

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 (Lysimetersonde) 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

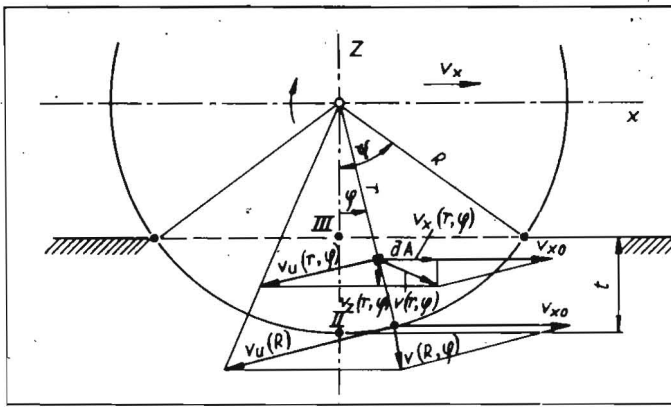


Bild 1. Geschwindigkeitsverhältnisse an der rollenden Scheibe im Boden

Seitenkräfte auf den Boden übertragen werden.

Gegenüber starren gleitenden Anlagen, die mit der Fahrgeschwindigkeit v_x an der Furchenwand reiben, weisen passiv rotierende Scheiben eine geringere Relativgeschwindigkeit parallel zur Fortbewegungsrichtung auf. Damit kann die durch das Abstützen der Seitenkraft R_y aufzubringende Verlustleistung verringert werden.

3. Ermittlung der parallel zur Fortbewegungsrichtung vorhandenen Relativgeschwindigkeit des im Boden befindlichen Abschnitts einer rotierenden Scheibe (Bild 1)

Es wird vorausgesetzt, daß die Umfangsgeschwindigkeit $v_u(R)$ der Scheibe gleich der Fahrgeschwindigkeit v_{x0} ist. Der zur Abstützung von Seitenkräften erforderliche Anstellwinkel gegenüber der Fortbewegungsrichtung wird infolge seiner geringen Größe vernachlässigt.

An einem Flächenelement dA mit den Koordinaten r und φ überlagern sich die Fahrgeschwindigkeit v_{x0} und die Umfangsgeschwindigkeit $v_u(r, \varphi)$ und ergeben die resultierende Geschwindigkeit $v(r, \varphi)$ gegenüber dem Boden. Die Relativgeschwindigkeit $v_x(r, \varphi)$ des Flächenelements parallel zur Fortbewegungsrichtung ist

$$v_x(r, \varphi) = v_{x0} \left(1 - \frac{r}{R} \cos \varphi \right) \quad (3)$$

Weiterhin gilt

$$v_u(r, \varphi) = \frac{r}{R} v_{x0} \quad (4)$$

$$\psi = \arccos \left(1 - \frac{t}{R} \right) \quad (5)$$

$$dA = r \cdot dr \cdot d\varphi \quad (6)$$

Zur Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit $\bar{v}_x(r, \varphi)$ des im Boden befindlichen Kreisabschnitts wird mit Gl. (3) über die Fläche integriert:

$$\bar{v}_x(r, \varphi) = \frac{v_{x0}}{A} \int \int \left(1 - \frac{r}{R} \cos \varphi \right) r \, dr \, d\varphi \quad (7)$$

Bezogen auf die Fahrgeschwindigkeit ergeben sich die Beziehungen

$$\frac{\bar{v}_x(r, \varphi)}{v_{x0}} = \frac{1}{A^*} \int_{r=\frac{R-t}{\cos \varphi}}^R \int_{\varphi=0}^{\psi} \left(1 - \frac{r}{R} \cos \varphi \right) r \, dr \, d\varphi \quad (7a)$$

Die Integration kann über den halben Kreisabschnitt (I-II-III) erfolgen, da — wie sich leicht nachprüfen läßt — symmetrische Geschwindigkeitsverhältnisse vorliegen.

Weiterhin ist

$$A^* = \frac{R^2}{4} (2\psi - \sin 2\psi) \quad (8)$$

Die Integration von Gl. (7a) ergibt unter Einbeziehung von Gl. (8):

$$\frac{\bar{v}_x(r, \varphi)}{v_{x0}} = \frac{R^2 \left(\frac{\psi}{2} - \frac{\sin \psi}{3} \right) - \tan \psi \left[\frac{(R-t)^2}{2} - \frac{(R-t)^3}{3R} \right]}{\frac{R^2}{4} (2\psi - \sin 2\psi)} \quad (9)$$

Für die bisher angewendeten Scheibendurchmesser D und Arbeitstiefen t ergeben sich mittlere Relativgeschwindigkeiten \bar{v}_x zwischen dem Abschnitt des Scheibensechts und dem Boden, die wesentlich unter der Fahrgeschwindigkeit v_{x0} liegen (Bild 2).

4. Verringerung der Verlustleistung infolge Reibung an der Furchenwand

Der Anteil der für die Reibung an der Furchenwand (Abstützung der Seitenkräfte) aufzubringenden Verlustleistung ist nach Gl. (2):

$$P_v(R_y) = R_y \cdot \mu_y \cdot v_x \quad (2a)$$

Da die mittlere Relativgeschwindigkeit \bar{v}_x zwischen dem Scheibenabschnitt und dem Boden wesentlich geringer als die Fahrgeschwindigkeit v_{x0} ist (s. Bild 2), sinkt bei Anwendung rotierender Scheiben für das Abstützen von Seitenkräften die Verlustleistung nach Gl. (2a) ganz erheblich. Große Scheibendurchmesser D und kleine Arbeitstiefen t der Scheibenseche können zur Reduzierung der Reibungsverluste an den Furchenwänden auf 20 bis 10% führen. Zu einer überschlägigen Berechnung der Leistungs- bzw. Kraftstoffeinsparung beim Pflügen mit dem Traktor K-700 und dem Aufsattelbeetpflug B 550 wird angenommen, daß der Widerstand R_x der Pflugkörper bei $t = 22$ cm, $v_{x0} = 2,5$ m/s und einem mittleren spezifischen Pflugwiderstand $f_x = 0,58$ kN/dm² [3] $R_x = 35,7$ kN beträgt. Im Mittel ergibt sich die Seitenkraft $R_y \approx 0,3 R_x$ [4]

Mit einem Reibungskoeffizient Stahl/Boden $\mu_y = 0,28 \dots 0,9$ [4] erhält man für starre,

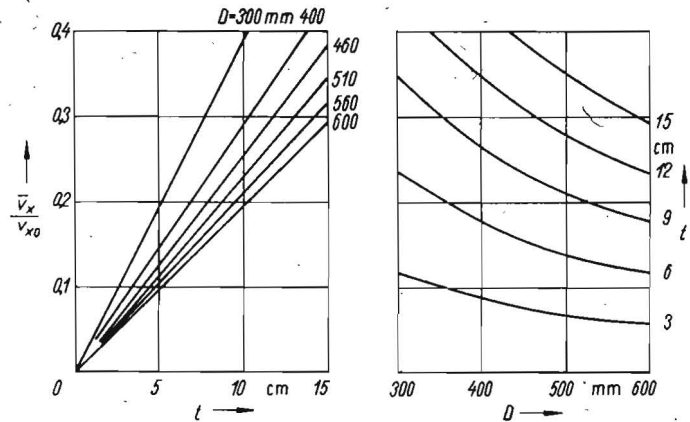


Bild 2. Verhältnis zwischen mittlerer Geschwindigkeit \bar{v}_x und Fahrgeschwindigkeit v_{x0} am Scheibensech in Abhängigkeit von Arbeitstiefe t und Durchmesser D

gleitende Anlagen eine Reibleistung $P_v(R_y) = 7,5 \dots 24$ kW.

Werden die Seitenkräfte durch starre, rollende Scheiben auf den Boden übertragen, bei denen die resultierende Geschwindigkeit parallel zur Fortbewegungsrichtung nur noch 20% der Fahrgeschwindigkeit beträgt (s. Bild 2), entsteht eine Zugleistungseinsparung von $P_x = 6 \dots 19$ kW.

Bezogen auf die Zugleistung weist der Traktor K-700 einen spezifischen Kraftstoffverbrauch von $b_{sp} = 365 \dots 410$ g/kWh im optimalen Fahrgeschwindigkeitsbereich ($v_{opt} = 8,5 \dots 10$ km/h) auf [5]. Die ermittelte Zugleistungseinsparung führt demnach zu einem Minderverbrauch an Dieselkraftstoff, der beim Einsatz des Traktors K-700 mit dem Aufsattelbeetpflug B 550 zwischen 2 kg/h und 8 kg/h betragen kann.

5. Zusammenfassung

Durch eine starre, d.h. nicht nachlaufgelenkte Anordnung der Scheibenseche vor den Pflugkörpern ist infolge geringerer Reibverluste bei der Abstützung der am Pflug auftretenden Seitenkräfte eine Zugleistungs- und Kraftstoffeinsparung möglich. Dabei erfüllen die Scheibenseche weiterhin ihre ursprüngliche Funktion des Schneidens von organischen Substanzen.

Mit dem Wegfall der Anlagen an den Pflugkörpern kann der Staffellingsabstand zwischen den Pflugkörpern verringert werden, weil die Bewegung der Bodenbalken nicht mehr behindert wird. Damit werden neben der Entwicklung spezieller Pflugkörper [6] weitere Möglichkeiten geschaffen, Pflüge mit geringerer Bauhöhe und Masse zu konzipieren.

Literatur

- [1] Direktive des IX. Parteitag des SED zum Fünfjahrplan für die Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR in den Jahren 1976—1980. Berlin: Dietz-Verlag 1976.
- [2] Soucek, R.: Zu einigen Fragen des technischen Standes der Bodenbearbeitungsgeräte in der DDR und deren Weiterentwicklung. agrartechnik 24 (1974) H. 1, S. 23—25, 29.
- [3] Krupp, G.: Landtechnische Analyse agrotechnischer Forderungen an das Pflügen. agrartechnik 26 (1976) H. 8, S. 364—368.
- [4] Bosoi, E. S.: Teoria, konstrukcia i rasčet sel'skochozajstvennych masin (Theorie, Konstruktion und Berechnung landwirtschaftlicher Maschinen). Moskva: Mašinostroenie 1978.
- [5] Traktor „Kirovec“. Alma-Ata: Verlag „Kainar“ 1977.
- [6] Pflugkörper. DDR-PS 122 768; A 01 b, 15/02, Ausgabetag 5. Nov. 1976. A 2755