

UNTERSUCHUNG DES ZUGKRAFTBEDARFS DER UNTERGRUNDLOCKERER

von

J. BALATON

Lehrstuhl für Landmaschinenbau, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 14. Mai, 1971)

Vorgelegt von Prof. A. ZALKA

Die Bodenbearbeitung spielt in der Technologie der landwirtschaftlichen Produktion eine grundlegende Rolle, ihre sorgfältige Durchführung ist für den Erfolg des Pflanzenbaues entscheidend. Ausführungsweise der Bodenbearbeitung und die eingesetzten Maschinen haben in der Gegenwart eine große Veränderung erfahren und sich rasch entwickelt. Diese Entwicklung wurde durch die die Tierzugkraft ablösende mechanische Energie gewaltig beschleunigt. Die günstige Wirkung der Tiefbearbeitung des Bodens auf den Bodenertrag wurde von den Fachleuten der Landwirtschaft bereits früh erkannt. Für das Tiefpflügen wurde von so hervorragenden ungarischen Fachleuten der Landwirtschaft Stellung genommen, wie Ferenc Pethe, János Nagyváthy und Sándor Cserháti [1].

I. Bedeutung der Tiefbearbeitung

Durch die Tiefbearbeitung werden die physikalisch-chemischen und biologischen Bodeneigenschaften günstig beeinflusst, das Porenvolumen im Boden (der Porenanteil) vergrößert, ein Umstand, der das Eindringen der Wurzeln begünstigt. Durch das größere Porenvolumen werden Wasserkapazität und Wasserdurchlässigkeit des Bodens gesteigert, und auf diesem Wege der Bodenwasserhaushalt günstig beeinflusst, weil die Niederschläge leichter versickern und im Boden besser gespeichert werden.

Auch für die Verminderung der Bodenerosion ist eine erhöhte Wasseraufnahmefähigkeit günstig. Lockere Böden nehmen selbst Sturzregen auf, wodurch die Entstehung der Erosion verhindert wird.

Bei der Tiefbearbeitung wird auch die durch das vieljährige flache Pflügen in der gleichen Tiefe entstandene Pflugsohle aufgebrochen, die eine Einbeziehung von tieferen Bodenschichten in die Produktion beeinträchtigt.

Die Tiefbearbeitung gestattet, die Kunstdüngermengen zu erhöhen, weil sich der Kunstdünger in der stärkeren Kulturschicht besser verteilt und die Bodenlösung nicht allzu konzentriert sein wird, was eine bessere Ausnutzung des Künstdüngers ermöglicht. Gleichzeitig werden die für die Pflanzen schädlichen Salze in die tieferen Schichten abgeführt. Der Gasaustausch im Boden

wird lebhafter, wodurch die Oxydationsvorgänge, die Mineralisierung der organischen Stoffe begünstigt, die Erschließung der Pflanzennährstoffe, die Humusbildung in den tieferen Schichten gefördert werden.

Durch die Tiefbearbeitung werden die mikrobiologischen Prozesse im Boden günstig beeinflusst, die Verbreitung der Mikroben in den tieferen Schichten wird begünstigt.

Die Tiefbearbeitung läßt sich nicht in jedem Falle durch Pflügen realisieren. In Böden mit weniger starken Fruchtschichten kann durch den an die Oberfläche gelangten Untergrund die Ertragfähigkeit des Bodens auf mehrere

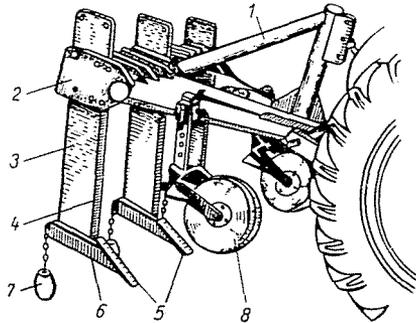


Abb. 1. Der Untergrundlockerer Typ FA 3/2

Jahre beeinträchtigt werden. Das kommt vor allem bei Salzgrund und schweren, dichten Tonböden vor, die dann durch eine mit dem Pflügen gleichzeitige Bearbeitung mit Lockermessern oder mit selbständig eingesetzten Untergrundlockerern gelockert werden.

Von ungarischen und ausländischen Forschern wurden dabei auch in anderen Bodenarten durch Untergrundlockerung ohne Wenden erhöhte Erträge erzielt. EGERSEGI und DVORACEK [2] berichten über günstige Ergebnisse in verdichteten Sandböden. Anhand der in verschiedenen Bodenarten durchgeführten Untersuchungen wird die Optimaltiefe der Untergrundlockerung in der Regel zu 40 bis 60 cm, ausnahmsweise zu 70 bis 90 cm angegeben.

Die Untergrundlockerung ohne Wenden spielt durch die Verwendung von Chemikalien eine mit der Veränderung der agrotechnischen Verfahren wachsende Rolle. Im weiteren sollen die für diesen Zweck geeigneten Werkzeuge untersucht werden.

2. Aufbau des Untergrundlockerers

In Ungarn wurden nach den Entwürfen des Instituts für Landmaschinenentwicklung zuerst in der Landmaschinenfabrik Mosonmagyaróvár Untergrundlockerer gefertigt. Die an einen Schlepper Typ D4K-B angehängte Maschine arbeitet mit zwei oder drei Lockerwerkzeugen (Abb. 1). Die Locker-

werkzeuge sind in den im Rohrrahmen (1) angeordneten Sitzen (2) befestigt. An die Vorderseite des senkrechten Schwertes (3) mit Rechteckquerschnitt schließt sich ein Messer mit Dreieckquerschnitt (4) an. Der Haltekopf (6) für den Lockerkeil (5) oder -flügel wird mit Schrauben am unteren Ende des Schwertes befestigt. Mit dem Lockerer läßt sich auch eine Maulwurfdränung ausführen. Dazu wird an das hintere Kopfende ein Dränziehkörper (7) angeschlossen. Die Stützräder (8) dienen zur Tiefeneinstellung der Lockermesser. (In einer anderen Ausführung werden anstelle dieser Gleitbacken verwendet.) Die Lockerungstiefe läßt sich auch durch die Verschiebung des senkrechten Schwertes (3) und Messers (4) im Sitz (2) einstellen.

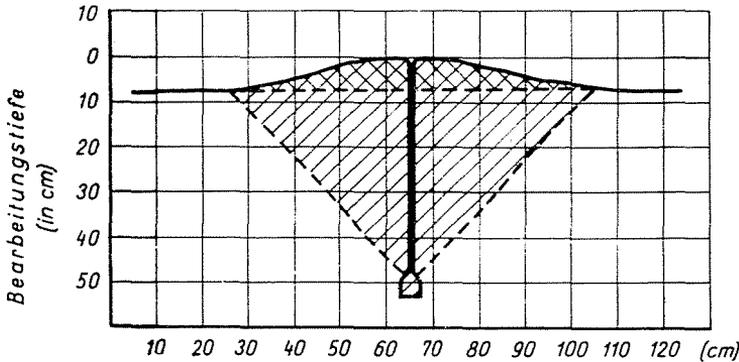


Abb. 2. Arbeit des keilförmigen Lockerwerkzeuges

3. Die Arbeitsweise der Lockerwerkzeuge

Der auf das senkrechte Schwert montierte Lockerkeil geeigneter Größe schreitet im Boden in der Tiefe h fort, wobei der Boden gespaltet und verformt wird. Unter Einwirkung der bei der Verformung auftretenden Spannung zerfällt das Bodenprofil in Stücke, und lockert sich. Dadurch wird die Bodenoberfläche angehoben. Bei kohäsiven Böden entsteht der Riß vom Lockerkeil in stark schräger Richtung nach aufwärts (Abb. 2).

Durch den Einsatz eines Lockerflügels kann die Breite des aufgelockerten Profils vergrößert werden. In nicht kohäsiven Böden (z. B. Sand) sind die das gelockerte Profil begrenzenden Rißlinien näher der Senkrechten (Abb. 3).

3.1. Lockerungseffekt

Bei den verschiedenen Bodenarten ist der Lockerungseffekt von zahlreichen Faktoren abhängig. Auch in demselben Boden wird die Lockerung durch den Bodenzustand (z. B. Feuchtigkeitsgehalt, vorige Bodenbearbeitung) wesentlich beeinflusst. Unterschiedliche Lockerwerkzeug-Parameter (Anstell-

winkel, Öffnungswinkel, Hubhöhe der Flügel) ergeben verschiedene Lockerungseffekte.

Die Lockerwirkung der Lockerer läßt sich am besten an der Gestaltung des Gesamtporenanteils im Boden abmessen.

Durch die Lockerung wird in einem bestimmten Bodenzustand das Verhältnis der festen Bestandteile zu den gasförmigen ausgedrückt. Die gasförmigen Bestandteile befinden sich in und zwischen den Bodenbrocken, und die durch Gase ausgefüllten Hohlräume werden als Poren bezeichnet. Das Verhältnis der gasförmigen Bodenbestandteile zu den festen wird *Porenanteil* genannt.

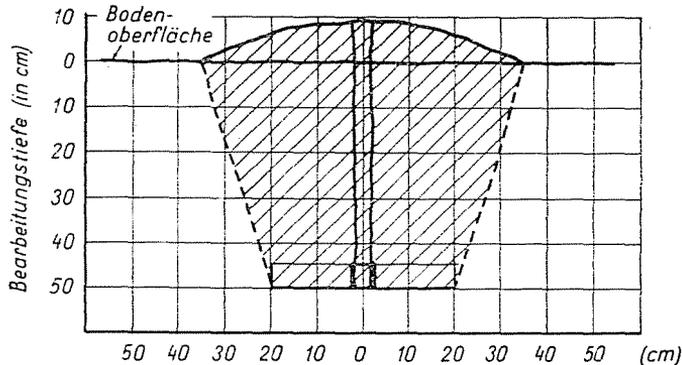


Abb. 3. Arbeit des Lockerwerkzeuges mit Flügeln

Der Gesamtporenanteil wird in Kenntnis des spezifischen Gewichts und des Raumgewichts des Bodens aus der Gleichung bestimmt:

$$P_{\circ} = \frac{F_s - T_s}{F_s} \cdot 100(\%), \quad (1)$$

wo F_s das spezifische Gewicht des Bodens,
 T_s das Raumgewicht (in ausgetrocknetem Zustand)
 bedeuten.

Der Lockerungseffekt beträgt:

$$l = \frac{P_{\circ u} - P_{\circ e}}{P_{\circ u}} \cdot 100(\%), \quad (2)$$

wo $P_{\circ e}$ den Gesamtporenanteil der nicht gelockerten Bodenprobe,
 $P_{\circ u}$ den der gelockerten Bodenprobe
 bedeuten.

Für den Lockerungseffekt ist auch die relative Anhebung der Bodenoberfläche kennzeichnend. Dabei beträgt die Porenanteilzunahme:

$$\Delta P = \frac{\Delta h}{h + \Delta h} \cdot 100(\%), \quad (3)$$

wobei h die Lockerungstiefe,
 Δh die Steigung der Bodenoberfläche
 bedeuten.

3.2. Zugkraftbedarf der Lockerer

Untergrundlockerer haben einen großen Zugkraftbedarf. Zuzufolge der großen Bodenbearbeitungstiefe wird eine bedeutende Bodenmenge aufgelockert. Neben den Verformungs-, Krümelungs- und Lockerarbeiten erfordert auch das Schneiden des Bodens beträchtliche Energie. Wegen der konstruktiven Ausbildung sind auch große Reibungsflächen vorhanden, durch die der Werkzeugwiderstand ebenfalls erhöht wird.

3.2.1. Widerstand des senkrechten Messers und Schwertes

Ein wesentlicher Teil des Zugkraftbedarfs des Untergrundlockerers wird durch den Widerstand des senkrechten Messers und Schwertes erzeugt, daher ist auf deren richtige Gestaltung großes Gewicht zu legen.

Der Schnittwiderstand des Bodens läßt sich genau nicht berechnen. Die Bodenstrukturen sind nämlich unterschiedlich, wobei sich der physikalische Zustand unter Witterungseinfluß fortwährend verändert.

Mit Untersuchungen über das Schneiden von Böden haben sich zahlreiche Forscher beschäftigt [4—7]. Die von ihnen erarbeiteten empirischen oder halbempirischen Beziehungen lassen sich für die Ausbildung der Werkzeuge, für die Wahl der Parameter verwenden, zur zahlenmäßigen Ermittlung des Widerstandes sind sie jedoch — wegen der obigen Überlegungen — ungeeignet.

Das senkrechte Messer des Untergrundlockerers ist ein keilförmiges Werkzeug.

Der Keilwiderstand setzt sich nach GORJATSCHKIN aus zwei Kraftwirkungen zusammen (Abb. 4a):

$$P = P_1 + P_2 = 2 N \sin \frac{\alpha}{2} + 2 \mu N \cos \frac{\alpha}{2} \quad (4)$$

wobei P_1 die Komponente der Kraftwirkung (N) in Schnittrichtung aus dem auf die Keilfläche wirkenden Erddruck,

P_2 die Komponente in Schnittrichtung der durch die obige Kraftwirkung erzeugten Reibungskraft ($T = \mu N$),

μ den Reibungskoeffizienten zwischen Boden und Keil

bedeuten.

Hinter dem senkrechten Messer des Untergrundlockerers ist aus Festigkeitsgründen ein parallelseitiges Schwert angebracht. Mit dem Schwert hat das Werkzeugprofil den in Abb. 4b dargestellten fünfeckigen Keilquerschnitt.

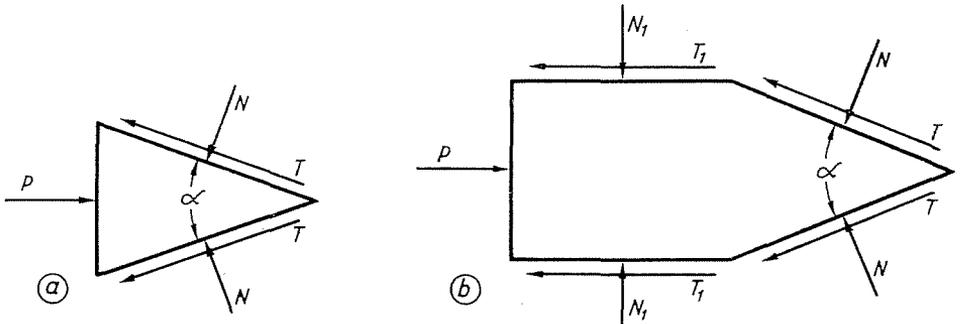


Abb. 4. Kraftwirkung auf den Keil

In diesem Falle wird der Schnittwiderstand auch durch die vom Erddruck (N_1) auf die parallelen Seiten erzeugte Reibung erhöht:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 2 N \sin \frac{\alpha}{2} + 2 \mu N \cos \frac{\alpha}{2} + 2 \mu N_1. \quad (5)$$

Die Normalkräfte N und N_1 sind der Fläche des Keils bzw. den parallelen Seiten proportional:

$$N = k_1 F_1, \quad \text{bzw.} \quad N_1 = k_2 F_2, \quad (6)$$

wo k_1 der spezifische Widerstand der Bodenverformung,

F_1 die Keilfläche,

k_2 der spezifische Erddruck auf die Seitenfläche,

F_2 die Seitenfläche

bedeuten.

Die Ausdrücke in (6) in die Gl. (5) eingesetzt, ergibt sich der Schnittwiderstand zu

$$P = 2k_1 F_1 \left(\sin \frac{\alpha}{2} + \mu \cos \frac{\alpha}{2} \right) + 2k_2 \mu F_2 \quad (7)$$

Die Faktoren k_1 und k_2 haben keinen ständigen Wert, sondern ändern sich mit der Bodenverformung. k_1 bezieht sich auf die gesamte Bodenverformung, die teils elastisch, teils plastisch ist. Der spezifische Druck k_2 auf die Seitenflächen wird durch die elastische Verformung des Bodens verursacht. Die Bodenverformungswerte für die Bestimmung der Faktoren k_1 und k_2 lauten [6]:

$$l_{ek} = \frac{s}{4 \cos \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right)}, \tag{8}$$

$$l_{old} = \frac{s}{2 \cos \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right)}, \tag{9}$$

wo s die Stärke des Messers,

$$\varphi = \arctg \mu$$

ist.

Der Verlauf von k_1 und k_2 in Abhängigkeit von der Bodenverformung ist nach den Messungen von KOSTJAKOW in einem Lehm Boden in Abb. 5 dargestellt. Aus der Abbildung läßt sich feststellen, daß (bei gleichen Abschrägungswinkeln der Werkzeuge)

a) der spezifische Widerstand k_1 der Bodenverformung mit der Vergrößerung der Werkzeugbreite hyperbolisch abnimmt,

b) der spezifische Druck k_2 auf die Seitenflächen mit Vergrößerung der Werkzeugbreite parabolisch zunimmt.

Gemäß den Gleichungen (8) und (9) ist die Bodenverformung bei gleicher Werkzeugbreite vom Abschrägungswinkel des Werkzeugs abhängig. Der Verlauf der Komponenten P_1 und P_2 in Abhängigkeit vom Abschrägungswinkel

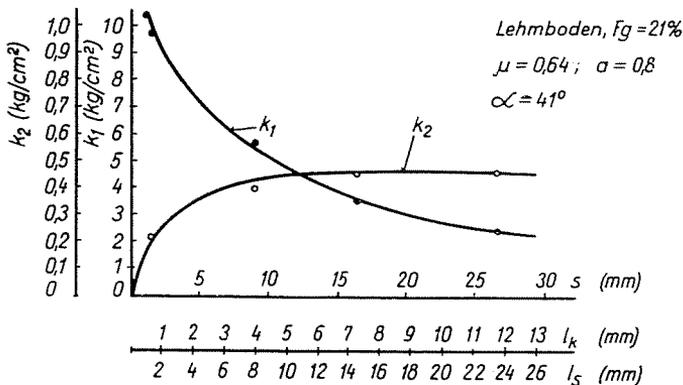


Abb. 5. Verlauf der Faktoren k_1 und k_2 in Abhängigkeit von der Bodenverformung

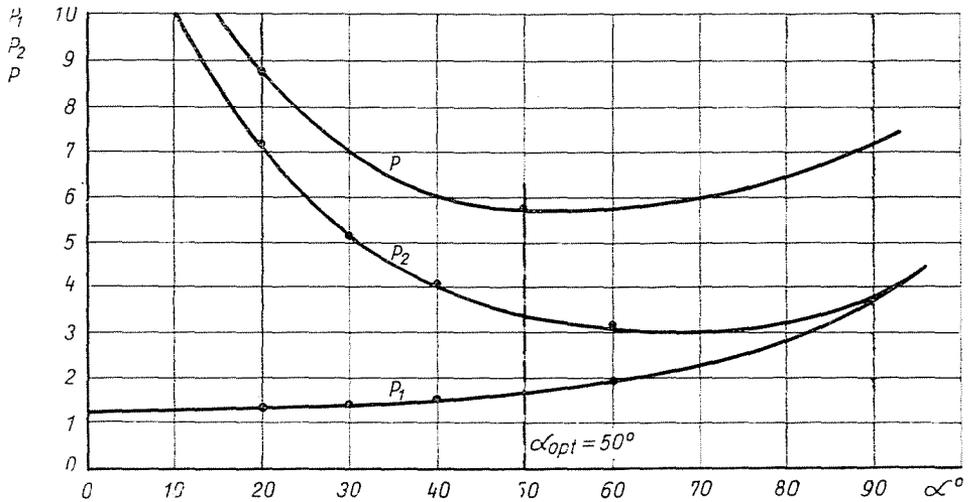


Abb. 6. Der Schnittwiderstand in Abhängigkeit vom Abschrägungswinkel

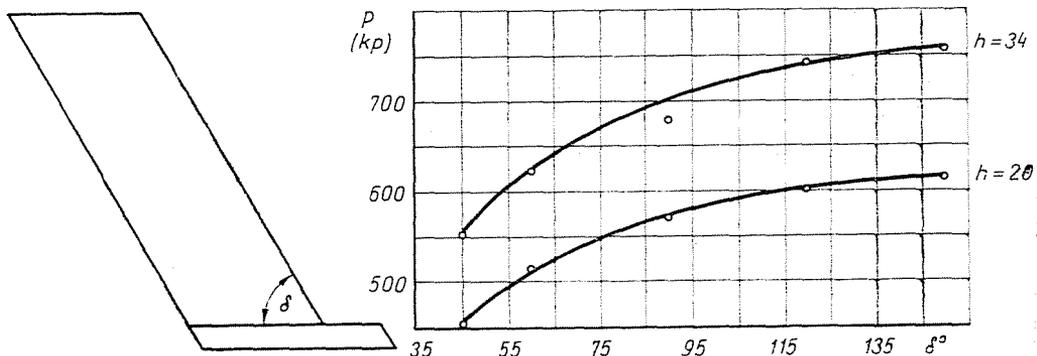


Abb. 7. Der Schnittwiderstand in Abhängigkeit vom Anstellwinkel

wird in Abb. 6 gezeigt. Man findet den Abschrägungswinkel, der den geringsten Widerstand gewährleistet, in der Umgebung der Minimalsumme der beiden Komponenten. Nach zahlreichen Versuchen in verschiedenartigen Böden gilt

$$\alpha_{opt} = 40 \text{ bis } 50^\circ.$$

Der Widerstand des senkrechten Messers ändert sich auch mit dem Anstellwinkel der Schneide [7]. Das Ergebnis von Versuchen in Moorboden ist in Abb. 7 dargestellt. Wird der durch die Schneide mit der Horizontalen gebildete Winkel kleiner, nimmt der Widerstand ab.

Auch bei einer Krümmung der Schneide nach vorne erhält man ein ähnliches Ergebnis. Von MATSCHANOW wird in [8] für die günstigste Messerform die Ausbildung nach Formel

$$y = 0,2 (x - x \ln x - 1) \tag{10}$$

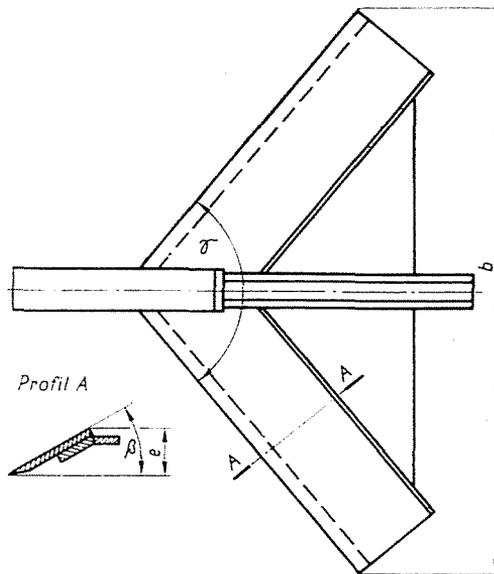


Abb. 8. Kennmaße der Lockerflügel

vorgeschlagen. Er stellte durch Versuche fest, daß der Schnittwiderstand von Messern nach Gl. (10) um 20 bis 30% geringer ist als jener von geraden Messern mit den gleichen Abmessungen.

3.2.2. Widerstand der Lockerflügel

Die Lockerflügel sind ähnlich wie die der Kultivatorwerkzeuge ausgebildet (Abb. 8). Durch die Flügelschneiden wird symmetrisch zur Bewegungsrichtung der Winkel γ gebildet, der Normalschnitt der Schneide bildet mit der Horizontalebene den Winkel β .

Auch der Lockerflügel hat — ähnlich wie das senkrechte Messer — eine Keilfläche. Für geringere Bearbeitungstiefen wurde die Arbeit von ebenflächigen, geraden Keilen mehrfach untersucht [5, 7]. Bei diesen Untersuchungen wurden auch viele vereinfachenden Bedingungen berücksichtigt. Aus den Ergebnissen lassen sich für die Gestaltung der Lockerflügel folgende Schlüsse ziehen:

a) Der Winkel β ist so zu wählen, daß die Bodenteile an der Keilfläche abgleiten ($\beta = 20-30^\circ$).

b) Zur Erzielung eines geringen Reibungskoeffizienten muß die Keiloberfläche hartvergütet werden (60—65 HR_c).

c) Um den Keilwiderstand zu vermindern, ist für Anschärfen zu sorgen.

d) Die Reibungsflächen sollen womöglich klein sein. Die für die Festigkeit erforderlichen Querschnitte dürfen an der Reibung nicht beteiligt sein.

e) Um den Reibungswiderstand der Stützflächen zu vermindern, empfiehlt es sich, rollende Bauteile zu verwenden (z. B. Stützrad anstatt Gleitbacke).

Der Widerstand der Lockerflügel setzt sich im wesentlichen aus drei Komponenten zusammen:

a) aus dem Schnittwiderstand,

b) aus dem Reibungswiderstand,

c) aus der für die Hebung des Bodens erforderlichen Förderenergie.

Die Komponenten unter a) und b) lassen sich ähnlich wie der Messerwiderstand analysieren. Die Größe der Komponente c) wird — bei optimaler Wahl der Werkzeugwinkel — durch die Hubhöhe bestimmt. Diese ist wiederum so zu wählen, daß sich mit dem Werkzeug die erforderliche Lockerwirkung erzielen läßt.

Um die günstigsten Werte für diese Parameter auszuwählen, wurden vom Verfasser Feldversuche mit Lockerflügeln verschiedener Abmessungen unternommen.

4. Der Untersuchungsverlauf

Der Zugkraftbedarf der Untergrundlockerer wurde in sandigem Lehmboden ermittelt, u. zw. auf einem im Vorjahr bearbeiteten, in 25 cm Tiefe gepflügten Gemengefutter-Stoppelfeld.

Bindigkeitsziffer nach ARANY: 32—34

Raumgewicht vor der Lockerung:

in der Oberschicht: 1,45—1,50,

in der unteren Schicht in etwa 50 bis 60 cm Tiefe: 1,50—1,55

Mit dem Mittelwert der Raumgewichte gerechnet, beträgt der Gesamtporenanteil vor der Lockerung: $P_{\text{öe}} = 43\%$ bzw. 41,5%.

4.1. Zweck der Untersuchungen

Durch die Untersuchungen sollten der Zugkraftbedarf und die Lockerwirkung der Lockergeräte in Abhängigkeit von folgenden Parametern ermittelt werden:

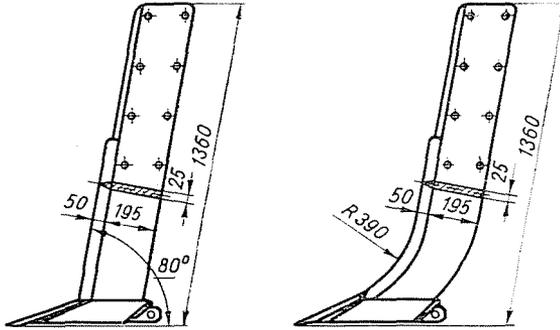


Abb. 9. Abmessungen von geraden und gekrümmten Schwertern

- a) Flügelänge (bei symmetrischen Flügeln),
- b) Flügelöffnungswinkel,
- c) Flügelanstellwinkel sowie
- d) Widerstand des senkrechten Schwertes in Abhängigkeit von der Schneidtiefe und der Schwertform.

4.2. Werkzeugparameter

Die untersuchten Untergrundlockerwerkzeuge sind auf gerade und gekrümmte senkrechte Schwerte mit dem Horizontalquerschnitt 195×25 mm montiert. Vor dem Schwert ist ein symmetrisch eingestelltes Messer gleicher Breite mit einem Schneidewinkel von 28° angebracht. Die Bewegungsrichtung des geraden Schwertes und des Messers bildet mit der Horizontalen einen Winkel von 80°. Der obere Teil des gekrümmten Schwertes beginnt ebenfalls mit einem Winkel von 80°, um sich dann in einem Kreis mit dem Radius $R = 390$ mm nach vorne fortzusetzen (Abb. 9).

Die Abmessungen der symmetrisch angeordneten Flügel sind — mit den Beziehungen in Abb. 8 — in der Tabelle I angegeben.

Tabelle I

Flügelänge <i>b</i> (cm)	Anstellwinkel (β)	Öffnungswinkel (γ)	Bemerkung
40	25° 40°	86°	verschleißt
70	34° 26°	70° 86°	rechts und links aus zwei getrennten Teilen
100	35°	106°	rechts und links aus zwei getrennten Teilen

4.3. Zugkraftmessungen

Die Zugkraft des Anhänger-Untergrundlockerers wurde mit Hilfe eines auf einen Schlepper D4K-B mit Vierradantrieb montierten, besonderen Meßrahmens gemessen. Die Zugkraft wurde mit einem hydraulischen Dynamographen der Firma Amsler erfaßt. Numerisch wurde die Zugkraft durch Planimetrieren der Zugkraftdiagramme (Abb. 10) ermittelt. Mit den Bezeichnungen in Abb. 10 gilt für die mittlere Zugkraft:

$$P_k = k \frac{T}{s} \text{ (kp)}$$

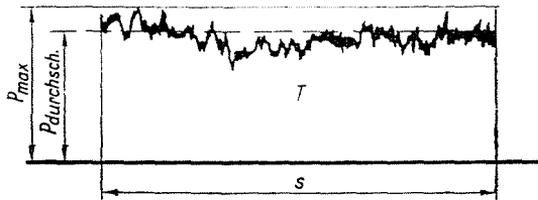


Abb. 10. Zugkraftdiagramm

wo k die zum Einheitsfederdruck gehörende Zugkraft ist.

Die Länge des Diagramms entspricht einer Meßstrecke von 50 m.

4.4. Lockerungsmessungen

Das Lockerungsmaß wurde durch Messung der Änderung des Gesamtporenanteils ermittelt. Vom Meßgelände wurden mehrfach Bodenproben entnommen. Die Bodenprobeentnahme erstreckte sich bis zu einer Tiefe von 60 cm. Für die Ermittlung des Gesamtporenanteils wurden die Proben ausgetrocknet. Durch dieselben Messungen wurde auch der Feuchtigkeitsgehalt im Boden bestimmt. Die an verschiedenen Stellen der gelockerten Profile entnommenen Proben wurden in ähnlicher Weise behandelt. Der Porenanteil wurde anhand von Gl. (1), die Lockerung von (2) berechnet. Die Gesamtporenanteile des Bodenprofils vor und nach der Lockerung ergaben sich — als Durchschnitt mehrerer Messungen — wie in Abb. 11 dargestellt. Der Gesamtporenanteil im ungelockerten Boden ist in der oberen, gepflügten Schicht höher als in der darunter liegenden Schicht. Die stärkere Verminderung bei der Pflugsohle (in einer Tiefe von etwa 25 cm) läßt sich gut wahrnehmen. Nach der Lockerung entsteht ein umgekehrter Zustand. Die Pflugsohle wird durch das Lockergerät durchbrochen, wobei es das gesamte darüber liegende Bodenprofil anhebt. Nach der Überfahrt des Werkzeuges fällt der

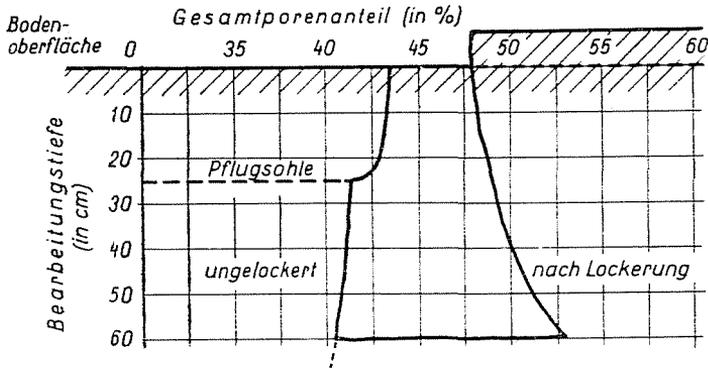


Abb. 11. Gesamtporenanteil in Abhängigkeit von der Tiefe

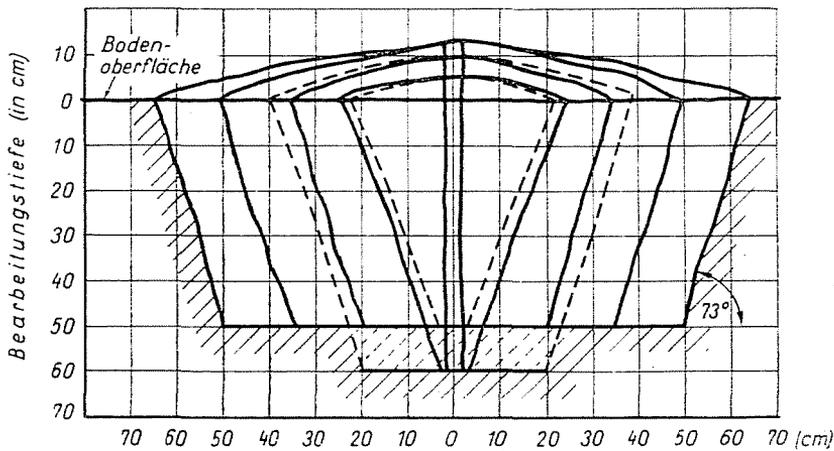


Abb. 12. Abmessungen des gelockerten Bodenprofils

angehobene Boden zurück. Das trifft in höchstem Maße für die unterste Bodenschicht zu, deren Porenanteil augenblicklich der größte ist.

Unter verschiedenen Einflüssen (Bodengewicht, Niederschläge, Raddruck usw.) verdichtet sich mit der Zeit auch die Unterschicht wieder, doch wird sie ihren ursprünglichen Zustand erst nach mehreren Jahren wieder erreichen.

4.5. Bestimmung der Abmessungen des gelockerten Bodenprofils

Die Abmessungen des aufgelockerten Bodenprofils wurden durch Profilgrabung ermittelt. An einer bestimmten Stelle des Meßabschnitts wurde aus dem gelockerten Profil der Boden in einer Länge von 50 bis 80 cm, mit einem breiteren Querschnitt als das gelockerte Profil, ausgehoben. Es wurde die Grenzlinie zwischen gelockertem und ungelockertem Boden aufgesucht, die Abmessungen wurden ermittelt und aufgezeichnet. Die mit Hilfe von Locker-

flügeln verschiedener Längen aufgelockerten Profile sind in Abb. 12 zusammengefaßt. Aus der Abbildung läßt sich die höhere Lockerwirkung der längeren Flügel entnehmen, die der größeren Hubhöhe der Flügel von 70 bis 100 cm Länge zu verdanken ist.

Der Brechwinkel des Bodens betrug in sämtlichen Fällen 73° . Dieser Winkel ändert sich selbstverständlich je nach Bodenart.

5. Untersuchungsergebnisse

Die bei der Untersuchung des Zugkraftbedarfs der Untergrundlockerer erzielten Ergebnisse können in Abhängigkeit von den in Abschnitt 4.1 genannten Parametern wie folgt zusammengefaßt werden.

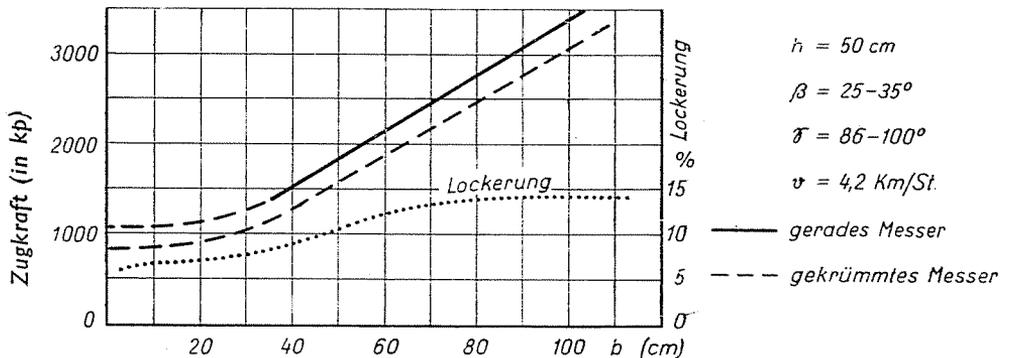


Abb. 13. Mittlere Zugkraft und Lockerung in Abhängigkeit von der Flügelänge

5.1. Verlauf von Zugkraft und Lockerung in Abhängigkeit von der Flügelänge

Der Zugkraftbedarf und die Lockerwirkung der Lockerflügel mit den in Tabelle I angegebenen Abmessungen ändern sich, wie es in Abb. 13 dargestellt ist. Die in Abhängigkeit von der Flügelänge gemessenen Werte gehören zu einer Lockertiefe von $h = 50 \text{ cm}$, da mit dem Werkzeug mit der Flügelänge $b = 100 \text{ cm}$ — wegen des hohen Zugkraftbedarfs — keine Lockerung in größerer Tiefe durchgeführt werden konnte. Die numerischen Werte für mittlere Zugkraft und Lockerung sind in Tabelle II zusammengefaßt.

Aus Abb. 13 läßt sich feststellen, daß — bei den vorliegenden Abmessungen — die Zugkraft mit der Flügelänge linear zunimmt. Unter Anwendung von längeren Flügeln wurde eine energischere Lockerung erzielt, ein Umstand, der sich dadurch erklären läßt, daß die Flügel von 70 und 100 cm Länge eine Breite von 120 mm haben, also bei demselben Anstellwinkel eine größere Hubhöhe im Vergleich zum 40 cm langen Flügel mit nur 80 cm Breite auf-

weisen. Aus dem Diagramm ist zu erkennen, daß die Flügel auf gekrümmten Schwertern einen um 12 bis 15% kleineren Zugkraftbedarf haben als die auf geraden Schwertern.

Tabelle II

Flügelänge in cm	Zugkraft in kp		Lockerung in %		Bemerkung
	gerades Schwert	gekrümmtes Schwert	gerades Schwert	gekrümmtes Schwert	
0	1100	850	6	6	vorne, 70 mm breiter Keil
40	1450	1200	8	8,5	
70	2500	2250	11-14	12-15	
100	3300	2950	13	14	

Bodenfeuchtigkeitsgehalt: in der oberen Schicht: 3,5-4,0%
 in der unteren Schicht: 4,5-6,5%
 Fahrgeschwindigkeit: $v = 4.2 \text{ km/h}$.

5.2. Zugkraft und Lockerung in Abhängigkeit vom Öffnungswinkel

Die mittlere Zugkraft und Lockerung sind in Abhängigkeit vom Öffnungswinkel der Flügel in Abb. 14 dargestellt. Die Zugkraft der Flügel mit größerem Öffnungswinkel — im Bereich von 70 bis 100° — nimmt in geringem Maße zu. In der Lockerung wird keine praktisch meßbare Änderung verzeichnet. Das erklärt sich aus dem Umstand, daß die Hubhöhe der untersuchten Lockerflügel — bei veränderlichem Öffnungswinkel — dieselbe blieb. Der Lockerungseffekt wird aber in erster Reihe durch die Höhe der Bodenhebung bestimmt. Die Meßergebnisse sind in Tabelle III zusammengefaßt.

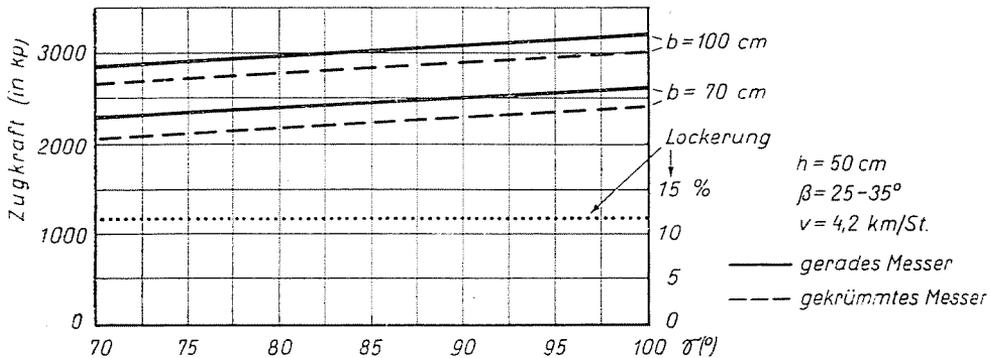


Abb. 14. Mittlere Zugkraft und Lockerung in Abhängigkeit vom Öffnungswinkel

Tabelle III

Flügelänge in cm	Öffnungs- winkel (°)	Zugkraft in kp		Lockerung in %	
		gerades Schwert	gekrümmtes Schwert	gerades Schwert	gekrümmtes Schwert
70	70	2200	2050	12	12
	86	2500	2250	12	12
100	100	3300	2950	13	13

Bodenfeuchtigkeitsgehalt: in der oberen Schicht: 3,5–4,0%

in der unteren Schicht: 4,5–6,5%

Fahrgeschwindigkeit: $v = 4,2$ km/h.

5.3. Zugkraft und Lockerung in Abhängigkeit vom Anstellwinkel

Diese Untersuchung wurde mit Werkzeugen von 70 cm Flügelänge durchgeführt. Die Meßergebnisse zeigt Abb. 15. Aus den Meßergebnissen ist zu entnehmen, daß sich weder die Zugkraft noch die Lockerung im gegebenen Bereich ($\beta = 26$ bis 34°) wesentlich änderten.

5.4. Zugkraftverlauf in Abhängigkeit von der Lockerungstiefe und Schwertform

Die Zugkraft der Lockerflügel verläuft in Abhängigkeit von der Lockerungstiefe gemäß Abb. 16. Durch die volle Linie ist der Widerstand der auf ein gerades Schwert montierten, durch die gestrichelte Linie jener der Flügel auf einem gekrümmten Schwert veranschaulicht.

In der Abbildung sind die Mittelwerte der Zugkraft angegeben. Das Maximum des Zugkraftverlaufs ist nicht eingezeichnet. Die höchsten Spitzen-

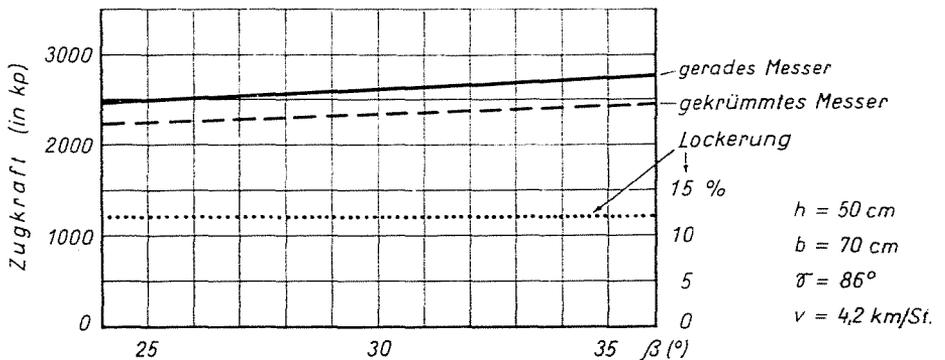


Abb. 15. Mittlere Zugkraft und Lockerung in Abhängigkeit vom Anstellwinkel

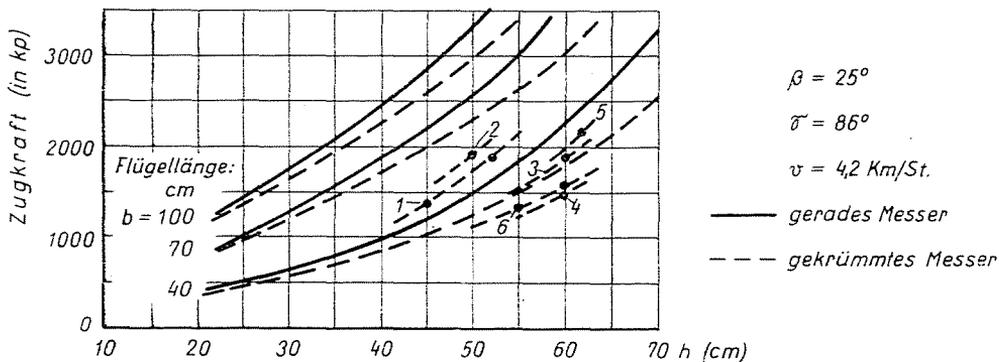


Abb. 16. Mittlere Zugkraft und Lockerung in Abhängigkeit von der Lockertiefe

werte waren bei sämtlichen Messungen um 10 bis 15% über den mittleren Zugkraftwerten, doch kommen sie mit einer verhältnismäßig geringen Häufigkeit vor. Nach Abb. 16 nimmt die Zugkraft mit der Lockerungstiefe in steigender Potenz zu. Die Meßergebnisse sind in Tabelle IV zusammengefaßt.

Aus Abb. 16 läßt sich feststellen, daß Lockerflügel auf gekrümmtem Schwert bei größeren Lockerungstiefen eine um 12 bis 15% geringere Zugkraft erfordern. Die Lockerflügel auf gekrümmtem Schwert stehen etwas vor, deshalb wird durch das senkrechte Messer und das Schwert ein bereits gelockerter Boden mit geringerem Schnittwiderstand geschnitten. Dabei ist der Zug-

Tabelle IV

Flügelgröße in cm	Lockerungstiefe in cm		Zugkraft in kp	
	gerades Schwert	gekrümmtes Schwert	gerades Schwert	gekrümmtes Schwert
40	22	30	400	500
	35	43	750	950
	45	50	1200	1200
	56	60	1850	1750
	60	65	2150	2100
	70	70	3200	2500
70	25	29	1000	1160
	36	—	1500	—
	46	45	2100	2000
	50	—	2500	—
	56	60	3100	3000
100	25	31	1500	1750
	34	42	2000	2450
	50	51	3250	3000

Bodenfeuchtigkeitsgehalt: in der oberen Schicht: 3,5—4,0%
 in der unteren Schicht: 4,5—6,5%
 Fahrgeschwindigkeit: 4,2 km/h.

kraftbedarf eines gekrümmten Messers auch zufolge des günstigeren Anstellwinkels kleiner. Abb. 16 enthält noch weitere Meßpunkte. Die verschiedenen Meßergebnisse liefern Anhaltspunkte für eine zweckmäßigere Gestaltung vor allem des senkrechten Schwertes und des Messers. Die geraden und gekrümmten Schwerter wurden ohne Flügel mit einem 70 mm breiten Vorderkeil von 25° bei einer Lockertiefe von 60 cm untersucht. Der mittlere Zugkraftbedarf betrug 1 850 bzw. 1 450 kp (Punkte 3 und 4). Aus den Meßergebnissen geht hervor, daß durch 40 cm lange Flügel die Zugkraft dem vorigen Wert gegenüber lediglich um 300 bis 350 kp erhöht wird.

Der Zugkraftbedarf des geraden Schwertes ohne Lockerkopf und Messer gibt ein besonders interessierendes Bild. Nach Punkt 2 ist bei einer Schnitt-Tiefe von 50 cm eine Zugkraft von 1 900 kp erforderlich, also eine um fast 20% größere Zugkraft als für Lockerwerkzeuge mit 40 cm Flügellänge auf geradem Schwert, die in der gleichen Tiefe arbeiten.

Wegen des auf die Seitenfläche des senkrechten Schwertes wirkenden Erddrucks tritt ein bedeutender Widerstand auf, wobei der untere Teil des Schwertes durch den stärksten Druck beansprucht wird. An dieser Stelle wurde bei den Versuchen der Anstrich früher abgerieben, wobei die Oberfläche Glanz bekam. Es erscheint also zweckmäßig, die dem höchsten Druck ausgesetzte Fläche der Schwerte zu vermindern. Die Reibungsfläche wurde durch Wegschneiden von beiden Schwertern um etwa $\frac{1}{3}$ vermindert. Die Schwerter wurden zu Formen gleicher Festigkeit ausgebildet, um den Querschnitt mit dem größten Biegemoment nicht zu vermindern. Die Zugkraft der auf diesen Schwertern angeordneten Werkzeuge mit 40 cm Flügellänge gestaltete sich nach den Punkten 5 und 6. Bei beiden Werkzeugen ist der in derselben Tiefe gemessenen Zugkraft von Werkzeugen mit vollem Schwertquerschnitt gegenüber eine Zugkraftverminderung von etwa 300 kp zu verzeichnen. Die Zugkraftabnahme beträgt 10 bis 12%.

Auch von dem geraden, beschnittenen Schwert wurde der Kopf abmontiert und sein Zugkraftbedarf gemessen. Auch in diesem Falle ist die Zugkraft höher als bei einem in derselben Tiefe arbeitenden Werkzeug mit 40 cm Flügellänge, doch in geringerem Maße (Punkt 1), als beim ursprünglichen Schwert.

6. Schlußfolgerungen

In den vorstehenden Ausführungen wurde ein kurzer Überblick über die Vorteile der tiefen Bodenbearbeitung, und in deren Rahmen der Untergrundlockerung gegeben. Aufbau und Arbeit der Untergrundlockerer wurden beschrieben. Die Widerstandskomponenten der Lockergeräte wurden analysiert und anhand von theoretischen Überlegungen und im Laufe der Versuche gemachten Erfahrungen wurden Parameter für die Ausführung derartiger Werkzeuge vorgeschlagen.

Es wurden Feldversuche mit dem vorhandenen Untergrundlockerer ungarischer Fertigung unternommen, aus denen man folgende Schlußfolgerungen ziehen darf:

1. Es scheint zweckmäßig zu sein, die Länge der Lockerflügel größer zu wählen. Diese Feststellung ist dadurch gerechtfertigt, daß für die Lockerung gleicher Breite eine geringere senkrechte Schwertlänge erforderlich ist. Ein bedeutender Teil der Zugkraft entsteht nämlich aus dem Widerstand des senkrechten Messers und Schwertes.

2. Die Lockerflügel sollen zweckmäßigerweise einen Öffnungswinkel von 80 bis 100° haben. Durch einen größeren Öffnungswinkel wird zwar die Zugkraft um einen geringfügigen Wert erhöht, doch ist der Werkstoffaufwand günstiger.

3. Die Lockerflügel werden am günstigsten in einem Anstellwinkel von 25° eingestellt. Bei einer geeigneten Flügelbreite läßt sich mit einem Werkzeug in diesem Anstellwinkel eine befriedigende Auflockerung erzielen, da letztere vor allem von der Werkzeughubhöhe abhängig ist. In ähnlichen Böden wie im Versuch ergeben Hubhöhen von 50 bis 60 mm eine hinreichende Auflockerung. Wegen der gleichmäßigeren Einzugwirkung ist ein Werkzeug mit kleinerem Anstellwinkel standfester.

4. Eine gekrümmte Form des senkrechten Messers und Schwertes ist günstiger. Nach den Meßergebnissen unterschreitet die Zugkraft der Lockerflügel auf gekrümmtem Schwert um etwa 12 bis 15% die Zugkraft der Flügel auf geradem Schwert.

5. Um die Reibung an den Seitenflächen des senkrechten Schwertes zu vermindern, ist eine Form gleicher Festigkeit zu wählen.

6. Ist das senkrechte Messer um einige (5 bis 7) mm breiter als das Schwert, läßt sich die Zugkraft noch weiter herabsetzen.

7. Der Teilungsabstand der Flügellockerer kann aus den Abmessungen des aufgelockerten Bodenprofile bestimmt werden. Bei einer Lockerungstiefe von 50 cm liegt der Teilungsabstand — in ähnlichen Böden wie im Versuch — 30 bis 40 cm über der Flügellänge.

8. Die Tiefeneinstellung erfolgt zweckmäßig durch den Einsatz von genügend breiten Stützrädern mit geeignetem Durchmesser, weil diese einen geringeren Rollwiderstand aufweisen als die Reibung der Gleitbacken.

Zusammenfassung

Im Beitrag werden einführend die Vorteile der Tiefbearbeitung, der Untergrundlockerung sowie die Wirkungen auf die Bodeneigenschaften behandelt. Aufbau des Untergrundlockerers und die Arbeit der Lockerwerkzeuge werden beschrieben. Die Komponenten der Werkzeugwiderstände werden analysiert. Anhand von theoretischen Überlegungen und praktischen Erfahrungen werden Vorschläge für die Gestaltungsparameter derartiger Werkzeuge gemacht. Die Ergebnisse von Feldversuchen des Verfassers mit einem Untergrundlockerer ungarischer Herstellung mit Lockerflügeln werden zusammengefaßt. Aus den Versuchsergebnissen werden für die Weiterentwicklung der Untergrundlockerer und ihrer Werkzeuge neue Schlüsse gezogen.

Literatur

1. SIPOS, G.: Landbaulehre.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1962.
2. DVORACEK, M., DVORACEK, F.: Wirkung und Wirkungsmechanismus der Untergründlockerung auf Sandböden.* Agrokémia és talajtan **10**, 67—81 (1961).
3. KÉGL, L.: Kurze Zusammenfassung der Grundlagen der Bodenkunde aus der Sicht der Bodenbearbeitungsmaschinen.* MFI 1956.
4. SITKEI, GY.: Bodenmechanische Probleme der Landmaschinen.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1967.
5. GORJATSCHKIN, W.: Sbornie sotschienenij, Moskau 1965.
6. KOSTRIZIN, A.: Resanie sprosnoj gruntowej sredy noshami i konusami. Sbornik trudow po seml. mech. Tom III. 1956.
7. SAGALTSCHIK, W.: Kopanie torfjanogo grunta pri prokladke osuschitelnoj seti. Woprosy s/ch mechaniki. Tom XII. Minsk 1964.
8. MATSCHANOW, W.: Mechanisazija i elektrifikazija w s/ch. **1**, 19—20. 1969.
9. SÖHNE, W.: Einige Grundlagen für eine landtechnische Bodenmechanik. Grundlagen der Landtechnik. H. 7, 1956.
10. RÁZSÓ, I. Red.: Theorie der Landmaschinen I.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1958.
* In ungarischer Sprache.

Jenő BALATON, Budapest XI., Bertalan Lajos u. 1, Ungarn