebenen Rad

In Abb. 11 ist die Änderung der Bodenwichte beim mehrmaligen Überfahren einer Spur für gezogene und angetriebene Reifen mit verschiedenem Schlupf zu sehen. Wie es zu erkennen ist, wird durch das angetriebene Rad eine stärkere Bodenverdichtung erzeugt, wobei die Verdichtung mit dem Schlupf weiter zunimmt [11].

Die Druckverteilung ändert sich mit der Tiefe, ähnlich wie in Abb. 6, und läßt sich durch die einfache Gleichung ausdrücken

$$\sigma_z = \sigma_{z_0} (1 - \cos^v z)$$

wo σ_{z_0} — den mittleren Druck in der Berührungsfläche,

z — den halben Öffnungswinkel des betreffenden Punktes zur Auflagefläche,

v — den GRIFFITH—FRÖLICHschen Konzentrationsbeiwert, dessen Wert zwischen 3 und 6 schwankt,

bedeuten.

Der v -Wert ist von der Bodenfeuchtigkeit und von der Radbreite abhängig. Je feuchter der Boden und je schmaler das Rad ist, um so größer

ist der Konzentrationsbeiwert. Das bedeutet, daß durch ein breiteres Rad der Boden bis zu einer größeren Tiefe annähernd gleichmäßig verdichtet wird. Das ist in Abb. 12 gut zu erkennen, wo die Druckverteilungen unter einem Normalreifen 13,6—38 und unter einem Terra-Reifen $46 \times 24 - 16R$ dargestellt sind [12]. Die Druckspannungswerte unter dem 61 cm breiten Terra-

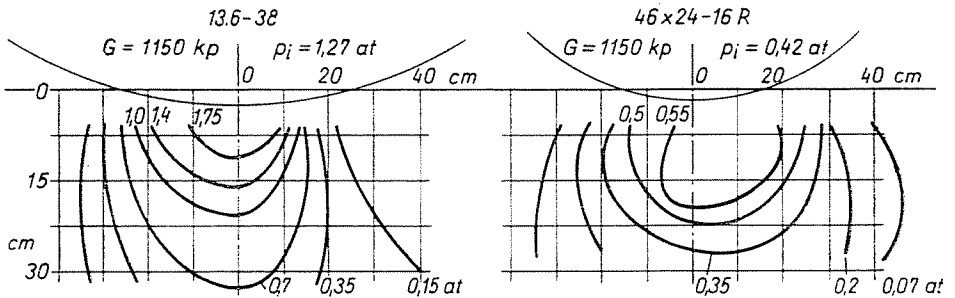


Abb. 12. Drucklinien unter Rädern unterschiedlicher Breite

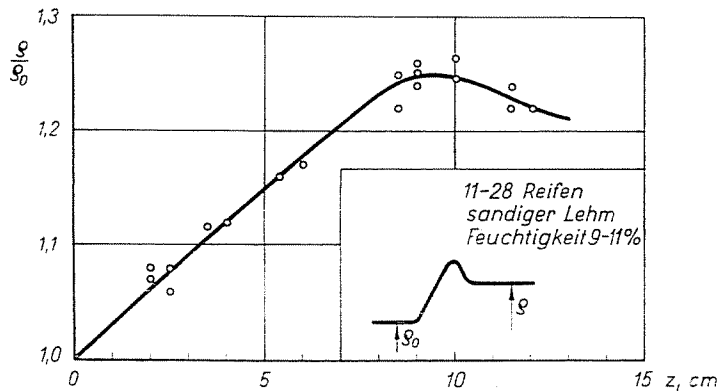


Abb. 13. Bodenverdichtung in Abhängigkeit von der Radeinsenkung

Reifen mit geringem Innendruck sind selbstverständlich wesentlich kleiner, da die Belastungen auf beiden Reifen die gleichen sind.

Unter Schlepperrädern wird der Boden im allgemeinen verdichtet und befindet sich in plastischem Fließzustand. Bei geringeren Verformungen tritt vor allem die Verdichtung auf, wobei das Raumgewicht zunimmt. Bei größeren Deformationen ist das plastische Fließen vorherrschend, wobei das Raumgewicht unverändert bleibt. Abb. 13 zeigt auf Ackerland erzielte Meßergebnisse, an denen die oben beschriebenen Erscheinungen gut zu beobachten sind*.

* Die Messungen wurden vom Aspiranten des Verfassers, András Fekete, durchgeführt

Die Wirkung der Bodenbearbeitungsmaschinen auf die Struktur und die mechanischen Eigenschaften des Bodens

Die Aufgabe der Bodenbearbeitungsmaschinen besteht in der Auflockerung, Krümelung, im Wenden und Mischen des Bodens. Dazu muß der Boden verformt und transportiert werden. Energetisch sind die Werkzeuge derart zu gestalten, daß die für die Verformung und den Transport erforderliche Kraftwirkung möglichst klein sei. Eine möglichst kleine Kraftwirkung ist in der Regel auch für den Boden erwünscht. Entsteht nämlich an der Werkzeugoberfläche eine große Kraftwirkung, so werden die sich mit dem Werkzeug berührenden Bodenschichten zusammengedrückt, verdichtet, ein Umstand, der unerwünscht ist. Beim Pflügen eines feuchten Bodens beobachtet man z. B., daß die Schicht in Berührung mit Streichblech verdichtet und geglättet ist, wodurch nach Austrocknung harte Schollen entstehen.

Die Ursache einer unerwünschten Bodenverdichtung ist

- a) in einer unrichtigen Werkzeuggestaltung,
- b) in der hohen Werkzeuggeschwindigkeit,
- c) in der großen Bodenfeuchtigkeit, die den Boden gegen Verdichtung empfindlich macht, zu suchen.

Durch die Bodenbearbeitungswerkzeuge werden in der Regel zusammengesetzte, komplexe Bodenformationen herbeigeführt, die, sowie die Kraftwirkungen, heute durch Berechnungen lediglich angenähert werden können. Gleichzeitig gestatten die Versuchsergebnisse und theoretische Überlegungen wichtige Schlußfolgerungen.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß vor den Werkzeugen unter bestimmten Bedingungen eine dichte Zone entsteht. In diesem Falle wühlt das Werkzeug den Boden auf und der Widerstand nimmt zu. Durch einschlägige Untersuchungen wurde geklärt, wie das Werkzeugprofil (Anstellwinkel, Schneidewinkel usw.) gestaltet sein soll, damit keine dichte Zone entsteht [13]. Die Bedingungen verschlechtern sich noch, wenn der Feuchtigkeitsgehalt im Boden so hoch ist, daß die Adhäsionskräfte eine wesentliche Rolle spielen.

Eine andere wichtige Erkenntnis betraf die Wirkung der offenen Wand auf die Entwicklung einer Verformungszone. Wie aus Abb. 14 zu erkennen ist, wirken auf ein neben einer offenen Wand (z. B. Furchenwand) vordringendes Werkzeug eine geringere Kraft bzw. ein geringerer Druck, wobei sich der Boden in Richtung der offenen Wand (des kleineren Widerstands) verschiebt. Daraus folgt, daß der Pflugwiderstand und auch der Druck in der Streichblechebene von der Furchenbreite abhängig sind. Aus ähnlichen Gründen ändert sich der Pflugwiderstand in Abhängigkeit von der Furchentiefe. Als Beispiel ist in Abb. 15 die Veränderung des spezifischen Pflugwiderstandes in Abhängigkeit von der Furchenbreite dargestellt. Dem Wider-

stand proportional verändert sich auch der Druck auf die Bodenteile, die mit dem Streichblech in Berührung sind. Wird durch das Werkzeug auch in der der offenen Wand entgegengesetzten Richtung auf den Boden ein Druck ausgeübt, kann dadurch eine bedeutende Bodenverdichtung herbeigeführt werden (Pflugsohlenkrankheit).

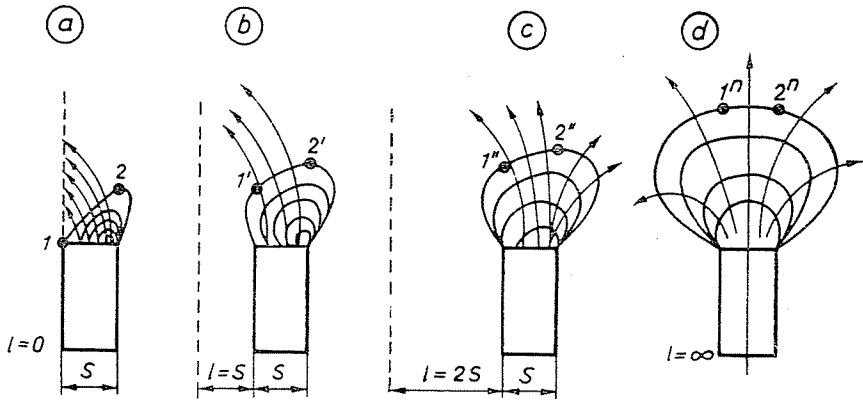


Abb. 14. Einfluß der offenen Wand auf die Druckverteilung vor dem Werkzeug

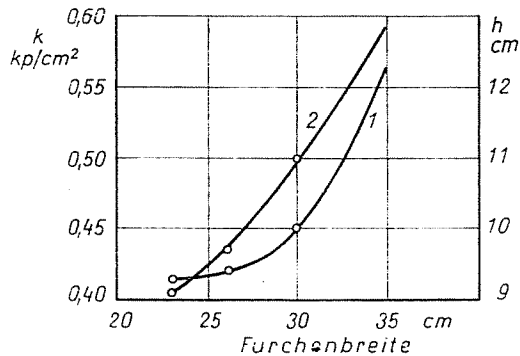


Abb. 15. Der spezifische Pflugwiderstand (1) und die Schwerpunkterlegung des Erdbalkens (2) in Abhängigkeit von der Furchenbreite

Mit zunehmender Werkzeuggeschwindigkeit nimmt der Druck in der Werkzeugoberfläche, und damit auch die Verdichtung der Bodenteile in Berührung mit dem Werkzeug zu. In Abb. 16 ist der Verlauf des Flächen-druckes an einem ebenen Werkzeugprofil mit einem Anstellwinkel von 30° in Abhängigkeit von der Werkzeuglänge bei verschiedenen Fahrgeschwindig-

keiten veranschaulicht. Aus der Abbildung ist zu erkennen, daß innerhalb von Geschwindigkeitsgrenzen, die in der Praxis vorkommen, der maximale Druck selbst den dreifachen Wert erreichen kann. Durch Verkleinerung des Scharschneidenwinkels (zwischen Werkzeugoberfläche und Fahrtrichtung) kann der Flächendruck vermindert werden.

Die Auflockerwirkung der Bodenbearbeitungswerkzeuge hängt vom Feuchtigkeitsgehalt im Boden, von der Werkzeuggeschwindigkeit und von der Art der Deformation ab. Auch durch die ursprüngliche Auflockerung des Bodens wird die Lockerwirkung wesentlich beeinflusst. Versuche zeigten,

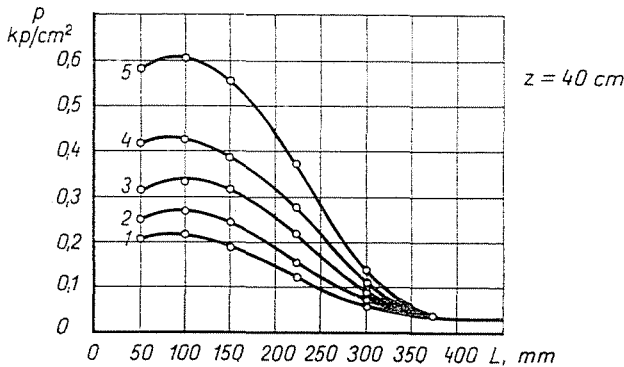


Abb. 16. Druckverteilung auf der Oberfläche eines ebenen Werkzeugs bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten 1 \approx 0; 2 — 0,47; 3 — 1,9; 4 — 3,3; 5 — 5,0 m/sec

daß es für alle Werkzeuge eine maximale Auflockerung gibt, die sich mit dem gegebenen Werkzeug praktisch weiter nicht erhöhen läßt. Nach Untersuchungen von KÉGL [14] läßt sich z. B. mit dem Pflug ein äußerer Porenanteil von höchstens 36 bis 40% erzielen. Beträgt der äußere Porenanteil dem Pflügen vorangehend 20%, so kann er sich beim Pflügen etwa verdoppeln.

Die mit dem Werkzeug erreichbare Auflockerung steht mit der Krümelwirkung in einem gewissen Zusammenhang. Eine Scheibenegge oder Bodenfräse mit guter Krümelungswirkung hat in der Regel auch einen stärkeren Auflockerungseffekt. Die so erzielte stärkere Auflockerung nimmt jedoch auch rascher ab, besonders unter Witterungseinflüssen (winterliche Niederschläge).

Die Krümelwirkung der Werkzeuge steht in einen gewissen Zusammenhang mit der Energieaufnahme. Die beträchtliche Krümelwirkung der Bodenfräse mit großem Energiebedarf ist allgemein bekannt, ebenso, wie die Wirkung der Werkzeuggeschwindigkeit auf die Krümelung. Ein Vorteil des Schnelpflügens besteht vielfach in der besseren Krümelung.

Die für die Krümelung günstige Wirkung der Geschwindigkeit macht sich jedoch lediglich bis zu einer gewissen Grenze geltend. In Abb. 17 ist die geschwindigkeitsabhängige Krümelwirkung eines Grubbers dargestellt, wo sich diese über einer Geschwindigkeit von 11 km/h nur unwesentlich weiter verbessert.

Über die Arbeit von Walzen ist zu bemerken, daß durch diese die Bodenoberfläche lediglich bei geringeren Fahrgeschwindigkeiten gleichmäßig verdichtet wird. Der Grund dafür ist wieder in der endlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Deformation zu suchen.

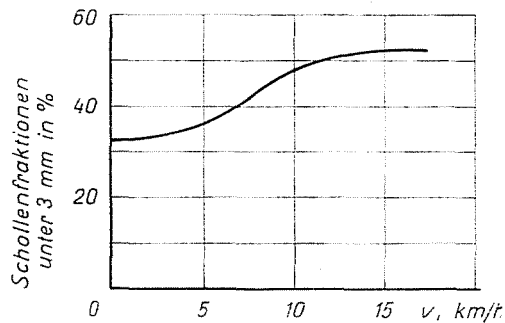


Abb. 17. Krümelwirkung eines Grubbers in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit

Schlußfolgerungen

Durch Kraft- und Bodenbearbeitungsmaschinen wird bei der derzeitigen Technologie u. U. eine starke Verdichtung der Böden herbeigeführt, die den Pflanzenwuchs beeinträchtigt und nicht gestattet, eine glatte Bodenoberfläche zu erzielen. Um diesem Übel abzuhelpfen, stehen folgende Verfahren zur Verfügung:

a) Der Boden darf nur bei einem Feuchtigkeitsgehalt bearbeitet werden, bei dem er noch nicht verdichtungsempfindlich ist.

b) Lockere Böden sind mit großvolumigen Reifen mit geringem Innendruck zu befahren.

c) Bodenbearbeitungswerkzeuge sind derart zu gestalten, daß sie die erforderliche Verformung des Bodens mit möglichst geringem Kraftaufwand erreichen. Die durch eine offene Wand gewährten Möglichkeiten sind mit besonderer Sorgfalt auszunützen.

d) Es darf nicht in jedem Jahre bis zu der selben Tiefe gepflügt werden; damit läßt sich die Verdichtung der Furchensohle vermindern.

e) Durch die Anwendung des Minimum-Tillage Bearbeitungssystems läßt sich die Bodenverdichtung entscheidend herabsetzen.

Zusammenfassung

Es ist wohlbekannt, daß das Pflanzenwachstum mit den physikalischen, chemischen und biologischen Verhältnissen des Bodens eng verbunden ist. Um optimale Verhältnisse sicherzustellen, werden zur Erzielung einer optimalen Bodenstruktur verschiedene Bodenbearbeitungsarbeiten durchgeführt. Durch die Bodenbearbeitungswerkzeuge und die Schlepperreifen wird dabei der Boden verformt, wodurch eine Auflockerung, Krümelung, Mischung oder Verdichtung des Bodens zustandekommt. Im vorliegenden Aufsatz werden diese Vorgänge auf bodenmechanischer Grundlage behandelt und die Zusammenhänge zwischen Bodenstruktur und mechanischen Eigenschaften des Bodens erörtert.

Literatur

1. KOHNKE, H. and BERTRAND, A.: Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and growth of corn roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **21**, 135—140 (1957).
2. GILL, W.: Soil Compaction by Traffic. *Agricultural Eng.* **40**, 392—394, 400 (1959).
3. ABDALLA, A. et al.: The mechanics of root growth in granular media. *J. of Agr. Eng. Res.* **14**, 236—248 (1969).
4. SÖHNE, W.: Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. *Grundlagen der Landtechnik*, Heft **5**, 1953.
5. HOVANESIAN, J. and BUCHELE, W.: Development of a recording volumetric transducer for studying effects of soil parameters on compaction. *ASAE Trans.* **2**, 78—81 (1959).
6. COOPER, A. and NICHOLS, M.: Some observations on soil compaction tests. *Agricultural Eng.* **40**, 264—267 (1959).
7. RIEK, H.: Untersuchungen über die Adhäsion zwischen Boden und festen Werkstoffen. *Diss. Landw. Hochschule Hohenheim*, 1963.
8. SITKEI, Gy.: Die Kernzahlen von Schlepperreifen und die Probleme der Bereifung (in ungarischer Sprache). *Járművek és Mezőgazdasági Gépek* **16**, 41—47 (1969).
9. SITKEI, Gy.: Die Kennzahlen von AS-Reifen und die Probleme der Bereifung. *ISTVS-Tagung in Essen*, Vol. III. pp. 23—43. 1969.
10. VANDEN BERG, G.: Triaxial measurements of shearing strain and compaction in unsaturated soil. *ASAE Winter Meeting*, Paper No. 62—648, 1962.
11. HOLM, C.: Das Verhalten von Reifen beim mehrmaligen Überfahren einer Spur. *ISTVS-Tagung in Essen*, Vol. II. pp. 96—123. 1969.
12. MCLEOD et al.: Draft, power efficiency and soil compaction characteristics of single, dual and low-pressure tires. *ASAE Trans.* **9**, 41—44 (1966).
13. SITKEI, Gy.: Bodenmechanische Probleme bei Landmaschinen (in ungarischer Sprache). *Akadémiai Kiadó*, Budapest, 1967.
14. KÉGL, L.: Neuere Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen einigen Eigenschaften der Bodenstruktur und der Arbeit von Bodenbearbeitungsmaschinen (in ungarischer Sprache). *Agrokémia és Talajtan* **5**, 335—341 (1956).

Dr. György SITKEI, Budapest XI., Bertalan Lajos u. 1, Ungarn