

Zur Ermittlung des Zerkleinerungsergebnisses beim Bodenbearbeiten

Prof. Dr.-Ing. R. Soucek, KDT/Dr.-Ing. S. Anisch, KDT/Dipl.-Ing. R. Büschel, KDT
Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

1. Einleitung

Die mechanische Bodenbearbeitung hat auch zukünftig große Bedeutung für die Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit.

Auf bindigen Böden ist die Zerkleinerung des abgesetzten Bodens oder großer Bodenaggregate (Schollen, Klumpen, Kluten) ein Hauptziel der Saatbettbereitung. Je nach Bodenbedingungen und Klimafaktoren ist für ein bestimmtes Saatgut die günstigste Zusammensetzung der Aggregatgrößen zu schaffen, wobei auch deren räumliche Anordnung zu beachten ist.

Im praktischen Ackerbau gibt es kaum eine ideale, genau definierbare Struktur für eine Pflanze, sondern immer nur einen mehr oder weniger breiten Strukturbereich, in dem sich die Pflanze gut entwickeln kann [1]. Von dieser Feststellung ausgehend, ergibt sich die Frage, wie man den für das Wachstum der Pflanze günstigsten Strukturbereich kennzeichnet.

Nach den Normativen für die Bodenbearbeitung [2] sind folgende standort- und fruchtartenspezifische Parameter bedeutsam:

- Lagerungsdichte
- Ebenheit
- Aggregatgrößenzusammensetzung
- Rückstandsbesatz.

Ein wesentlicher Parameter zur Kennzeichnung des Arbeitsergebnisses ist die Aggregatgrößenzusammensetzung. Im Ergebnis der Bodenbearbeitung erhält der Boden eine Krümelstruktur, die maßgebend die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Bodens bestimmt und damit Ertrag und Qualität der Produkte wesentlich beeinflusst [3].

Die Krümelung ist eine der wichtigsten Aufgaben der Bodenbearbeitung, da von ihr folgendes abhängt [4]:

- die innere Oberfläche des Bodens und damit die Stärke der biologischen und chemischen Vorgänge
- die Größe und Anzahl der luftführenden Poren und somit das Verhältnis der Wasserkapazität zur Luftkapazität

- die Feinheit des Saatbetts, wobei eine Umhüllung der Samen mit Feinkrümeln deren Keimung fördert.

2. Derzeitige Verfahren zur Bestimmung des Zerkleinerungsergebnisses

In der landwirtschaftlichen Praxis ist die Bonitur das derzeit ausschließlich angewendete Verfahren zum Bestimmen der Aggregatgrößenzusammensetzung. In der landtechnischen Forschung wird neben der Bonitur auch die Siebanalyse angewendet.

● Bonitur

Die Bonitur ist ein Schätzverfahren, bei dem man sich eines Gitterrahmens als Hilfsmittel bedient. Der Gitterrahmen (Bild 1) wird auf die Bodenoberfläche aufgelegt. Dadurch kann sich der Schätzer beim Bestimmen des prozentualen Flächenanteils der auf der Bodenoberfläche liegenden Bodenaggregate, die in unterschiedliche Größenklassen eingeordnet werden, besser orientieren. Das sind nach den Gütevorschriften für Arbeiten der Pflanzenproduktion (Standard TGL 33738) die Größenklassen ≤ 10 mm, 10 bis 40 mm, 40 bis 80 mm und > 80 mm. Die von unterschiedlichen Schätzern durch die Bonitur gewonnenen Ergebnisse sind subjektiv und untereinander schlecht vergleichbar.

In der Landwirtschaft wird die Bonitur in den nächsten Jahren noch Anwendung finden. Für die landtechnische Forschung, besonders für die Bewertung und den Vergleich von Arbeitsorganen, ist sie ungeeignet.

● Siebanalyse

In zahlreichen landtechnischen Forschungseinrichtungen wird die Siebanalyse zur Kennzeichnung des Arbeitsergebnisses genutzt. Sie wurde aus der Aufbereitungstechnik übernommen. Überwiegend wird mit Planprüfsieben gearbeitet, deren Lochdurchmesser nach einer geometrischen Reihe gestuft sind. Ein Siebsatz enthält z. B. Siebe mit dem Lochdurchmesser von 80, 40, 20, 10 und 5 mm sowie ein Blindsieb (Bild 2).

Bei einer Siebung wird die Bodenprobe auf

das Obersieb (80 mm) aufgegeben und der Siebsatz in eine in der Siebebene schwingende Bewegung versetzt. Um zusätzliche Zerkleinerung und Abrieb während des Siebens zu vermeiden, ist die Probe schonend zu behandeln und die Anzahl der Schwingungen auf ein Mindestmaß zu beschränken. Über die Bestimmung der Masse in den einzelnen Fraktionen lassen sich die Rückstands- und Durchgangsfunktion bestimmen und Aussagen über die Aggregatgrößenzusammensetzung sowie deren Verteilungsgesetze treffen.

Trotz der geringen Geräte- und Verfahrenskosten sowie ihrer einfachen Handhabung weist die Siebanalyse mit dem Rundlochsiebsatz folgende Nachteile auf:

- großer Gesamtfehler (rd. 10 %)
- hoher Arbeitszeitaufwand je Siebung
- subjektive Einflüsse auf das Meßergebnis durch das Bedienpersonal
- hoher Abrieb bzw. zusätzliche Zerkleinerung der Bodenaggregate infolge der scharfkantigen Öffnungen der Siebflächen und der Fallstufen im Siebsatz
- Abhängigkeit der Meßergebnisse von der Zerfallsbereitschaft des Bodens.

Für die in der Forschung benötigte Genauigkeit ist dieses Verfahren nur bedingt anwendbar. Deshalb wurden Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, in der Korngrößenmeßtechnik bekannte Verfahren auf ihre Anwendbarkeit zur Bestimmung der Aggregatgrößenzusammensetzung des Bodens zu prüfen, anzupassen oder weiterzuentwickeln. Dabei wurde von folgenden Anforderungen an das Verfahren ausgegangen:

- Gesamtfehler max. 5 %
- einfache Handhabung
- geringe Geräte- und Verfahrenskosten
- gute Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse
- Gewährleistung einer Zwischenauswertung der Versuchsergebnisse am Meßort
- Zeitdauer zur gesicherten Bestimmung einer Aggregatgrößenzusammensetzung max. 15 min



Bild 1
Gitterrahmen – Hilfsmittel bei der Bonitur

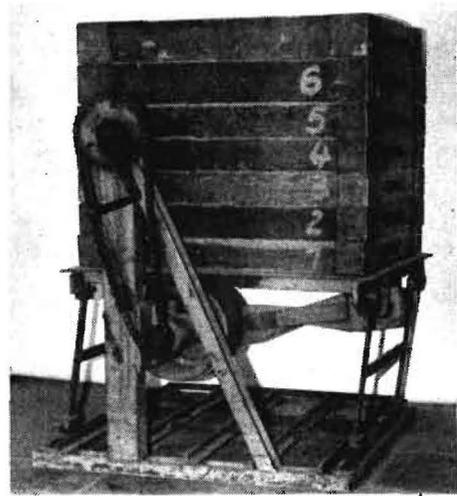
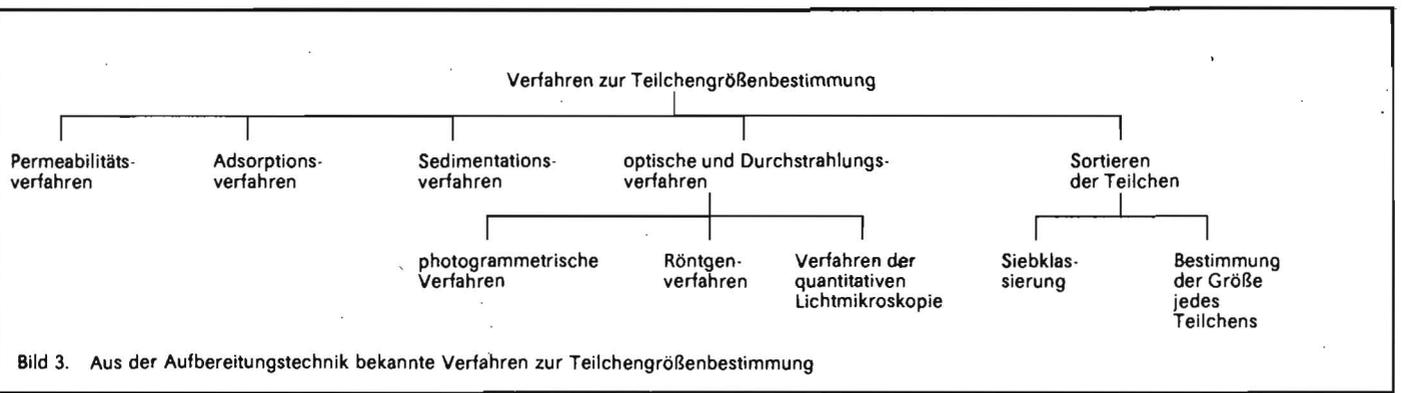


Bild 2
Siebmaschine mit Rundlochsiebsatz



- gute Transportfähigkeit der Versuchseinrichtung
- höchstens zwei Bedienpersonen.

3. Besonderheiten des Analyseobjekts Boden

Aggregate des Ackerbodens weisen gegenüber zahlreichen Analyseobjekten in der Aufbereitungstechnik einige wesentliche Besonderheiten auf:

- die zu untersuchenden Bodenproben enthalten ein breites Spektrum an Aggregatgrößen - vom μm -Bereich bis größer 10 cm (Pflug ohne Nachbearbeitung)
- die Stabilität der Bodenaggregate ist sehr unterschiedlich, wodurch das Analyseergebnis stark beeinflusst werden kann
- die Bodenaggregate haben keine ideale Kugelform, die oft Grundlage der Analyseverfahren ist
- der Begriff Aggregat ist hinsichtlich Bruchkörperform und Durchmesser bei Beachtung möglicher Einrisse im Bruchkörper sowie Zusammenpressung mehrerer Bruchkörper unzureichend definiert [5].

4. Stand der Analyseverfahren

Im Bild 3 sind bekannte Verfahren zur Teilchengrößenbestimmung dargestellt. Anhand theoretischer Überlegungen und teilweise experimentell wird untersucht, ob diese in anderen technischen Gebieten angewendeten Verfahren zur Bestimmung der Aggregatgrößenzusammensetzung des Ackerbodens geeignet sind.

4.1. Permeabilitätsverfahren

Beim Permeabilitätsverfahren wird der Widerstand gemessen, den eine Kornschüttung einem durchströmenden Gas oder einer Flüssigkeit entgegensetzt.

Dieses Verfahren liefert unter Laborbedingungen für kugelige Körnungen mit einem maximalen Durchmesser von 0,5 mm zufriedenstellende Ergebnisse. Für andere Kornformen und Korngrößenverteilungen ist es nicht geeignet, weil der definierte hydraulische Durchmesser die Art der Zwischenraumkanäle nur beschränkt erfaßt.

Außerdem hängt der Beiwert für Form und Anordnung der Teilchen unter anderem von der Porosität ab.

Bodenaggregate weichen häufig stark von der Kugelform ab. Die zu untersuchenden Aggregatgrößen des Bodens beginnen im Mikrometerbereich und enden bei Schollen, deren Volumen ein Vielfaches des mit diesem Verfahren erfaßten Meßvolumens der Probe betragen kann.

Fock [6] schlußfolgert aus seinen Untersuchungen, daß es nicht sinnvoll ist, Permea-

bilitätsverfahren zum Bestimmen der Aggregatgrößenzusammensetzung beim Bodenbearbeiten anzuwenden.

Der Vergleich der Permeabilitätsverfahren mit den Anforderungen an das zu entwickelnde Verfahren bekräftigt diese Feststellung.

4.2. Adsorptionsverfahren

Bei diesen Verfahren werden die Adsorption unterschiedlicher Stoffe durch die zu untersuchende Probe oder die freiwerdende Adsorptionswärme gemessen, woraus sich die spezifische Oberfläche der Probe berechnen läßt. Zu adsorbierende Stoffe sind Gase, gelöste Stoffe und organische Flüssigkeiten. Nachteilig an diesen Verfahren sind die langen Meßzeiten, die schlechte Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse, die komplizierte Auswertung, die Miterfassung der inneren Oberfläche der Teilchen [6] und die Abhängigkeit der Gasadsorption von der Stoffart der Probe, der Temperatur und der Zeit des Evakuierens [7].

Bei der Adsorption einer organischen Flüssigkeit wird eine völlig trockene Probe gefordert. Um genaue Analysen mit Hilfe von Adsorptionsverfahren durchführen zu können, muß ein großer Aufwand getrieben werden. Die langen Meßzeiten entsprechen nicht den Anforderungen an das zu entwickelnde Meßverfahren.

4.3. Sedimentationsverfahren

Die Teilchengröße und deren Verteilung wird aus der Sink- bzw. Fallgeschwindigkeit der in einem ruhenden Medium (Flüssigkeit oder Gas) suspendierenden Teilchen ermittelt [8]. Voraussetzung ist, daß alle Teilchen die gleiche Dichte haben.

Die Berechnung der Korngröße erfolgt mit Hilfe der Stokesschen Gleichung. Bei dieser Berechnung ist der Durchmesser eines Teilchens definiert als der Durchmesser einer Kugel, die die gleiche Fallgeschwindigkeit wie das Teilchen hat [7].

Es ist bekannt, daß die Korngröße beim Sieben physikalisch anders definiert ist als durch das Stokessche Gesetz.

Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens ist die Bedingung, daß die Teilchen ohne gegenseitige Beeinflussung fallen müssen. Bei Nichteinhaltung dieser Bedingung hängt die Fallgeschwindigkeit auch von der Konzentration ab [9, 10].

Aufgrund der Besonderheit des Analyseobjekts Boden wäre eine Vorklassierung erforderlich, um anschließend in verschiedenen großen Gefäßen eine Sedimentationsanalyse durchführen zu können. Bei zerfallsbereiten Böden hätte das erhöhte Analysefehler zur Folge.

Da das Verfahren nicht den Anforderungen (Gesamtfehler max. 5 %, gute Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse, Gewährleistung einer Zwischenauswertung der Versuchsergebnisse am Meßort, Zeitdauer zur gesicherten Bestimmung eines Bodenzustands darf bis zu 15 min betragen) entspricht, scheidet es aus weiteren Betrachtungen aus.

4.4. Photogrammetrische Verfahren

Hierunter werden optische Verfahren verstanden, bei denen vorwiegend mit Stereomeßkammern Bildaufnahmen angefertigt werden. Die erhaltenen Bilder zeigen das Bodenrelief. Zu ihrer Auswertung gibt es spezielle optische Geräte, die an EDV-Anlagen anschließbar sind. Voraussetzung ist, daß die Bedienperson über räumliches Sehvermögen verfügt. Eine Anwendung dieses Verfahrens zum Bestimmen der Aggregatgrößenzusammensetzung des Bodens an der Oberfläche erscheint möglich. Zur Gewährleistung einer Zwischenauswertung der Versuchsergebnisse am Meßort wird eine elektronische Bilderfassung und -auswertung notwendig sein. Im Hinblick auf den Gesamtfehler von max. 5 % und geringe Geräte- und Verfahrenskosten scheidet das Verfahren aus diesen Betrachtungen aus.

4.5. Röntgenverfahren

Beim röntgenographischen Meßverfahren wird die Absorption von Röntgenstrahlen beim Durchstrahlen eines Stoffes ausgenutzt. Die Intensität der geschwächten Röntgenstrahlen wird mit Hilfe von speziellen Röntgenfilmen nachgewiesen.

Vorteilhaft sind die kurzen Meßzeiten, die ausreichenden Meßtiefen, das zerstörungsfreie Messen und die ausreichende Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse.

Nachteile des Verfahrens sind:

- geringe Meßgenauigkeit infolge Fehler bei der Eichung der Filmschwärzung und durch unterschiedliche Empfindlichkeit
- hoher Bedienungsaufwand
- hohe Geräte- und Verfahrenskosten
- speziell ausgebildetes Personal.

Sommerburg [5] untersuchte die Anwendbarkeit des in der Medizin gebräuchlichen Röntgensichtbildes zur Bestimmung der Aggregatgrößenzusammensetzung und der Dichteverteilung im Boden. Danach sind Aussagen über die Dichteverteilung bei jedem Bodenzustand möglich. Die Anwendbarkeit des Verfahrens zur Bestimmung der Aggregatgrößenzusammensetzung des Bodens ist begrenzt.

Zur gleichen Erkenntnis gelangten Sokol und Vernjaev [11], die deshalb mit einer Feld-

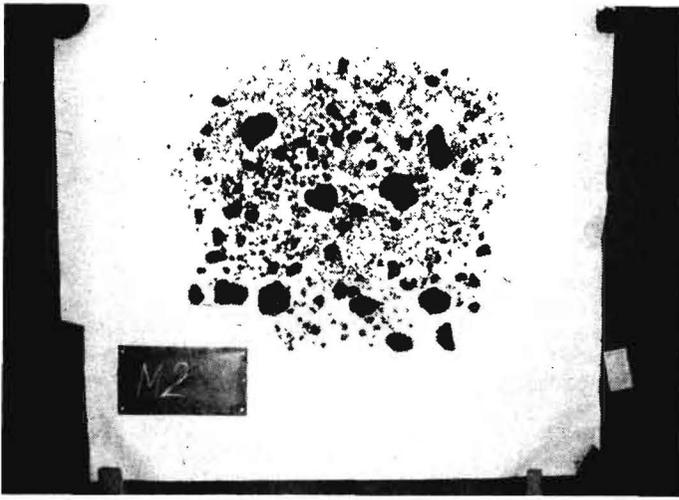


Bild 4. Modellgemisch auf hellem Untergrund vereinzelt



Bild 5. Bodenprobe zufälliger Zusammensetzung auf hellem Untergrund vereinzelt

röntgeneinrichtung die Porosität des Bodens bestimmen.

4.6. Verfahren der quantitativen Lichtmikroskopie

Die in der Aufbereitungstechnik und Werkstoffuntersuchung eingesetzten Geräte der quantitativen Lichtmikroskopie arbeiten überwiegend nach dem Prinzip der Linearanalyse.

Das Meßprinzip sowie Untersuchungen zur Anwendbarkeit des speziellen Geräts „Epiquant“ zum Bestimmen der Aggregatgrößenzusammensetzung beim Bodenbearbeiten wurden in [12] dargestellt.

Untersuchungen ergaben, daß die Aufnahmen der Bodenoberfläche prinzipiell ausgewertet werden können, der dabei entstehende Fehler jedoch sehr groß ist [13].

Das läßt sich dadurch erklären, daß alle Geräte, die nach dem Prinzip der Linearanalyse arbeiten, einen Mindestkontrastunterschied von 5 % erfordern, der bei den gewonnenen photographischen Bodenoberflächenaufnahmen (Bild 1) nicht garantiert ist. Weiterhin treten Verfälschungen des Meßergebnisses auf, wenn die auszumessenden Teilchen einander überdecken bzw. aneinanderliegen:

„Am kritischsten erscheint die Situation jedoch bei Schüttpräparaten, wenn in diesen ungenügende Trennungen der Teilchen oder Agglomerationen vorliegen. In diesen Fällen muß mit einer Abhängigkeit der Meßergebnisse von der Probenpräparation gerechnet werden“ [14].

Um diese Fehlerquelle auszuschalten, wurden Modellgemische angefertigt, bei denen alle Bodenaggregate auf einem hellen Untergrund in einer Fläche nebeneinander liegen (Bild 4). Das Filmnegativ wurde einer automatischen Analyse unterzogen, die trotz nahezu idealer Bedingungen einen Fehler von 25,2 % ergab. Festzustellen ist, daß die vollautomatische Auswertung dieses Bildes vier Stunden dauerte. Davon entfielen 3 Stunden auf Einstellarbeiten durch eine geübte Bedienperson und eine Stunde auf das Ausmessen. Außerdem wurden Bodengemische zufälliger Zusammensetzung angefertigt. Die Bodenaggregate wurden auf einer weißen Unterlage ausgebreitet und vereinzelt (Bild 5). Bei der Analyse zeigte sich, daß Bodenproben dieser Art, begründet durch den Feinanteil, für die Bestimmung der Aggregatgrößenzusammensetzung ungeeignet sind.

Die halbautomatische Arbeitsweise ist eine Besonderheit des Gefügeanalysators „Epiquant“.

Sie ist für Proben mit ungenügendem oder sehr ungleichmäßigem Kontrast vorgesehen, bei denen eine automatische Ausmessung nicht möglich ist. Jedoch führt diese Arbeitsweise zu starken physischen und psychischen Belastungen der Bedienperson. Die halbautomatische Arbeitsweise wurde ebenfalls hinsichtlich ihrer Eignung zum Ausmessen von Bodenprobenaufnahmen untersucht. Es zeigte sich, daß damit Modellgemische, wie z. B. im Bild 4, ausgewertet werden können, der Fehler aber immer über dem der vollautomatischen Arbeitsweise liegt.

Natürliche Bodenproben wurden halbautomatisch ausgemessen und mit den Ergebnissen von Siebanalysen verglichen. Auch diese Untersuchungen lieferten keine zufriedenstellenden Ergebnisse.

Ein Vergleich dieses Verfahrens mit den Anforderungen an das zu entwickelnde Verfahren zeigt, daß einige grundlegende Forderungen nicht erfüllt werden. Das betrifft besonders den maximal zulässigen Gesamtfehler von 5 % und die nicht realisierbare Sofortauswertung am Meßort.

Die Geräte- und Verfahrenskosten sowie der Arbeitsaufwand zum Anfertigen und Auswerten einer Probe sind hoch und entsprechen nicht den Anforderungen an das zu entwickelnde Verfahren. Deshalb wird das Verfahren der quantitativen Lichtmikroskopie zum Bestimmen der Aggregatgrößenzusammensetzung beim Bodenbearbeiten nicht empfohlen.

4.7. Sortieren der Teilchen

Das Auftrennen körneriger Stoffe nach einem mit physikalischen Methoden beschreibbaren Merkmal wird als Sortieren bezeichnet [15]. Wie im Bild 3 dargestellt, kann man die Bodenaggregate einzeln ausmessen oder klassieren.

Bei der *Einzelausmessung* wird jedes Bodenaggregate einer Probe einzeln nach seinen drei Hauptachsen ausgemessen.

Aufgrund des sehr hohen Zeitaufwandes und des breiten Spektrums der Aggregatgrößen ist diese Methode für die praktische Anwendung nicht geeignet.

Die *Klassierung* erfolgt i. allg. mit Hilfe von Sieben. Ein körniger Ausgangsstoff wird dabei nach einer seiner drei Hauptachsen in verschiedene Klassen aufgeteilt. In der Korn-

größenmeßtechnik findet die Siebklassierung breite Anwendung.

Seit einigen Jahrzehnten wird die Siebanalyse auch in verschiedenen landtechnischen Forschungseinrichtungen angewendet. Ihre Vor- und Nachteile wurden bereits im Abschn. 2 genannt. Eine gründliche Analyse der Fehlerquellen ergab, daß es möglich ist, diese zu reduzieren.

Weiterhin ist es möglich, den Arbeitszeitaufwand zu senken. Den größten Einfluß auf den hohen Gesamtfehler der Siebanalyse mit dem Rundlochsiebsetz haben die scharfkantigen Öffnungen der Siebfläche, die Fallstufen im Siebsatz und die Tatsache, daß sich der Abrieb in den kleinen Fraktionen konzentriert.

Bei der Beseitigung dieser Fehlerquellen erscheint eine Senkung des Gesamtfehlers von 10 % auf 5 % möglich. Besondere Bedeutung hat die Möglichkeit einer Zwischenauswertung der Meßergebnisse der Siebanalyse am Meßort. Das ist nur möglich, wenn der Arbeitszeitaufwand je Siebung gesenkt wird.

5. Zusammenfassung

Die Aggregatgrößenzusammensetzung des Bodens ist ein wesentlicher Parameter zur Kennzeichnung des Arbeitsergebnisses beim Bodenbearbeiten.

Die zur Zeit angewendeten Verfahren zu ihrer Bestimmung – die Siebanalyse mit Hilfe eines Rundlochsiebsetzes und die Bonitur – genügen aufgrund des hohen Gesamtfehlers und der Subjektivität der Meßergebnisse nicht den heutigen Anforderungen.

Aus der Aufbereitungstechnik bekannte Verfahren zur Teilchengrößenbestimmung wurden vorgestellt und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit zum Bestimmen der Aggregatgrößenzusammensetzung des Bodens untersucht. Sie sind dafür nicht geeignet. Es erscheint sinnvoll, die wesentlichen Mängel der mit dem Rundlochsiebsetz ausgeführten Siebanalyse zu beseitigen, um den Gesamtfehler zu senken und den Arbeitsaufwand zu reduzieren.

Literatur

- [1] Frese, H.: Aussichten für eine exakte Beurteilung des Arbeiterfolges von Bodenbearbeitungsgeräten. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 6 (1956) 7, S. 294–296.
- [2] Kunze, A., u. a.: Normative für die Bodenbearbeitung. Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Münchenberg, 1977.

Fortsetzung auf Seite 497

Methodik zur Untersuchung des Staffelungsabstands von Pflugkörpern

Dr.-Ing. S. Anisch, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

Verwendete Formelzeichen

b	mm	Arbeitsbreite des Pflugkörpers
d	mm	Dingweite
f_k	mm	Brennweite der Kamera
f_x, f_y, f_z	N · cm ⁻²	spezifische Kräfte am Einzelpflugkörper bei ausreichend großem Staffelungsabstand
f_{xs}, f_{ys}, f_{zs}	N · cm ⁻²	spezifische Kräfte am Pflugkörper bei unterschiedlicher Staffelung
k		Verhältnis Arbeitsbreite/-tiefe
m_{ges}		Gesamtabbildungsmaßstab
m_t		Abbildungsmaßstab des Projektionsgeräts
S	mm	Staffelungsabstand; in Fortbewegungsrichtung gemessener Abstand zwischen gleichen Punkten benachbarter Pflugkörper
s		Staffelung; Verhältnis Staffelungsabstand/Arbeitsbreite des Pflugkörpers
t	mm	Furchentiefe
x_p, y_p, z_p	mm	reelle Koordinate eines Punktes auf der Oberfläche des Bodenbalkens
x'_t, y'_t, z'_t	mm	mit dem Projektionsgerät abgebildete Koordinaten

1. Problemstellung

Das Verringern der Aufwendungen bei der Bodenbearbeitung, vor allem von Energie und Material, ist bei ständiger Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit eine wesentliche Seite der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion. Da dem Vergrößern der Arbeitsbreite und dem Erhöhen der Arbeitsgeschwindigkeit aus mehreren Gründen Grenzen gesetzt sind, muß aus heutiger Sicht vor allem der Kombination bisher getrennt aus-

geführter Arbeitsgänge verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Die Kombination der Grundbodenbearbeitung mit der Saatbettbereitung und gegebenenfalls Aussaat, Herbizid- und Düngerausbringung erfordert geringe Abmessungen der Maschinen, Geräte und/oder Werkzeuge vor allem in der Fortbewegungsrichtung. Gegenwärtig und in absehbarer Zeit kann der Pflug als wichtigstes Grundbodenbearbeitungsgerät zum Wenden, Lockern sowie Unterbringen von Bewuchs und Dung nicht abgelöst werden. Für ihn ergeben sich aber bei der Auslegung für leistungsstarke Traktoren aufgrund des funktionsbedingten großen Staffelungsabstands der bisher überwiegend eingesetzten Pflugkörper große Baulängen. Neben anderen Nachteilen wird damit vor allem aber die Kombination mit nachfolgenden Geräten erschwert. Zum Verkürzen der Baulänge der Pflüge sind deshalb neue Pflugkörper zu entwickeln.

Pflugkörper, die Bodenbalken mit parallelogrammförmigem Querschnitt ausschneiden und in die Nachbarfurche wenden, können theoretisch ohne Staffelungsabstand nebeneinander angeordnet werden, wenn man bestimmte Forderungen beachtet [1, 2].

Zwischen dem Bodenbalken und der Rückseite des Nachbarpflugkörpers, der die Furche, in die der Bodenbalken gewendet werden soll, erzeugt, muß aber ein ausreichend großer Freiraum vorhanden sein, um ein verstopfungsfreies Pflügen zu gewährleisten. Weiterhin können Veränderungen der an den Pflugkörpern wirkenden Kräfte auftreten, die besonders den Energiebedarf und die konstruktive Gestaltung beeinflussen.

2. Theoretische Ermittlung des Abstands zwischen den Bodenbalken benachbarter Pflugkörper

Die Größe des Freiraums zwischen zwei benachbarten Bodenbalken wird zweckmäßi-

gerweise durch den Abstand a charakterisiert, der sich in einer parallel zur Fahrtrichtung verschiebbaren Querschnittsebene ergibt (Bild 1). Dieser Abstand ändert sich während des Wendevorgangs und ist vom Verhältnis Arbeitsbreite/-tiefe k , vom Neigungswinkel α der Furchenwand und von der Wendewinkeldifferenz $\Delta\eta$ (entsprechend einer gestaffelten Anordnung der Pflugkörper) abhängig. In den verschiedenen Phasen des Wendevorgangs ergibt sich der kleinste Abstand a_1, a_2 als Normale von einem Eckpunkt des Bodenbalkenquerschnitts auf die gegenüberliegende Seite des Nachbarquerschnitts (Bild 1a und c):

$$a_1/t = k [\sin \alpha - \sin (\alpha - \eta_1)]; \quad 0 \leq \eta_1 \leq \Delta\eta \quad (1)$$

$$a_2/t = k [\sin (\alpha + \eta_1 - \Delta\eta) - \sin (\alpha - \Delta\eta)]; \quad \Delta\eta \leq \eta_1 \leq \Delta\eta + 2(90^\circ - \alpha) \quad (2)$$

$$a_2/t = k \sin \eta_1 - \sin (\alpha - \Delta\eta) / \sin \alpha; \quad 180^\circ - \eta_A \leq \eta_1 \leq \eta_A \quad (3)$$

Kann die Normale nicht mehr auf der gegenüberliegenden Seite errichtet werden, bildet die Gerade \bar{a} zwischen den Eckpunkten den kleinsten Abstand (Bild 1b):

$$\frac{\bar{a}}{t} = \sqrt{A + B}; \quad (4)$$

$$A = \left[\frac{\sin (\alpha + \eta_1 - \Delta\eta)}{\sin \alpha} - k \sin \eta_1 \right]^2$$

$$B = \left[k (1 - \cos \eta_1) + \frac{\cos (\alpha + \eta_1 - \Delta\eta)}{\sin \alpha} \right]^2$$

Mit Beginn des Wendevorgangs entsteht zwischen den Bodenbalken ein Abstand, der bis zum Wendewinkel $\eta_1 = 90^\circ - \alpha + \Delta\eta$ nach den Gln. (1) und (2) anwächst (Bild 2). Bei niedrigen Werten k und geringer Wendewinkeldifferenz $\Delta\eta$ sowie bei großem Neigungswinkel α der Furchenwand ist beim weiteren Wenden zunächst ein Rückgang des Abstands festzustellen. Dieser Effekt tritt bei großen Werten von k und $\Delta\eta$ sowie bei kleinem Neigungswinkel α nicht auf. Der Abstand erreicht bei einem Wendewinkel $\eta_1 = 90^\circ$ sein Maximum, das unabhängig vom Neigungswinkel α ist und sich mit steigenden Werten k und $\Delta\eta$ vergrößert. Der Ablagewinkel η_A ist nur von k abhängig.

Für das Erzeugen eines großen Abstands zwischen den sich wendenden Bodenbalken sind vor allem bei geringer Staffelung ein kleiner Neigungswinkel α und ein großes Verhältnis Arbeitsbreite/-tiefe k anzustreben.

3. Experimentelle Untersuchungen zum Staffelungsabstand

3.1. Methodik

Bedingt durch das Aufbrechen, Lockern und Krümeln des Bodenbalkens auf der Arbeitsfläche des Pflugkörpers sowie Schwankungen der Arbeitstiefe ergeben sich unter realen Einsatzbedingungen Abweichungen von den theoretischen ermittelbaren Abmessungen des Bodenbalkens während des Wende-

Fortsetzung von Seite 496

- [3] Grundlagen der Pflanzenproduktion. Berlin: VEB Dt. Landwirtschaftsverlag 1975.
- [4] Feuerlein, W.: Meßmethoden und Kenngrößen zur Ermittlung des Arbeitserfolges beim Pflügen. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 18 (1968) 2, S. 65–77.
- [5] Sommerburg, H.: Röntgenografische Ergebnisse zur Bedeutung von Aggregatgrößen- und Dichteverteilung im Boden. agrartechnik, Berlin 26 (1976) 2, S. 92–95.
- [6] Fock, W.: Bestimmung der spezifischen Oberfläche des Bodens. TU Dresden, Literaturbericht 1971 (unveröffentlicht).
- [7] Batel, W.: Einführung in die Korngrößenmeßtechnik. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1964.
- [8] Schatt, W.: Pulvermetallurgie, Sinter- und Verbundstoffe. Leipzig: VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie 1977.
- [9] Withmore, R. L. The sedimentation of suspensions of spheres (Die Sedimentation von Suspensionen aus Kugeln). Brit. J. appl. Physics, Bd. 6 (1955) 7, S. 239–243.
- [10] Reid, W. P.: A test for the validity of sedimentation results (Ein Test für die Gültigkeit von Sedimentationsergebnissen). Ind. Engng. Chem. Bd. 47 (1955) 8, S. 1541–1544.

- [11] Sokol, N. A.; Vernjaev, O. V.: Osnovi issledovanija raboty počvoobrabatyvajuščich mašin rentgenovskim metodom (Grundlagen zur Untersuchung der Arbeitsqualität von Bodenbearbeitungsgeräten). Hochschule für Landmaschinenbau Rostow/Don, Forschungsbericht 1977.
- [12] Baur, A.; Schmidt, K.: Ermittlung der Aggregatgrößenverteilung des Bodens mit Hilfe der quantitativen Lichtmikroskopie. agrartechnik, Berlin 30 (1980) 2, S. 74–78.
- [13] Scholz, H.: Untersuchung der Anwendbarkeit des automatischen Gefügeanalysators „Epiquant“ für die Bestimmung des Zerkleinerungsergebnisses beim Bodenbearbeiten. TU Dresden, Diplomarbeit 1979 (unveröffentlicht).
- [14] Schmidt, K.: Die Anwendung des automatischen Gefügeanalysators „Epiquant“ in der Korngrößenmeßtechnik. VEB Carl Zeiss JENA, Firmenschrift 1979.
- [15] Batel, W.: Über das Sortieren körneriger Stoffe. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 10 (1960) 12, S. 18–24.

A 3711