

Verkürzung bzw. Wegfall der Verbindungsleitungen zu einer Montageeinheit zusammengefaßt und an einer zentralen Stelle angeordnet werden, die in die Gesamtkonzeption des Traktors paßt.

2.2.3. Landmaschinen

Die in 2.1.1 für die Gesamtanlage genannten Forderungen gelten auch hier.

2.2.3.1. Die Anlage von Maschinen mit eigener Energiequelle muß (im Vergleich zur Traktoranlage) nur einen „inneren Kreislauf“ mit einem oder mehreren Funktionskreisen gewährleisten. Aus Gründen der Austauschbarkeit, der Instandsetzung und Ersatzteilversorgung sind weitestgehend gleiche Baugruppen wie in der Traktoranlage einzusetzen.

2.2.3.2. Die Anlage von Maschinen mit fremder Energiequelle ist in der Koppelung zum „äußeren Kreislauf“ der Traktoranlage zu betrachten und hat einen oder mehrere Funktionskreise zu gewährleisten.

Die Anlage umfaßt:

- Die Verbindungselemente (Schlauchkupplungen) mit den „freien“ Anschlüssen der anzukoppelnden Anlage der Traktoren und Verbindungsleitungen.

- Arbeitszylinder als Verbraucher.

Dafür sind aus Gründen der Austausch- und Wechselnutzbarkeit, der Instandsetzung und Ersatzteilversorgung weitestgehend „freie“ Arbeitszylinder einzusetzen.

- Zusätzliche Steuer- und Regeleinrichtungen, wenn aus Gründen der durchzuführenden Bewegungsvorgänge und Bedienbarkeit das zum „äußeren Kreislauf“ der Traktoranlage gehörende Steueraggregat nicht ausreicht. In zunehmendem Maße gehören dazu auch Folgesysteme zur Lenkung und zur Regelung der Stabilität von Landmaschinen.

2.3. Koppelbarkeit der Landmaschinen- und Anhänger — zur Traktoranlage

Die entscheidende Voraussetzung für die Koppelbarkeit der Landmaschinen und -Anhänger zur Traktoranlage und deren Funktionsfähigkeit ist die nationale und internationale Abstimmung der hydraulischen und der Anschlußparameter. Entsprechende Details werden in einem späteren Teil dieser Aufsatzreihe behandelt.

(Teil III folgt in Heft 3/1967)

A 6719

Ing. W. PFLÜGER*

Tiefenhaltung und ökonomischer Nutzen bei Anwendung der Regelhydraulik an Traktoren (Teil II)¹

3. Vergleichsuntersuchungen zur Tiefenhaltung

3.1. Meßeinrichtung

Da die Tiefenhaltung des Anbaupfluges als Bewertungsmaßstab beim Vergleich der einzelnen Regelsysteme gelten sollte, ergab sich die Notwendigkeit, den Verlauf der Furchentiefe entlang der Versuchsstrecke zu messen und zum Zwecke der späteren statistischen Auswertung zu registrieren.

Es muß von vornherein betont werden, daß die Messung der Bearbeitungstiefe auf einem unvorbereiteten Acker infolge des Fehlens einer ebenen Bezugsfläche in Absolutwerten überhaupt nicht möglich ist. Da das als Bezugsgröße dienende Profil der Bodenoberfläche selbst starken Schwankungen unterworfen ist, ergeben sich bei der Messung nur in einer größeren Gesamtheit vergleichbare Relativmaße zwischen Bodenoberfläche und Furchensohle.

Die Ermittlung von Absolutmaßen wäre z. B. denkbar in der Form, daß ein über der Meßstrecke ausgespannter Draht oder dgl. als Ausgangsbasis dient. Hierbei müßte allerdings jeglicher Durchhang vermieden werden — eine bei einer Meßstrecke von 50 m wohl kaum zu verwirklichende Forderung!

In der Literatur konnte keine Beschreibung einer in der Praxis bewährten, die geschilderten Nachteile nicht aufweisenden Meßapparatur gefunden werden. Lediglich an einer Stelle wird auf eine Meßeinrichtung hingewiesen, bei der mit Hilfe mehrerer, in gewissen Abständen nebeneinander angeordneter Taster versucht wird, eine Mittelwertbildung vorzunehmen. Eine nach ähnlichem Prinzip (Abtastung von jeweils drei nebeneinanderliegenden Punkten) arbeitende Meßeinrichtung wurde für frühere Versuche im Brandenburger Traktorenwerk gebaut und angewendet. Es zeigten sich jedoch hierbei keine nennenswerten Vorteile — z. B. in Form eines ausgeglicheneren Meßschriebes — gegenüber der Verwendung einer einfachen Meßrolle. Da also für die Tiefenmessung und -registrierung auf keine bewährten oder gar

vorhandenen Elemente zurückgegriffen werden konnte, mußte erst eine entsprechende Einrichtung geschaffen werden.

Grundsätzlich ist zur Messung der Arbeitstiefe eines mehrfurchigen Pfluges noch folgendes zu bemerken:

Auf Grund der unebenen Ackeroberfläche bestehen auch quer zur Bearbeitungsrichtung relativ große Niveauunterschiede (gemessen bis zu 13 cm bei einer Arbeitsbreite von 105 cm). Da als Vergleichsbasis bei der Messung immer die Höhe der Furchenkante dient, würde sich also bei Einzelmessungen für jeden Pflugkörper eine unterschiedliche Arbeitstiefe ergeben. Normalerweise wird in der Praxis immer nur die Tiefe des letzten Körpers gemessen. Da sich aber bei einem Anbaupflug — bedingt durch die Kinematik der Anlenkung — die Arbeitstiefe am letzten Körper zumindest in den meisten Fällen stärker ändert als am ersten, ist diese Messung bei einer gewünschten Aussage über die Tiefenhaltung eines Regelsystems nicht zweckmäßig [14].

Bei den Vergleichsuntersuchungen kam es darauf an, einen gewissen Mittelwert der Arbeitstiefe zu messen. Hierzu gibt es zwei Möglichkeiten:

Entweder wird in Höhe des ersten und letzten Pflugkörpers je eine Tastvorrichtung angebracht, aus deren jeweiliger Anzeige ein Mittelwert gebildet werden kann oder aber man bringt die Tasteinrichtung von vornherein in der Mitte des Pfluges an.

Da sich die letztere Variante an dem für die Versuche verwendeten dreifurchigen Anbaupflug gut realisieren ließ und außerdem die einfachere Lösung darstellt, wurde auf diese Art und Weise eine *mittlere* Furchentiefe gemessen (Bild 1).

Das am Pflugrahmen befestigte Meßwerk bestand aus zwei an einer Pendelschwinge angelenkten, sandgefüllten Rollen als Tasteinrichtung und dem mit dieser über einen Stahldraht verbundenen Universalgerät nach Dr. GEIGER zur Aufzeichnung der Meßschriebe.

* Institut für Landmaschinen- und Traktorenbau Leipzig (Direktor: Dr.-Ing. H. REICHEL)

¹ Teil I s. H. 1/1967, S. 37

Diese Schriebe wurden anschließend auf einem von der TU Dresden entwickelten Spezialgerät klassiert und ausgezählt und somit für die nachfolgende statistische Auswertung aufbereitet.

Ursprünglich diente als Tastorgan eine einfache, zur Erreichung eines möglichst ruhigen Laufes mit Sand gefüllte Schlepprolle. Diese überträgt jedoch jede überrollte Boden-erhebung in voller Größe auf den Meßschieb. Zur Abschwächung dieser unerwünschten Ausschläge wurde später die erwähnte Pendelschwinge mit zwei hintereinander angeordneten, sandgefüllten Tastrollen eingesetzt. Entgegen dem wünschenswerten Idealfall wird auf dem Meßschieb nicht direkt die Bewegung des Pfluges, sondern nur die der Tasteinrichtung abgebildet. Die Extremwerte des Kurvenzuges müssen also durchaus nicht immer einer analogen Abweichung des Pfluges von der Solltiefe entsprechen, sondern können durch das Bodenprofil bedingt sein. Eine Abhilfe wäre hier zu schaffen gewesen, wenn man die Oberfläche des Versuchsfeldes vorher geglättet hätte. Da es aber auf einen Vergleich der einzelnen Regelsysteme unter realen Einsatzbedingungen ankam, wäre hiermit für die Tastregelung eine ungerechtfertigte, bevorzugte Ausgangsbasis entstanden.

Aus diesem Grunde wurde auf eine präparierte Feldoberfläche verzichtet und in Ermangelung der Kenntnisse einer besonderen Versuchsmethodik trotz der geschilderten Nachteile nach der zuletzt beschriebenen Variante gearbeitet.

Da die statistische Auswertung auf der Bildung eines Mittelwertes und der Ermittlung der Streuung um diesen Mittelwert unter Beachtung aller positiven und negativen Abweichungen basiert, wurde bei der Auswertung die Annahme zugrunde gelegt, daß sich die durch das Bodenprofil hervorgerufenen Extremwerte auf der Länge der Meßstrecke ungefähr zu gleichen Teilen auf den positiven und negativen Bereich verteilen, so daß der Mittelwert und die Streuung angenähert den Werten der wirklichen Pflugbewegung entsprechen.

3.2. Versuchsdurchführung

Als ungefähr leistungsgleiche Versuchstraktoren standen drei mit dem jeweiligen Regelsystem ausgerüstete Typen zur Verfügung:

- Traktor A; 60 PS (Zugkraft-² bzw. Lageregelung)
- Traktor B; 50 PS (Mischregelung mit fester Arretierung)
- Traktor C; 50 PS (Tastregelung)

Alle Traktoren wurden jeweils mit dem gleichen dreifurchigen Anbau-Beetpflug B 125 (Pflugkörper 30 Z) eingesetzt, der stets mit einwandfreien Scharen versehen war.

Zur Ermittlung der Wirkungsweise der einzelnen Regelsysteme bei unterschiedlichen Bodenwiderständen wurden die Versuche auf leichtem (Nauen), wechselndem (Müncheberg) und schwerem Boden (Golzow) durchgeführt.

Da bekanntlich mit dem freipendelnden Anbaupflug eine zufriedenstellende Tiefenhaltung erreichbar ist, wurde zur Schaffung einer Ausgangs-Vergleichsbasis auf jeder Bodenart auch eine Versuchsserie mit Schwimmstellung durchgeführt. Hierbei wurde der Anbaupflug dann jeweils mit Stützrad und Schleifsohle versehen, während bei der Arbeit mit den einzelnen Regelsystemen diese Elemente selbstverständlich abgenommen waren.

Zur Ermittlung des Einflusses der Fahrgeschwindigkeit auf das Regelergebnis wurde jedes Regelsystem an jedem Einsatzort mit drei verschiedenen Geschwindigkeiten gefahren. Entsprechend der an den einzelnen Traktoren vorhandenen Getriebeabstufungen arbeiteten sie in drei angenähert übereinstimmenden Fahrgeschwindigkeiten zwischen 4 und 8 km/h.

Um diese Geschwindigkeiten auch bei schwierigen Einsatzbedingungen angenähert einhalten zu können, wurde in diesen Fällen eine weitere Zugmaschine vor den Vergleichstraktor gespannt.

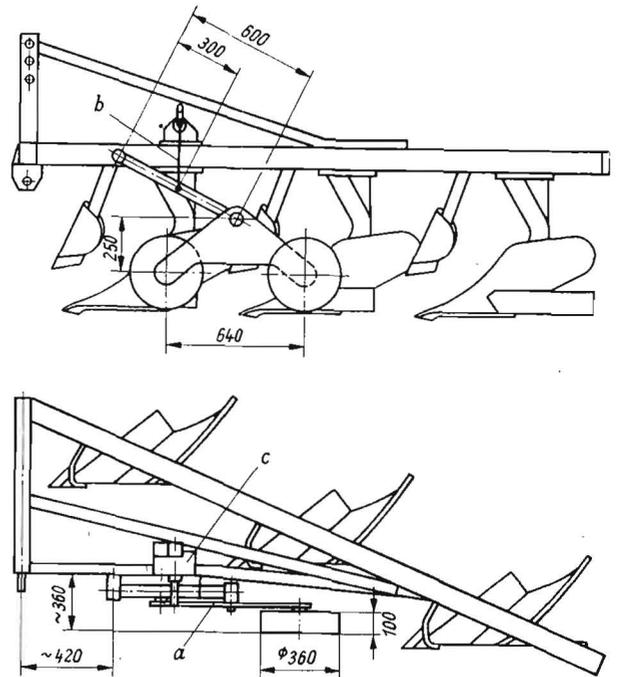


Bild 1. Meßeinrichtung für fortlaufende Tiefenregistrierung; a Pendelschwinge, b Stahldraht, c Universalgerät nach Dr. GEIGER

Um eine statistisch gesicherte Aussage zu erhalten, erfolgte jeder Versuch dreimal.

Die jeweilige Länge der Meßstrecke betrug 50 m. Neben der Arbeitstiefe wurde noch die Durchfahrtszeit durch die Meßstrecke gemessen.

Jedem Wechsel des Pfluges an einen anderen Traktor folgte eine „Leerfahrt“ zur Einstellung des Pfluges auf eine Solltiefe von 20 cm. Diese relativ flache Einstellung wurde deshalb gewählt, weil die Leistungsfähigkeit eines Regelsystems hierbei viel stärker zum Ausdruck kommt als bei größeren Arbeitstiefen (die Einhaltung einer bestimmten Arbeitstiefe ist bei flacher Furche auf Grund der geringeren Führungskräfte schwieriger als bei tiefer Furche; die zulässigen Toleranzen stehen im prozentualen Verhältnis zur Furchentiefe).

Wegen der nicht geglätteten Oberfläche der Versuchsfelder traten zum Teil erhebliche Unebenheiten auf, hervorgerufen durch das vorliegende Befahren mit Mähdresechern, Traktoren und Anhängern. Um auch den Einfluß größerer, durch die Geländegestaltung bedingter Bodenunebenheiten (Talsenken bzw. Bergkuppen) auf das Regelergebnis kennen zu lernen, wurden nach Möglichkeit wellige Versuchsfelder ausgesucht. Zur Feststellung der spezifischen Bodeneigenschaften dienten Bodenproben von jedem Einsatzort.

3.3. Auswertung der Vergleichsprüfung

3.3.1. Die Auswertungsmethode

Die statistische Auswertung erfolgte nach der von REGGE [15] beschriebenen Methode:

Die mit der unter 3.1 beschriebenen Einrichtung gewonnenen Meßschiebe wurden zunächst mit Hilfe des bereits erwähnten Spezialgerätes klassiert und ausgezählt. Entsprechend der Anzahl der an diesem Gerät vorhandenen Zählwerke war hierbei eine maximale Klassenanzahl von 12 möglich.

Nach einer in [15] angegebenen Beziehung gilt für die Festlegung der Klassenanzahl a in Abhängigkeit von der Anzahl der Versuchswerte n :

$$a \leq 5 \lg n$$

² eingestellt auf größte Ansprechempfindlichkeit

Schwimmstellung		Tastregelung	Mischregelung	Zugkraftregelung		Lageregelung		Bodenart/Einsatzort	
Mittelwerte, bezogen auf die jeweilige Bodenart									
x_r [%]	s_r [%]	x_r [%]	s_r [%]	x_r [%]	s_r [%]	x_r [%]	s_r [%]	x_r [%]	s_r [%]
+ 12,7 ± 9,1	- 3,3 ± 9	+ 6,5 ± 11,3	+ 2,7 ± 11,8	+ 4,3 ± 14,4	Leichter Boden/Nauen				
- 2,3 ± 9,8	- 4,6 ± 11,5	+ 5,1 ± 10,8	- 1,5 ± 14	+ 3,9 ± 15,7	Wechselnder Boden/Müncheberg				
+ 7,3 ± 9	+ 7,2 ± 11	+ 23,2 ± 14,3	+ 20 ± 16,9	+ 10 ± 21,1	Schwerer Boden/Golzow				
Gesamt-Mittelwerte für alle Bodenarten									
x_r [%]	s_r [%]	x_r [%]	s_r [%]	x_r [%]	s_r [%]	x_r [%]	s_r [%]	x_r [%]	s_r [%]
+ 5,9 ± 9,3	- 0,2 ± 10,5	+ 11,6 ± 12,1	+ 7,1 ± 14,2	+ 6,1 ± 17,1					

$$x = \bar{x} - 20 \text{ [cm]; } x_r = \frac{100 \cdot x}{20} \text{ [%]}$$

Tafel 1
Vergleich verschiedener Regelsysteme. Zusammengefaßte Werte der relativen Abweichungen des arithmetischen Mittelwertes der Furchentiefe vom Sollwert x_r und der relativen Streuungen um diesen Mittelwert s_r .

Bild 2
Zusammengefaßte Ergebnisse der Vergleichsprüfung verschiedener Regelsysteme hinsichtlich der Tiefenhaltung
a) Auf leichtem Boden, b) auf wechselndem Boden, c) auf schwerem Boden, d) Durchschnittswert für alle Bodenverhältnisse; a Lageregelung, b Zugkraftregelung, c Mischregelung, d Tastregelung, e Schwimmstellung

Die Anzahl der Versuchswerte schwankt bei den aufgenommenen Meßschrieben je nach deren Länge (abhängig von der Fahrgeschwindigkeit) zwischen 949 und 3859. Nach obiger Beziehung ergibt sich hierfür unter Zugrundelegung des Kleinstwertes 949 eine maximal zulässige Klassenanzahl von 15, die aber ohne weiteres unterschritten werden darf.

Bei den Versuchen erwies sich eine Variationsbreite b_v von 18 cm (12 bis 30 cm) als günstig) Hierbei ergibt sich dann für die Klassenbreite b_k nach der Formel $b_k = \frac{b_v}{a}$ ein Wert von $b_k = 1,5$ cm.

Die nach dem Durchlaufen der Schriebe am Klassiergerät abzulesenden absoluten Klassenhäufigkeiten f wurden anschließend nach den in [15] angegebenen Formeln der mathematischen Statistik ausgewertet:

$$\text{Relative Klassenhäufigkeit: } p_i = \frac{f_i}{n} \cdot 100 \text{ [%]}$$

$$\text{Relative Summenhäufigkeit: } q_i = \sum_{n=1}^{n=i} P_i \text{ [%]}$$

$$\text{Arithmetisches Mittel: } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{k=a} f \cdot x_k \text{ [cm]},$$

wobei x_k = Klassenmittel

$$\text{Standardabweichung: } s = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^{k=a} f_k (x_k - \bar{x})^2} \text{ [cm]},$$

wobei f_k = jeweilige Klassenhäufigkeit

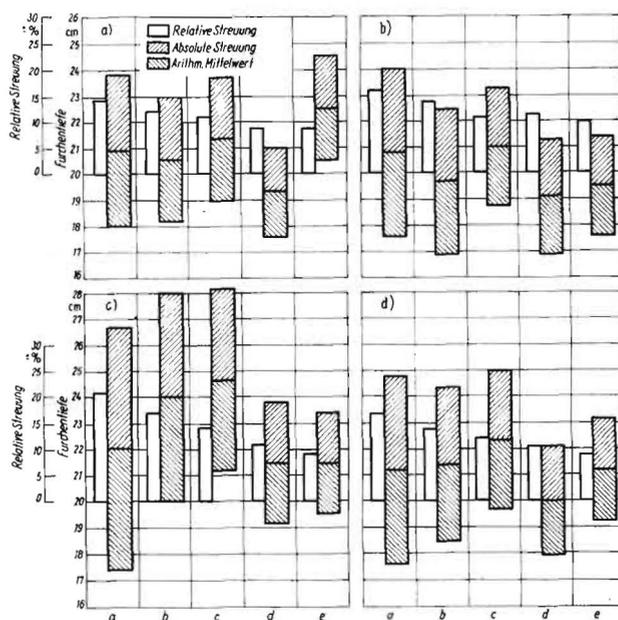
$$\text{Relative Streuung: } s_r = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Diese Formeln gelten streng genommen nur bei Vorliegen einer „Normalverteilung“ der Häufigkeitswerte in den einzelnen Klassen. Eine solche Normalverteilung liegt z. B. dann vor, wenn die relative Summenhäufigkeit q über den jeweiligen Klassenmitten im Wahrscheinlichkeitsnetz aufgetragen eine Gerade ergibt.

REGGE [15] gibt an, daß die Häufigkeitsverteilung in den einzelnen Klassen bei praktischen Feldversuchen nicht immer linear ist. Die dadurch entstehenden Differenzen bei Anwendung der genannten Formeln seien aber bei einer genügend großen Versuchswertanzahl so gering, daß eine Korrektur nicht erforderlich ist.

Im vorliegenden Fall ist eine genügend große Anzahl von Versuchswerten und damit die Berechtigung für die Anwendbarkeit der genannten Formeln ohne Kenntnis des Verteilungsverhaltens gegeben. Entsprechende Untersuchungen ergaben, daß eine graphische Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes und der Streuung im Wahrscheinlichkeitsnetz nicht zu empfehlen ist.

Die für jeden einzelnen Versuch errechneten Werte für die mittlere Furchentiefe \bar{x} sowie für die absolute und relative



Streuung s bzw. s_r wurden zu Mittelwerten zusammengefaßt; und zwar zunächst auf die jeweilige Bodenart und schließlich insgesamt auf das jeweilige Regelsystem bezogen. Die Ergebnisse sind in Bild 2 dargestellt.

Um einen vergleichswisen Überblick über die Größenordnung der beiden möglichen Abweichungen vom Sollwert (arithmetischer Mittelwert und Streuung) zu bekommen, wurden die Abweichungen des arithmetischen Mittelwertes vom Sollwert ebenso wie die Streuung in Relativwerte umgerechnet. Die Ergebnisse sind in Tafel 1 zusammengefaßt. In der untersten Zeile bei der Darstellung der Gesamt-Mittelwerte für alle Bodenarten ist zu erkennen, daß die relative Abweichung des arithmetischen Mittelwertes vom Sollwert z. B. bei der Mischregelung fast dieselbe Größe annehmen kann wie die relative Streuung. Wollte man die sich aus beiden Faktoren addierende Abweichung prozentual auf den Sollwert beziehen, so ergäbe sich stets ein wesentlich größerer Wert als 10%. Aus dieser Erkenntnis heraus wurde die Schlußfolgerung gezogen, daß die ohne nähere Definition geforderte Toleranz von $\pm 10\%$ nur als relative Streuung um den arithmetischen Mittelwert gedeutet werden kann.

Literatur

- [14] SEIFERT, A.: Untersuchungen von drei Systemen regelnder hydraulischer Kraftheber beim Pflügen wechselnder Böden. Grundlagen der Landtechnik (1963) H. 4, S. 107 bis 115
[15] REGGE, H.: Zur statistischen Auswertung von Versuchsergebnissen. Deutsche Agrartechnik (1963) H. 1, S. 33 bis 36 (Fortsetzung folgt im nächsten Heft) A 6639