

Tafel 12. Verfahrenskosten in M/m³ beim An- und Umsetzen von Kompostmieten sowie Aufladen von Feldbaukompost

| Ansetzen | | | Umsetzen | | Aufladen | | Vermengen und Zerkleinern | |
|----------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|---------------------------|------------------|
| Ladertyp | Leistung | Verfahrenskosten | Leistung | Verfahrenskosten | Leistung | Verfahrenskosten | Leistung | Verfahrenskosten |
| | m ³ /h | M/m ³ | m ³ /h | M/m ³ | m ³ /h | M/m ³ | m ³ /h | M/m ³ |
| T 174 | 35 | 0,62 | 40 | 0,54 | 34 | 0,64 | — ¹⁾ | — |
| T 159 | 20 | 0,81 | 25 | 0,64 | 23 | 0,70 | — ¹⁾ | — |
| L-2A | — | — | 75 | 0,41 | 57 | 0,54 | — ¹⁾ | — |
| KF 1 | — ¹⁾ | — | — ¹⁾ | — | — ¹⁾ | — | 150 | 0,22 |

1) Kompostfräse KF 1 bzw. Lader können diese Arbeiten nicht oder nur ungenügend ausführen

Tafel 13. Anteilige Verfahrenskosten der Mietenbegüllung mit ZT 300/303 und HTS 100.27 in M/m³ Endprodukt bei differenzierter Entfernung, unterschiedlichem Aufnahmevermögen und Rotteverlusten der Ausgangsstoffe¹⁾

| Rotteverluste % | Transportentfernung in km | | | | |
|-----------------|--|------|------|------|------|
| | 4 | 6 | 8 | 10 | 20 |
| | Aufnahmevermögen: 0,40 m ³ Gülle je m ³ Ausgangsmaterial | | | | |
| 33 | 1,66 | 2,03 | 2,44 | 2,75 | 4,65 |
| 40 | 1,85 | 2,27 | 2,72 | 3,08 | 5,19 |
| | Aufnahmevermögen: 0,50 m ³ Gülle je m ³ Ausgangsmaterial | | | | |
| 33 | 2,07 | 2,54 | 3,05 | 3,44 | 5,81 |
| 40 | 2,29 | 2,81 | 3,37 | 3,81 | 6,43 |
| | Aufnahmevermögen: 0,60 m ³ Gülle je m ³ Ausgangsmaterial | | | | |
| 33 | 2,48 | 3,05 | 3,65 | 4,13 | 6,98 |
| 40 | 2,77 | 3,39 | 4,06 | 4,59 | 7,75 |

1) Zweischichtarbeit, Fremdbefüllung und Verteileröffnung von 36 cm² unterstellt

Literatur

[1] Wissing, P.; Hein, H.-O.; Reinhold, J.: Effektive Technologien der Düngestoffproduktion. agrartechnik 29 (1979) H. 6, S. 250—252.

[2] Keydel, S.; Reinhold, J.: Rationelle Gewinnung, Aufbereitung und Verwendung von Seeschlamm. agrartechnik 30 (1980) H. 7, S. 321—325.

[3] Wissing, P., u. a.: Verfahren der Düngestoffproduktion. FZB Münchberg, Bereich Bad Lauchstädt, F/E-Bericht 1979. A 2778

Messung der Dichteverteilung im Bodenprofil mit Hilfe der Gamma-Absorption unter Laborbedingungen

Dipl.-Ing. A. Baur/Dipl.-Landw. R. Jäger, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Münchberg der AdL der DDR
Dr. rer. nat. F. Tittelbach, Institut für organische Chemie der AdW der DDR

Verwendete Formelzeichen

| | | |
|-----------------|--------------------|--|
| F | g/g | gravimetrische Feuchte, bezogen auf trockenen Boden |
| I | Imp./min | Intensität der Strahlung nach Durchtritt durch den feuchten Boden |
| I ₀ | Imp./min | Intensität der Strahlung ohne absorbierendes Material im Strahlengang |
| I _A | Imp./min | Intensität der Strahlung nach Durchtritt durch den Absorber (Absorberzählrate) |
| I _{st} | Imp./min | Intensität der Strahlung nach Durchtritt durch den Absorber unter Standardbedingungen (Standardzählrate) |
| l | cm | Länge der durchstrahlten Bodenschicht |
| μ _B | cm ² /g | Massenabsorptionskoeffizient des Bodens |
| μ _w | cm ² /g | Massenabsorptionskoeffizient des Wassers |
| ρ _B | g/cm ³ | Trockenrohddichte des Bodens im Strahlengang |
| Θ | g/cm ³ | Bodenwassergehalt im Strahlengang |

1. Einleitung

Ein wichtiges Qualitätsmerkmal des Saatbetts ist die Lagerungsdichte des Bodens, da durch sie sowohl wichtige physikalische, chemische und biologische Bodeneigenschaften als auch die technologische Eignung der Böden für weitere Feldarbeiten maßgeblich bestimmt werden [1]. Zur objektiven Beurteilung von Bodenbearbeitungswerkzeugen muß neben dem Energieaufwand auch das erzielte Arbeitsergebnis herangezogen werden, wobei die Ermittlung des Wirkungsbereichs bei bodenverdichtenden bzw. -lockernden Werkzeugen von

besonderer Bedeutung ist. Zur Messung der Dichteverteilung im Bodenprofil können radiometrische Methoden gegenwärtig lediglich für den Forschungsbetrieb eingesetzt werden. Die gerätetechnische Entwicklung in den letzten Jahren ermöglicht es, mit der Methode der Gamma-Absorption bei der Feuchtdichtemessung im Boden eine hohe Schichtauflösung durch den Einsatz von Szintillationssonden und Impulshöhenanalysatoren anzustreben. Darüber hinaus sind mit der Methode der Gamma-Absorption auf dieser gerätetechnischen Basis auch Dichtemessungen bis dicht unter die Bodenoberfläche (bei ausreichender Ebenheit [2] und der Nachweis von Dichtesprüngen im Bodenprofil mit relativ hoher Auflösung durchführbar. Um den Wirkungsbereich der von den Bodenbearbeitungswerkzeugen verursachten Bodenverdichtung bzw. -lockerung ermitteln zu können, sind Messungen der Feuchtdichte des Bodens entlang einer vertikalen Schnittebene sowohl parallel zur Bodenoberfläche als auch über die gesamte zu erwartende Wirktiefe der Werkzeuge im Boden erforderlich. Daher muß mit der Meßeinrichtung ein Abtasten des zu untersuchenden Bodenprofils nach vorgegebenen Koordinaten ermöglicht werden.

2. Meßprinzip

Die Abtrennung der zu durchstrahlenden Bodenschicht erfolgt durch das Einbringen von zwei parallelen Trennblechen. Die Parallelführung von Strahlungsquelle und Detektor entlang der so entstandenen Schnittebenen in jeweils gleicher Bodentiefe wird durch eine geeignete Vorrichtung ermöglicht, so daß an jedem beliebigen Meßpunkt entlang der Trennbleche die gleiche Länge der Meßstrecke realisiert werden kann (Bilder 1 und 2).

Je nach Energie der verwendeten Strahlungsquelle sind Meßstrecken im Boden von wenigen Zentimetern bis etwa 40 cm (bei Verwendung von Cs 137) möglich [3]. Auf größere Meßlängen muß aus Gründen des Strahlenschutzes verzichtet werden, zumal physikalisch nur unbedeutend längere Meßstrecken möglich sind. Der zwischen den Trennblechen befindliche feuchte Boden absorbiert einen Teil der Gammastrahlung. Der mit dem Detektor gemessene Rest-Strahlungsanteil ist ein Maß für die „Feuchtdichte“ des durchstrahlten Bodens. Eine hohe Schichtauflösung wird möglich, wenn vom Detektor hauptsächlich die den Boden ohne Ablenkung passierenden Gammaquanten registriert werden. Dies läßt sich sowohl durch Bündelung der Gamma-Strahlen mit Hilfe von Bleikollimatoren [4, 5] erreichen als auch durch elektronische Kollimation [6] oder durch Kombination beider Maßnahmen. Um die Messungen mit vertretbarem mechanischen Aufwand durchführen zu können, ist die Anwendung elektronischer Kollimation durch Diskriminieren der Streustrahlung vorteilhaft [6], da durch den Einsatz von Szintillationssonden in Verbindung mit Impulshöhenanalysatoren Schichtauflösungen von rd. 50 mm erreicht werden. Die Schwächung der Gammastrahlung wird durch das Massenabsorptionsgesetz beschrieben, das für feuchten Boden folgende Form annimmt [2]:

$$I = I_0 \cdot e^{-(\mu_B \cdot \rho_B \cdot l + \mu_w \cdot \Theta \cdot l)} \quad (1)$$

Die Berechnung der Trockenrohddichte des Bodens ρ_B nach dem Absorptionsgesetz setzt also die Kenntnis des Wassergehalts Θ, der Absorptionskoeffizienten von Wasser μ_w und Boden μ_B sowie die Länge l der Meßstrecke voraus.

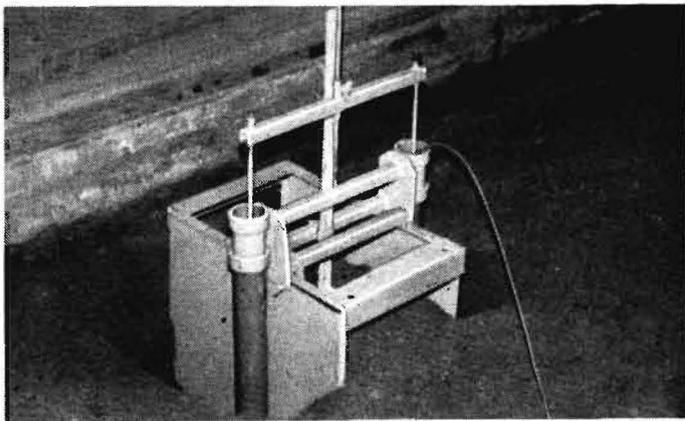


Bild 1. Meßeinrichtung zur Ermittlung der Feuchtdichte des Bodens mit Hilfe der Gamma-Durchstrahlung

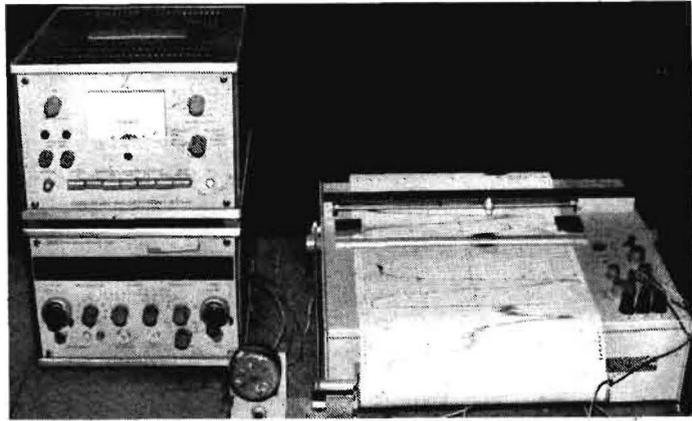


Bild 2. Meßgeräte zur Ermittlung der Feuchtdichte des Bodens mit Hilfe der Gamma-Durchstrahlung

Die Absorptionskoeffizienten lassen sich im Labor durch Absorptionsmessungen an unterschiedlich starken Materialschichten ermitteln. Da die Absorptionskoeffizienten auch vom Grad der Unterdrückung der Streustrahlung abhängig sind (Bild 3), sollte stets bei einer konstanten Impulsenergie diskriminiert werden. Bei der Verwendung von Cs 137 als Strahlungsquelle wurde ein Diskriminatorstand von 90% der Strahlungsenergie von Cs 137, also 0,595 MeV ermittelt, bei dem eine zur Erzielung einer Schichtauflösung von ≤ 50 mm hinreichende Ausblendung der Streustrahlung bei akzeptablen Zählraten erreicht werden konnte [2]. Nach der Bestimmung des Bodenwassergehalts, die auf gravimetrischem Weg erfolgte, läßt sich unter Berücksichtigung der Beziehung

$$\Theta = F \rho_B \quad (2)$$

aus dem Absorptionsgesetz (1) die Trockenrohddichte ρ_B wie folgt berechnen:

$$\rho_B = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{I(\mu_B + \mu_w \cdot F)} \quad (3)$$

3. Meßanordnung

Zur Durchführung der Dichtemessung mit Hilfe der Gamma-Absorption ist es erforderlich, einen Teil des Bodens in der Umgebung der Meßstelle zu entfernen (Bild 1). Daher ist es nicht möglich, an der gleichen Stelle die Dichte vor und nach der Bearbeitung des Bodens mit

den zu untersuchenden Werkzeugen zu messen. Das Anlegen der Meßstelle muß deshalb so erfolgen, daß sowohl der Teil des Bodens, der durch die Werkzeuge bearbeitet wurde, als auch ein Teil des von den Werkzeugen nicht beeinflussten Bodens bei den Messungen mit erfaßt werden kann. Der erforderliche Abstand für die Messung der Dichte des unbearbeiteten Bodens vom Ort des Werkzeugdurchgangs richtet sich nach den vom Werkzeug erzeugten Lockerungs- bzw. Verdichtungszone. Deshalb muß die Breite der Meßstelle senkrecht zur Fahrtrichtung der Werkzeuge ausreichend sein, um eine Messung sowohl des bearbeiteten als auch des unbearbeiteten Bodens zu gewährleisten.

Zur Messung der Dichteänderungen des Bodens infolge der Bearbeitung wurde eine Meßeinrichtung benutzt (Bilder 1 und 4), bestehend aus zwei Trennblechen a, einer höhenverstellbaren Meßgabel b, an der Quelle c und Detektor d befestigt sind, und die zusammen mit den parallelen Meßrohre e, in denen Quelle und Detektor vertikal geführt werden, auf den Oberkanten der Trennbleche horizontal verschiebbar ist. Der Absorber aus Bleifolien f reduziert die Direktstrahlung in dieser Meßstellung auf einen Wert, der der Größenordnung der durch den Boden hindurchtretenden Strahlung entspricht (Absorberzählrate I_A), so daß mit Hilfe der unter den gewählten Meßbedingungen zutreffenden Absorberkonstante die Direktstrahlung I_0 errechnet werden kann (eine Messung der Direktstrahlung ist aufgrund der bei diesen extrem hohen Zählraten auftretenden

Fehler nicht möglich):

$$I_0 = A \cdot I_A \quad (4)$$

Der Absorber ist mit der Parallelführung der Meßrohre verbunden, so daß in jeder Meßstellung die Absorberzählrate bestimmt werden kann. Zur Impulszählung wurde die Szintillationssonde VA-S-50 (d) mit einem Linearverstärker/Analysator VA-V-100 (g) verbunden, der die Impulse verstärkt und diskriminiert. Die energiereichen Impulse, die die Diskriminator-schwelle überschreiten, werden von einem Impulsdichtemesser VA-D-440 (h) überwacht und von einem Strahlungsmeßgerät 20026 (i) gezählt. Der Anschluß eines Meßwertdruckers VA-G-24 A bzw. eines Ergebnisstanzers 3518.000 ist möglich [2]. Zur Justierung der Zählordnung wurde ein motorgetriebenes Pegelpotentiometer (k) benutzt, das mit einem Pegelschreiber (l) zur Aufzeichnung des Spektrums kombiniert war. Durch Ausmessen des Photopeak auf der Mitschrift des Schreibers kann die Lage des Peakmaximums als Diskriminator-Spannungswert bestimmt werden. Für die Messungen wurde eine Diskriminatorspannung von 0,595 MeV ($\pm 90\%$ der Strahlungsenergie von Cs 137) eingestellt. Die durchstrahlte Bodenstrecke betrug 400 mm. Zur Erzielung einer hohen Meßgenauigkeit ist eine Korrektur der vorwiegend durch Temperaturschwankungen am Szintillationsmeßkopf [7] verursachten elektronischen Drift der Meßanordnung erforderlich.

Da in der benutzten Apparatur eine Vertikaldrift (Bild 5a), bedingt durch Veränderung

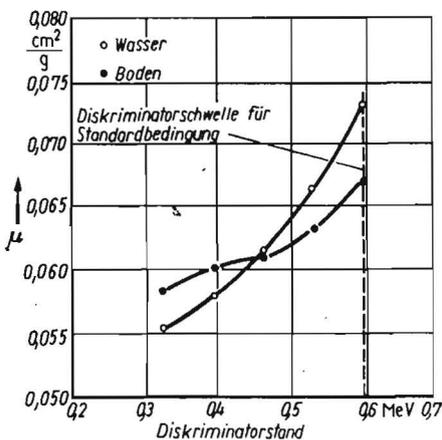
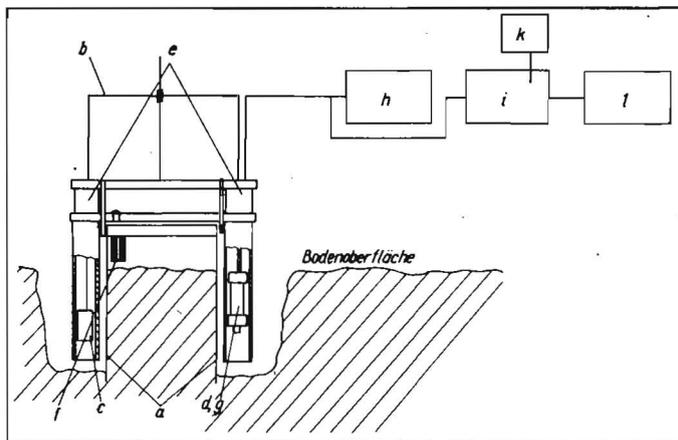


Bild 3

Absorptionskoeffizienten von Boden und Wasser in Abhängigkeit vom Diskriminatorstand

Bild 4

Aufbau der Dichtemess-einrichtung; a Trennbleche, b Meßgabel, c Strahlungsquelle 10 mCi Cs 137 (mit zusätzlichem Bleikollimator), d Szintillations-sonde VA-S-50 mit NaJ(TL)-Szintillator, e Meßrohre, f Absorber aus Bleifolien, g Impulsverstärker/Analysator VA-V-100, h Impulsdichtemesser VA-D-440, i Strahlungsmeßgerät 20026, k Pegelmotor mit Potentiometer kombiniert, l endim-x-y-Schreiber



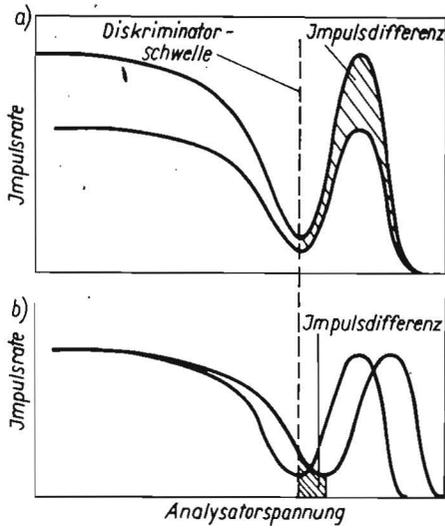


Bild 5. Driftmöglichkeiten bei Gamma-Spektren:
a) Vertikaldrift
b) Horizontaldrift

der Impulsabgabe des Szintillatorkristalls infolge Temperaturänderung, nicht beobachtet werden konnte, ist nur die Korrektur der Horizontaldrift erforderlich. Durch Temperaturschwankung ändert sich die Verstärkung des Sekundärelektronenvervielfachers des Detektors, wodurch diese Horizontaldrift des Impulsverteilungsspektrums hervorgerufen wird (Bild 5b).

Da die Diskrimination erst nach der Verstärkung der Impulse im Analysator erfolgt, verursacht dieser Effekt eine Veränderung der Diskriminatorschwelle im Impulsverteilungsspektrum und damit eine Veränderung der gemessenen Zählraten. Diese Erscheinung läßt sich dadurch kompensieren, daß am Absorber bei exakter Diskriminatoreinstellung die Zählrate („Standardzählrate“ I_{St}) bestimmt wird. Bei Verstimmung der Apparatur im Meßbetrieb wird durch Nachstellen der Diskriminatorspannung mit Hilfe des Pegelpotentiometers die am Absorber gemessene Zählrate („Absorberzählrate“ I_A) so nahe wie möglich an der Standard-

zählrate gehalten. Die zwischen zwei Pegelkorrekturen noch auftretenden geringeren Pegelveränderungen werden durch die Abweichung der Absorberzählrate I_A von der Standardzählrate I_{St} gekennzeichnet und sind mathematisch korrigierbar [2]. Für die Dichtemessungen empfiehlt sich daher eine fortlaufende Kontrolle der Diskriminatorlage durch Messung der Absorberzählrate.

Das bedeutet, daß zwischen jeder Messung der Feuchtdichte im Bodenprofil am jeweils vorgegebenen Meßpunkt eine Messung der Zählrate bei Durchstrahlung des Absorbers erfolgen sollte. Treten Abweichungen von

$$|\Delta I| > 2\sqrt{I_{St}}$$

auf, wird durch Verstellung des Diskriminatorpegels mit Hilfe des Pegelpotentiometers die Standardzählrate wieder eingestellt. Diese Justierung des Diskriminatorpegels läßt sich auch automatisieren [2].

4. Ermittlung des Wirkbereichs verdichtender Bodenbearbeitungs- werkzeuge

In der Bodenrinne der TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, wurden bei Beharrungsfeuchte (rd. 13 Masse-%) Bodenfeuchtdichtmessungen nach der beschriebenen Methode durchgeführt. Als Beispiel sei die Ermittlung der Verdichtungswirkung von praxisüblichen Krumenpackerscheiben und sternförmigen Packerscheiben angeführt, deren Breite auf $\frac{1}{3}$ (= 10 mm) der Breite der Krumenpackerscheiben verringert wurde. Der Durchmesser der Packerscheiben betrug jeweils 700 mm. Die Untersuchungen wurden in gefrästem Boden durchgeführt. Die Anordnung der Meßpunkte gegenüber den bei jedem Versuch eingesetzten drei Werkzeugscheiben erfolgte stets so, daß unterhalb jeder Werkzeugscheibe und jeweils in der Mitte der Zwischenräume zwischen den Scheiben die Bodenfeuchtdichte gemessen wurde (Bild 6). Die Dichte des un bearbeiteten Bodens konnte in rd. 300 mm Abstand von der Bearbeitungsrinne der äußeren Packerscheibe gemessen werden.

Bedingt durch die höhere Eindringtiefe (rd. 150 mm) infolge der geringeren Werkzeugbreite erreichten die sternförmigen Packerscheiben eine tiefere Verdrängung des Bodens. Dadurch traten bei den sternförmigen Packerscheiben im oberen, von den Sternscheiben bearbeiteten Bodenbereich bis rd. 125 mm größere Schwankungen der Trockenrohddichte zwischen den Messungen unterhalb der Werkzeugscheiben gegenüber den Messungen in den Zwischenräumen auf, als bei den eingesetzten Krumenpackerscheiben (Bild 6). Während beim Krumenpacker infolge der geringen Eindringtiefe (rd. 60 mm) das Dichtemaximum und auch eine annähernd gleichmäßige Dichteverteilung im Boden schon bei einer Meßtiefe von rd. 100 mm auftrat, erreichten die sternförmigen Packerscheiben erst in rd. 150 mm Meßtiefe eine annähernd gleichmäßige Dichteverteilung, wobei das Dichtemaximum erst in rd. 200 mm Meßtiefe gemessen wurde. Anhand der ermittelten Dichteverteilung über die Meßtiefe unterhalb des mittleren Werkzeugs (Bild 7a) und in den Zwischenräumen (Bild 7b) für Krumenpackerscheiben und sternförmige Packerscheiben wird deutlich, daß beim Einsatz der Sternscheiben eine Erhöhung der Tiefenwirkung der Bodenverdichtung gegenüber den Krumenpackerscheiben um etwa 100 mm erreicht werden konnte. Darüber hinaus sind die beim Einsatz der beiden Packerscheiben entstehenden, unterschiedlich tiefen Bearbeitungsstellen deutlich als Lockerungszonen meßbar (Bild 7a). Daraus können insgesamt Schlußfolgerungen für die Auswahl und Anordnung nachfolgender Saatbettbereitungswerkzeuge gezogen werden.

5. Fehlerbetrachtung

Bei Messungen der Dichte von Wasser mit der verwendeten Meßanordnung konnte bei einer Diskriminatorenenergie von $\geq 0,529$ MeV ein nicht erfaßbarer systematischer Fehler von $f_1 = \pm 0,002 \text{ g/cm}^3$ ermittelt werden. Für den gefrästen Boden im Bodenkanal wurde bei Beharrungsfeuchte für die Gleichmäßigkeit der Eingangsdichte des zwischen den Trennblechen befindlichen Bodens bei Meßzeiten von 1 min und jeweils 2 Messungen je Meßpunkt eine

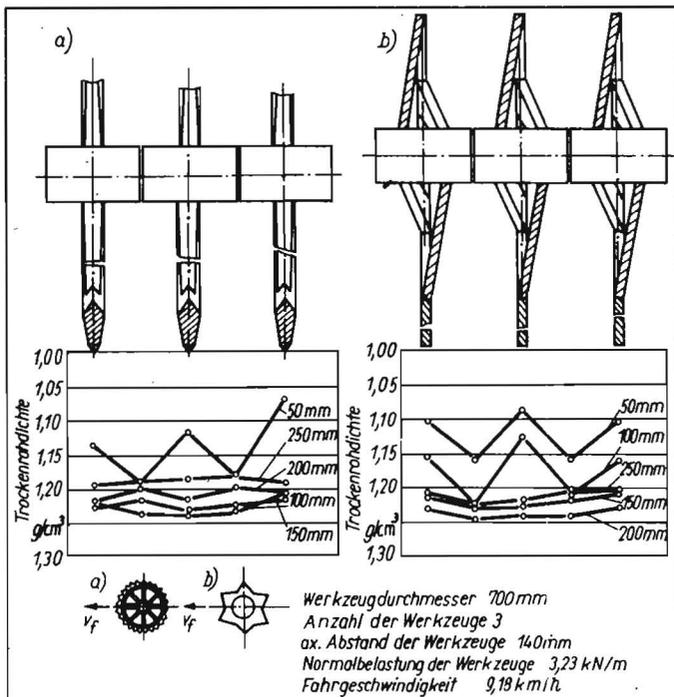
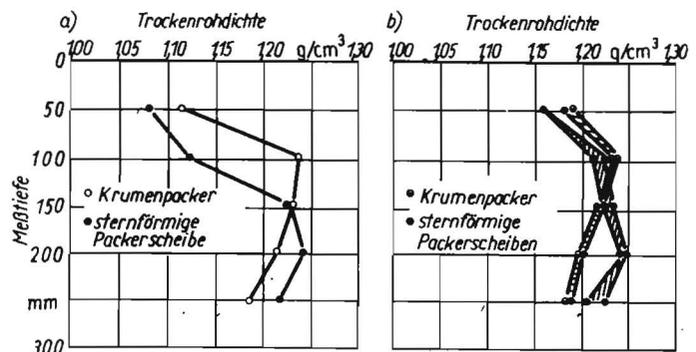


Bild 6. Verdichtungswirkung im Boden in Tiefen von 50 bis 250 mm infolge Bearbeitung durch
a) Krumenpacker
b) sternförmige Packerscheiben

Bild 7. Ermittelte Bodenverdichtung nach Einsatz verschiedener Packerscheiben in der Bodenrinne
a) unterhalb des mittleren Werkzeugs
b) in den Zwischenräumen



Standardabweichung von $\pm 0,013 \text{ g/cm}^3$ bestimmt, so daß sich für die Ermittlung der von den jeweils untersuchten drei Werkzeugen im Boden erzielten Verdichtungswirkung eine Meßunsicherheit [8] von $U_1 = \pm 0,015 \text{ g/cm}^3$ ergibt (bei einer statistischen Sicherheit von $p = 95\%$). Anhand dieser Messungen wird ersichtlich, daß die im Abschn. 3 beschriebene Verfahrensweise zur Ermittlung der Dichte des unbearbeiteten und des bearbeiteten Bodens an einer entsprechend angelegten Meßstelle bei einer Bodenvorbereitung durch Fräsen zulässig ist.

Soll die im Boden bewirkte Dichte bzw. Dichteverteilung unterschiedlicher Werkzeuge oder auch eines Werkzeugs an unterschiedlichen Meßstellen ermittelt und verglichen werden, wie im angeführten Beispiel, so muß auch der bei der gravimetrischen Feuchtebestimmung auftretende Meßfehler berücksichtigt werden. Für die in der Bodenrinne durchgeführten Messungen konnte eine Streuung von $s = 0,25 \text{ Masse-\%}$ ermittelt werden. Mit einem nicht erfaßbaren systematischen Wiegefehler von $f_2 = 0,01 \text{ g}$ [9] ergibt sich die Meßunsicherheit bei jeweils 5 Messungen je Meßstelle zu $U_2 = 0,32 \text{ g/100 g} = 0,32 \text{ Masse-\%}$ ($p = 95\%$). Die gesamte Meßunsicherheit einschließlich des Fehlers bei der Dichtebestimmung kann nach dem quadratischen Fehlerfortpflanzungsgesetz wie folgt ermittelt werden:

$$U_{1/2} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{mit}$$

$$a = \frac{\partial \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{I(\mu_B + \mu_u \cdot F)}}{\partial \frac{I_0}{I}} U_1$$

$$b = \frac{\partial \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{I(\mu_B + \mu_u \cdot F)}}{\partial F} U_2 \quad (4)$$

$$U_{1/2} = \pm 0,032 \text{ g/cm}^3$$

Bei einer durchschnittlich gemessenen Bodendichte von $\rho_B = 1,196 \text{ g/cm}^3$ entspricht $U_{1/2} = \pm 2,68\%$.

Durch eine entsprechende Erhöhung der Wiederholungsmessungen läßt sich der Meßfehler noch weiter verringern [10].

6. Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird ein für den Forschungsbetrieb unter Laborbedingungen (Bodenkanal) anwendbares Dichtemeßverfahren auf der Basis der Gamma-Durchstrahlung vorgestellt, mit dem die von Bodenbearbeitungswerkzeugen im Bodenprofil bewirkte Dichteverteilung entlang einer vertikalen Schnittebene nach beliebig vorgebbaren Koordinaten bestimmbar ist. Bei der Anwendung elektronischer Kollimation durch Diskriminieren der Streustrahlung wurden Schichtauflösungen von rd. 50 mm erreicht. Temperaturbedingte Änderungen in der Verstärkung entsprechend der Meßanordnung ließen sich durch Justierung des Diskriminatorstandes und rechnerische Korrektur ausgleichen, so daß eine Meßunsicherheit von $\pm 0,032 \text{ g/cm}^3$ erreicht werden konnte (bei einer statistischen Sicherheit von $p = 95\%$). An einem Beispiel wird gezeigt, wie mit Hilfe der Methode bereits relativ geringe Unterschiede im Arbeitseffekt, hervorgerufen durch konstruktive Veränderung eines praxisüblichen

Krumenpackers, ermittelt werden können, so daß eine zielgerichtete Beeinflussung der Wirkung der Werkzeuge im Boden erleichtert wird.

Literatur

- [1] Petelkau, H., u. a.: Richtwerte und Normative für die Bodenbearbeitung/Unterbodenbearbeitung. FZB Münchenberg 1979 (unveröffentlicht).
- [2] Tittelbach, F.: Zur Messung der Bodenfeuchte im Feld mit Hilfe der Gamma-Absorption. Isotopenpraxis, Berlin 14 (1978) H. 4, S. 124—127.
- [3] Gurr, C. G.: Use of gamma rays in measurement water content and permeability in unsaturated column of soil. Soil Sci. 92 (1962), H. 4, S. 224—229.
- [4] Eimern, J. van; Lawrynowicz, R.: Erfahrungen mit einer Gammasonde (Lysimeter-sonde) zur Messung des Boden-Wasser-Gehaltes (Bodenfeuchte). Bewässerungswirtschaft, Frankfurt/M. 3 (1968) H. 2, S. 142—159.
- [5] Saxena, G. S.; Franklin, R. E.; Taylor, G. S.: Importance of pulse-high analysis in the gamma-ray attenuation technique for measurement of soil moisture. Soil Sci. 110 (1970), S. 283—286.
- [6] Lhotzky, K.: Untersuchung der Meßgenauigkeit zweier „Gammasonden-Meßmethoden“ zur Bestimmung der Bodenfeuchte auf dem Feld. Wasser und Boden 28 (1976) H. 4, S. 83.
- [7] Reginato, R. J.; Jackson, R. D.: Field measurement of soilwater content by gamma-ray transmission compensated for temperatur fluctuations. Soil Sci. Soc. Amer., Madison 35 (1971) H. 4, S. 529—533.
- [8] TGL 0-1319 Meßtechnik; Grundbegriffe. Aug. April 1963.
- [9] Aufstellungs- und Bedienungsanleitung ober-schaliger Waagen owa labor, Firmenschrift des VEB Wägetechnik Rapido, 1976.
- [10] Tittelbach, F.; Freytag, H.-E.: Feuchtemessungen im Profil natürlich gelagerter Böden mit Hilfe der Gammaabsorption. Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin 22 (1978) H. 10, S. 605—610. A 2780

Abstützung der Seitenkräfte durch starre, passiv rollende Scheiben

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

1. Problemstellung

Ausgehend von den gesellschaftlichen Zielstellungen [1] werden an die Bodenbearbeitung hohe Anforderungen gestellt:

- höchste Arbeitsqualität als Grundlage für maximale Erträge
- Steigerung der Arbeitsproduktivität
- rationelle Energieanwendung (Energieeinsparung). [2]

Für die Grundbodenbearbeitung (Pflügen) sind bei den gegenwärtigen Arbeitsbreiten (z. B. B 550: B = 2,8 m) Traktoren mit einer Leistung von $P = 158 \dots 220 \text{ kW}$ (K-700, K-701) erforderlich, die je nach den Bodenverhältnissen und Kombination mit Saatbettbereitungsgeräten teil- bis vollausgelastet werden.

Die vom Pflug benötigte Zugkraft, die der Traktor an seiner Zugvorrichtung aufzubringen hat, setzt sich zusammen aus

$$F_T = R_x + S_x + R_y \cdot \mu_y + (R_z + G_p - S_z) \mu_z \quad (1)$$

R_x Horizontalkomponente parallel zur Fahrtrichtung des resultierenden Widerstands der Pflugkörper

R_y Horizontalkomponente senkrecht zur Fahrtrichtung des resultierenden Widerstands der Pflugkörper

R_z Vertikalkomponente des resultierenden Widerstands der Pflugkörper

μ_y Reibwert an den Abstützelementen für

die Seitenkraft

μ_z Reibwert an den Abstützelementen für die Vertikalkraft

G_p Gewicht des Pfluges

S_x, S_z Horizontal-, Vertikalkomponente der Widerstandskraft an den Scheibensechen

v_x Fahrgeschwindigkeit des Pfluges (Relativgeschwindigkeit zwischen den Abstützelementen und dem Boden in Fortbewegungsrichtung).

Dabei wird in Gl. (1) angenommen, daß der Traktor keine Seitenkräfte abstützt. Ebenso wird nicht berücksichtigt, daß der Traktor zusätzlich Vertikalkräfte vom Pflug übernimmt.

Die vom Traktor an seiner Zugvorrichtung aufzubringende Verlustleistung, die als Reibverlust auf den Boden übertragen wird, beträgt

$$P_v = v_x [R_y \mu_y + (R_z + G_p) \mu_z] \quad (2)$$

Zur Senkung der Verlustleistung wurden bisher vielzählige Varianten vorgeschlagen, um vor allem die Reibwerte an den Abstützelementen zu verringern (z. B. rollende Anlagen, Wegfall der Schleifsohlen der Pflugkörper und Abstützung der Vertikalkräfte über das Fahrwerk).

Im folgenden soll eine Methode beschrieben werden, bei der über die Verringerung der Relativgeschwindigkeit zwischen den Abstütz-

elementen und dem Boden parallel zur Fortbewegungsrichtung eine Senkung der Verlustleistung erreicht wird [s. Gl. (2)].

2. Abstützung der Seitenkräfte des Pfluges mit Hilfe von rotierenden Scheiben

An den derzeit bekannten Pflügen werden die an den Pflugkörpern entstehenden Seitenkräfte über gleitende (oder in wenigen Fällen rollende) Anlagen auf die senkrechte Furchenwand der von ihnen erzeugten Furche übertragen. Dadurch wird gewährleistet, daß der Pflug in der Horizontalebene eine stabile Arbeitslage einnimmt. Die Anlagen der hinteren Pflugkörper sind meistens länger als die der vorderen. Neben anderen Faktoren (wie z. B. Bodenaufbruch, Anbringung von Vorschälern usw.) behindert das Vorhandensein von Anlagen die Verringerung des Staffelungsabstands zwischen den Pflugkörpern und damit das Entwickeln von Pflügen mit kurzer Baulänge.

Moderne Pflüge, die die agrotechnischen Forderungen, vor allem an das verstopfungsfreie Unterbringen der an der Bodenoberfläche befindlichen organischen Substanzen, erfüllen, weisen vor jedem Pflugkörper angeordnete Scheibenseche auf. Diese Scheibenseche haben ein Nachlaufgelenk und sind gegenüber an der Bodenoberfläche befindlichen Hindernissen überlastgeschützt. Wird das seitliche Schwenken blockiert, können von diesen Elementen