

den ein, denn Anhäufungen bilden sich als größere Volumeneinheiten extrem geringer Dichten aus.

Das Beurteilen von Bodenbearbeitungswerkzeugen nach ihrem Einfluß auf die Dichteverteilung setzt erstens die Kenntnis vom Bereich praktisch auftretender Kennwerte dieser Verteilung (unbearbeiteter und bearbeiteter Boden) und zweitens eine bei natürlichen Bodenverhältnissen unter Feldbedingungen einsetzbare (zunächst nur für die Forschungsphase geeignete) Röntgeneinrichtung voraus. Das erste erfordert, die Dichteverteilung künftig in pflanzenbauliche Untersuchungen einzubeziehen, das zweite, eine transportable Feldröntgeneinrichtung zu entwickeln. Die bisher durchgeführten Untersuchungen konnten nur prinzipiell die Anwendbarkeit des Schichtröntgens bestätigen — zwar nicht für das Erfassen der Aggregatgrößenverteilung unter allen Bodenverhältnissen, aber der Dichteverteilung in jedem Fall. Zunächst aber könnten bei pflanzenbaulichen Untersuchungen großvolumige Bodenproben in geringer Anzahl entnommen und zu einer stationären Röntgeneinrichtung transportiert werden, um erste Erfahrungen bezüglich der Methode der Auswertung von Röntgenschnittbildern und der praktisch auftretenden Kennwerte der Dichteverteilung zu sammeln.

### 8. Zusammenfassung

Das Beurteilen von Werkzeugen nach ihrem Einfluß auf die Aggregatgrößenverteilung im Boden erfordert ein Verfahren für

beschädigungsfreies und möglichst berührungsloses Erfassen von Größe und Lage der Aggregate. Zu diesem Zweck sollte die Eignung des in der Medizin gebräuchlichen Schichtröntgens für Ackerboden geprüft werden. Es wurden an einer stationären Röntgeneinrichtung von großvolumigen Bodenproben Röntgenschnittbilder hergestellt und danach diese mit den entsprechenden Originalschnittbildern der Proben verglichen. Die Ergebnisse bestätigen die bodenseitig begrenzte Anwendbarkeit der Zustandsgröße Aggregatgrößenverteilung. Röntgenschnittbilder ermöglichen aber bei jedem Bodenzustand Aussagen über den Dichtehomogenitätsgrad mit Hilfe von Kennwerten der Dichteverteilung einschließlich der Verteilung eingearbeiteter organischer Rückstände. Für künftige Werkzeuguntersuchungen müßten der Bereich praktisch auftretender Kennwerte der Dichteverteilung ermittelt und eine geeignete Feldröntgeneinrichtung entwickelt werden.

### Literatur

- [1] Kollektiv: Normative für die Bodenbearbeitung. agrar-Broschüre 1973
- [2] Kunze, A.: Bodenbearbeitung und Bestellung in hoher Qualität — eine wichtige Voraussetzung für die weitere Steigerung und Stabilisierung der Erträge. agrartechnik 24 (1974) H. 1, S. 20—22.
- [3] Gebauer, A.: Das Röntgenschnittbild. Stuttgart, Thieme-Verlag 1959. A 1081

## Gammastrahlungssonde zur Bodendichtemessung dünner und oberflächennaher Schichten

Dipl.-Ing. M. Hahn, KDT, Institut für Landmaschinentechnik Leipzig des VEB Weimar-Kombinat

Die Lagerungsdichte ist eine wichtige physikalische Bodenzustandsgröße zur Beurteilung des Bearbeitungsergebnisses von Werkzeugen [1]. Wegen der Heterogenität des Bodengefüges ergeben sich aber Probleme hinsichtlich der Wahl des Meßvolumens und der Versuchsdurchführung. So erfordert das Aufdecken von Beziehungen zwischen Werkzeugparametern und Lagerungsdichte einzelner Bodenschichten eine Reduzierung der in die Dichtebestimmung mit bekannten Strahlungs sonden einbezogenen Schichtdicke.

### 1. Problemstellung

Aus der pflanzenbaulich begründeten Einteilung der Ackerkrume in

- Bereich bis zur Saatgutablage
- Bereich der Saatgutablage und darunter
- Bereich bis Krumentiefe

und der je nach Fruchtart und Standorteinheit geforderten Dichteverteilung ergibt sich, daß die zu erfassenden Bodenschichten dünner als 5 cm sein sollten. Das Messen der oberflächen- und pflugsohlennahen Schichten muß ebenfalls mit ausreichender Genauigkeit möglich sein.

Die zulässige Meßgenauigkeit leitet sich nach statistischen Beziehungen ab aus der Streuung der Dichte, den Versuchswiederholungen und den als statistisch gesichert nachzuweisenden Dichteunterschieden infolge verschiedener Einwirkungen. Untersuchungen [2] zeigen, daß bei üblichen relativen Streuungen der Bodendichte von 5 bis 10% zum Nachweis pflanzenbaulich bedeutsamer Dichteunterschiede von rd. 3% etwa 100 Einzelmessungen bei einer Meßgenauigkeit von 3% erforderlich sind. Solange keine homogenen Dichten (Variationskoeffizienten < 5%) vorliegen, ermöglicht auch eine Verringerung der Meßgenauigkeit keinen wesentlich geringeren Stichprobenumfang.

Neben zufälligen sind auch systematische Meßfehler zu beachten, die sich u. a. ergeben können aus

- Meßwertverfälschung infolge Streustrahlungseinfluß an den Grenzflächen (Feldoberfläche, Pflugsohle)
- Störung der Bodenlagerung durch die Sondenäste
- Aktivitätsabnahme und
- Verbiegen der Sondenäste.

Zur Realisierung des o.g. Stichprobenumfangs wurde eine Meßzeit von 10 s bei geringen Hilfs- und Nebenzeiten gefordert.

### 2. Forderungen an eine neu zu entwickelnde Strahlungs sonde

Bekannte Dichtesonden [3][4] werden der vorliegenden Meßaufgabe nicht gerecht. Mit Auslösezählrohren bestückte Sonden erfassen relativ mächtige Bodenschichten je nach Ausbildung des Streustrahlungsfeldes. Deshalb kann z. B. mit der Einstichgabelsonde DS-10 erst ab einer Tiefe von 8 cm unterhalb der Feldoberfläche unverfälscht gemessen werden [4]. Außerdem sind die notwendigen Meßzeiten von rd. 1 Minute im Hinblick auf den Stichprobenumfang zu hoch.

Durch Wahl einer liegenden Zählrohranordnung bei der Sonde DS-9 und Auflegen eines Streustrahlungskörpers auf die Meßstelle ist eine Möglichkeit gegeben, die Dichte im oberflächennahen Bereich zu bestimmen. Abgesehen von der auch bei diesem Sondentyp erforderlichen hohen Meßzeit ist das Einsatzgebiet wegen der schlechten Einführbarkeit der Sonde in den Boden begrenzt.

Szintillationssonden hingegen zeichnen sich durch sehr kurze Meßzeiten aus. In Verbindung mit stark kollimierten Strahlenquellen, wie z. B. bei der Sonde DS-2, lassen sich gute räumliche Auflösungen erzielen. Die Abmessungen solcher Sonden erfordern das Anlegen von Erddämmen zur Durchstrahlung. Der damit

verbundene Aufwand setzt aber der statistischen Meßwerterfassung Grenzen.

### 3. Gewähltes Meßprinzip

Eine neue Sonde konnte nur dann der gestellten Meßaufgabe gerecht werden, wenn es gelang, den Anteil gestreuter Quanten am Meßergebnis (Zählrate) klein zu halten.

Es bot sich an, die gestreuten Quanten infolge ihres Energieverlustes, den sie beim Streuvorgang (Comptonstreuung) in Abhängigkeit vom Streuwinkel erfahren, bei der Messung auszuschalten. Voraussetzung dafür war die Verwendung eines Nachweisgerätes (Detektor), das der Quantenenergie proportionale Signale liefert. Szintillationszähler erfüllen diese Forderung und besitzen außerdem eine hohe Nachweisempfindlichkeit. Den vereinfachten Aufbau eines Szintillationszählers zeigt Bild 1. Der Szintillator besteht aus einer lumineszierenden Substanz, die durch radioaktive Strahlung zum Leuchten angeregt wird. Entsprechend dem Energieverlust eines Strahlungsquants im Szintillator wird ein Lichtblitz mit proportionaler Intensität erzeugt. Die Durchsichtigkeit des Szintillators erlaubt den Durchgang des Lichtblitzes zur Fotokatode, wo er Fotoelektronen bildet. Diese werden durch ein elektrostatisches Feld beschleunigt und bewegen sich zur Sekundärelektronenkatode des Fotovervielfachers. Jedes Primärelektron, das auf die Sekundärelektronenkatode auftrifft, löst mehrere Sekundärelektronen ab. Der so vervielfachte Elektronenstrahl wird nun in mehreren Stufen in gleicher Weise weiterverstärkt.

Ein nachgeschalteter Impulshöhenanalysator erlaubt, aus dem Energiebereich der gestreuten und ungestreuten Quanten ein schmales Energieband (Kanalbreite) in stufenlos einstellbarer Energiehöhe (Pegelstellung) herauszugreifen. Wird die Häufigkeit von Quanten im gleichen Energiebereich festgestellt und diese über der Pegelstellung aufgetragen, erhält man ein Energiespektrum mit typischen Eigenschaften (Bild 2). Bei Verwendung von Cs-137 als Strahlungsquelle bilden die ungestreuten Quanten nur einen eingipfligen primären Peak.

Das für die Versuchsdurchführung vorteilhafte Prinzip einer Einstichabelsonde läßt sich auch mit einem Szintillationszähler realisieren, wenn radialer Strahleneinfall auf den Szintillationskristall gewählt wird. Gemäß den Hinweisen in [5][6] kann — trotz großer Durchmesser der Fotovervielfacher — der Detektorast der Sonde dünn ausgeführt werden. Dazu ist erforderlich, den Szintillationskristall vom Fotovervielfacher zu trennen und zur optischen Kopplung einen Lichtleiter, z. B. Plexiglas entsprechender Länge, dazwischenschalten. Die auftretenden Verluste können durch geeignete Maßnahmen in vertretbaren Grenzen (rd. 20%) gehalten werden.

### 4. Sondenausführung

Dank der Unterstützung durch das IfM Potsdam-Bornim konnte eine Versuchssonde gebaut und erprobt werden. Da es zunächst darauf ankam, Erkenntnisse über das Meßprinzip zu sammeln, wurde auf die Verwendung eines Lichtleiters verzichtet. Die Sondenäste der Versuchssonde (Bild 3) haben Durchmesser von 16 mm (Quellenast — ohne Kollimierung) und 48 mm (Detektorast — Szintillationssonde VA-S-50). Ihr Abstand beträgt 35 cm. Als Strahlungsquelle fand vorteilhaft Cs-137 Verwendung. Mit der zulässigen Meßgenauigkeit, einer Meßzeit von 10 s und anderen Gegebenheiten errechnete sich anhand bekannter, an der Meßempfindlichkeit orientierter Beziehungen [3][7] eine Aktivität von  $2,96 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$ .

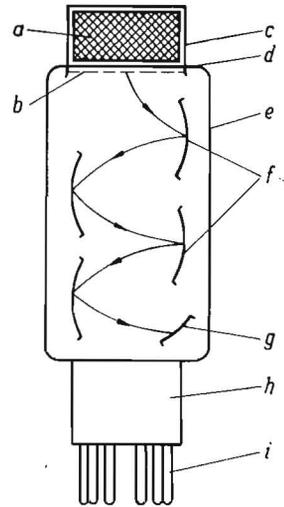
### 5. Erprobung der Versuchssonde und Ergebnisse

Das Ziel der experimentellen Untersuchungen war:

- Aufnahme von Energiespektren von verschiedenen Medien zur Festlegung der Diskriminatorschwelle
- Aussagen über die Wiedergabe von Dichtesprüngen in bestimmten Tiefen
- Ermittlung des Streustrahlungseinflusses
- Eichung der Versuchssonde
- Angaben über Meßfehler.

Als Versuchsobjekte wurden Ziegelsteine, Gips- und Betonkörper ausgewählt bzw. angefertigt und zur Vervollkommnung der

Bild 1. Prinzipieller Aufbau eines Szintillationszählers: a Szintillator, b Fotokatode, c Reflexionsschicht, d Silikonfett, e Glaskolben des Fotovervielfachers, f Dynoden, g Anode, h Sockel, i Kontaktstifte für Katode, Dynoden und Anode



Eichung noch verschiedene Bodenarten (im Formkasten) und Wasser benutzt.

Anhand der aufgenommenen Energiespektren wurde die Diskriminatorschwelle bei 7,3 V gewählt. Das entspricht einer Quantenenergie von 0,61 MeV.

Die Auflösung von Dichtesprüngen bei bestimmten Tiefen wurde an vier übereinandergelegten Versuchskörpern unterschiedlicher Dichte beobachtet. Aus den entsprechenden Versuchsreihen leiten sich folgende Aussagen ab:

- Vorhandene Dichtesprünge werden über Tiefen von 3 bis 5 cm wiedergegeben, wobei ein theoretisches Minimum von 2,5 cm durch die Abmessungen des Szintillators vorgegeben ist.
- Die Beeinflussung der Zählrate durch eine angrenzende Schicht erfolgt beim Übergang zur geringeren Dichte eher als umgekehrt.

Bild 2. Energiespektrum (schematisch für Cs-137): a primärer Peak

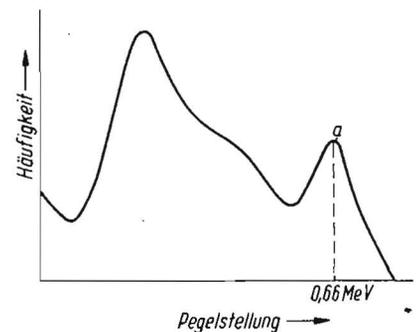
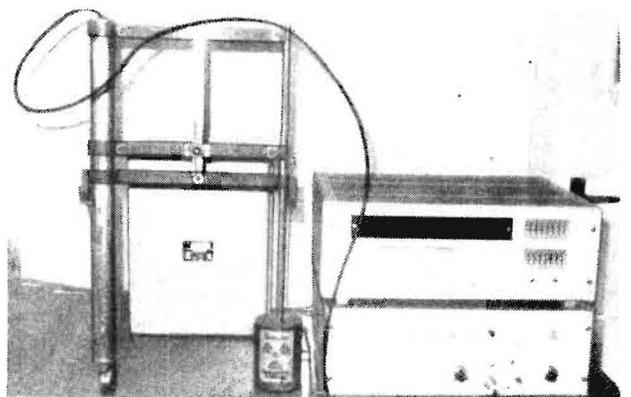


Bild 3. Versuchssonde und Meßgeräte



Zur Ermittlung von Streustrahlungsregionen und ihres quantitativen Einflusses wurde das Meßvolumen einer Modellziegel-Schicht variiert und die Zählratenänderung beobachtet. Die varianzanalytische Auswertung der Meßwerte zeigt:

- Der statistisch gesicherte Streustrahlungsanteil außerhalb einer Schichtdicke von rd. 5 cm beträgt 8%.
- Außerhalb einer Schichtdicke von 9 cm sind nur noch 2% der Zählrate gesichert auf Streustrahlungsanteile zurückzuführen.
- Einer Schicht, die dem direkten Strahlenkegel angepaßt ist (2,5 cm maximale Dicke), entstammen 80% der gesamten Zählrate.

Bzüglich der gestellten Forderung, nur Schichtdicken  $\leq 5$  cm zu erfassen, konnte experimentell nachgewiesen werden, daß selbst große Dichteschwankungen der angrenzenden Schicht keine gesicherte Beeinflussung der Zählrate bewirken. Nur wenn die angrenzende Schicht Luft war, wurde ein Dichtefehler von +2,5% festgestellt. Durch Auflegen eines Phantomkörpers ist dieser Meßfehler leicht zu vermeiden.

Anhand der durchgeführten Eichung wurde mit Hilfe einer Regressionsanalyse ein Massenschwächungskoeffizient  $\mu' = 0,0660 \text{ cm}^2/\text{g}$  mit dem Vertrauensbereich (Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 5\%$ ) von  $\pm 0,0008 \text{ cm}^2/\text{g}$  errechnet. Die prozentuale mittlere quadratische Abweichung der Einzelwerte von der Eichgeraden (halb-logarithmisches Koordinatensystem) ist mit 0,8% gering ausgefallen. Die mit der Meßapparatur erzielte Nachweisempfindlichkeit beträgt 14%.

Gestützt auf umfangreiche Vergleichsmessungen und die durch Varianzanalysen ausgewiesenen Versuchsfehler können über die aufgetretenen Meßfehler folgende Aussagen getroffen werden:

- Die zufälligen Zählratenfehler sind kleiner als 3%. Der statistische Zerfall der Atome verursacht etwa  $1/3$  dieser Fehler, während der andere Teil elektronische Fehlerursachen hat.
- Systematische Zählratenfehler wurden über einen längeren Zeitraum bis zu 10% beobachtet. Dieser Fehler ist durch die elektronische Drift der Meßgeräte infolge veränderter Umweltbedingungen zu erklären. Aus diesem Grund, aber auch zur Kompensation der Aktivitätsabnahme, sind regelmäßig Vergleichsmessungen vorzunehmen und die Meßwerte entsprechend zu korrigieren.

Bei der Beurteilung der Meßfehler ist die Auswirkung des

Zählratenfehlers auf den Dichtefehler zu beachten. So verursachte z. B. der Zählratenfehler der Vergleichsmessungen von 10% nur einen Dichtefehler von 4%.

## 6. Zusammenfassung

Für Untersuchungen von Bodenbearbeitungswerkzeugen wird eine Sonde zur Bodendichtebestimmung benötigt, die dünne Schichten ( $\leq 5$  cm) erfassen und das Messen bis in oberflächennahe Schichten ermöglichen soll.

Zum statistischen Nachweis pflanzenbaulich bedeutsamer Dichteunterschiede werden unter Beachtung der Bodenheterogenität Hinweise über zulässige Meßungenauigkeit und Stichprobenumfang gegeben.

Durch Diskriminierung unerwünschter Streustrahlungsanteile ist das Messen in begrenzten Bodenschichten möglich. Die dazu und zur Erzielung einer Meßzeit von 10 s erforderliche Szintillationssonde kann in einer Einstichgabelsonde mit relativ geringen Sondenastquerschnitten untergebracht werden, wenn ein Lichtleiter Verwendung findet.

Die Tiefenauslösung der Sonde wird gezeigt. Experimentelle Untersuchungen zu Streustrahlungsbeeinflussung und Meßfehler weisen die gute Anwendbarkeit der neuen Sonde für die gestellte Meßaufgabe nach.

## Literatur

- [1] Sommerburg, H.: Zur Bedeutung einiger physikalischer Bodenzustandsgrößen für das Entwickeln von Bodenbearbeitungswerkzeugen, agrartechnik 26 (1976) H. 1, S. 87—89.
- [2] Hahn, M.: Entwicklung und Erprobung einer Sonde zur differenzierten Bodendichtebestimmung, TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Diplomarbeit 1975.
- [3] Helbig, W.; Beer, M.: Bodendichtemessung mit  $\gamma$ -Strahlen, Archiv für Landtechnik, 5. Band (1965), H. 2, S. 183—203.
- [4] Helbig, W.: Anwendungsmöglichkeiten und Ergebnisse der Bodendichtemessung mit Gammastrahlen, A.-Thaer-Archiv II (1967), S. 1117—1130.
- [5] Hinsch, H.; Niemann, E.-G.: Ein kombiniertes Gerät zur Messung von Dichte und Wassergehalt im lebenden Baumstamm, Atompraxis 10 (1964) H. 8, S. 372—376.
- [6] Hertz, G.: Grundlagen und Arbeitsmethoden der Kernphysik, Berlin: Akademie-Verlag 1957.
- [7] Schumilowski, N.; Meltzer, W.: Radioaktive Strahlen bei der automatischen Kontrolle, Berlin: VEB Verlag Technik 1960. A 1082

# Neuerer und Erfinder

## Patente aus verschiedenen Gebieten

WP 88 735 Int. Cl.: B 60d, 1/02

Anmeldetag: 12. Februar 1971

„Anhängerkupplung, insbesondere für Traktoren“

Erfinder: H. Kretschmer

L. Tschatzki

Im Rahmen der vielfältigen Einsatzbedingungen von Traktoren ist die Kupplungsmöglichkeit für ein- oder mehrachsige Geräte in Form von Maschinen und Anhängern auch an die automatische Anhängerkupplung zweckmäßig. Da die elastisch gelagerten Kupplungen wegen ihrer Nachgiebigkeit keine Sattelasten aufnehmen können, kamen starr befestigte Kupplungen zum Einsatz. Das hatte zur Folge, daß die harten Bewegungsstöße der angekuppelten Geräte sich unmittelbar auf die Kupplungskonsolen übertrugen und zu einer schnellen Beschädigung derselben führten.

Durch die Erfindung (Bild 1) wurde die Beschränkung der Einsatzmöglichkeiten der elastisch gelagerten automatischen Anhängerkupplung beseitigt, indem an die Kupplungskonsole a beidseitig je eine Platte b angeschweißt wurde. Durch diese beiden

Platten b können bei einer vorgesehenen Aufnahme von Sattelast durch die Kupplung c zwei Arretierbolzen d so hindurchgesteckt und gesichert werden, daß sich das Kupplungsmaul e auf diesen abstützen kann. Die Elastizität in der Zugrichtung bleibt durch die vorhandenen Gummiblöcke f der automatischen

Bild 1

