

Untersuchung eines Vereinzlungssystems mit kapazitiven Fühlern

Von **Horst Hesse**, Braunschweig-Völkenrode

Aus den Arbeiten des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

Kapazitive Meß- und Fühlersysteme haben wegen der Fortschritte der elektronischen Bauelemente bei industriellen Anwendungen eine weite Verbreitung gefunden. Fühler, die auf dem kapazitiven Meßprinzip beruhen, können auch zur Abtastung von Pflanzenreihen benutzt werden. Es wird über Laboruntersuchungen eines mit kapazitiven Fühlern aufgebauten Systems zur Vereinzlung von Pflanzen in Pflanzenreihen berichtet.

Inhalt

- 1 Einführung
- 2 Aufbau und Funktion des Systems
 - 2.1 Kapazitiver Fühler
 - 2.2 Elektronik und elektro-hydraulisches Stellsystem
- 3 Versuchsergebnisse
 - 3.1 Untersuchung der Fühler
 - 3.2 Untersuchung des gesamten Vereinzlungssystems
- 4 Zusammenfassung
- 5 Schrifttum

1 Einführung

Bei automatisch gesteuerten Vereinzlungsmaschinen für Zuckerrüben wird die Position der Pflanzen, die stehenbleiben sollen, mit Hilfe von Fühlern ermittelt, und ein Vereinzlungswerkzeug so gesteuert, daß größere Fehlstellen wie beim Blindvereinzlungsverfahren vermieden werden.

Die zur Zeit auf dem Markt angebotenen Systeme arbeiten mit elektro-mechanischen Kontaktfühlern oder mit Leitfähigkeitsfühlern. Beide Fühlerarten müssen zur Erzeugung eines elektrischen Signals die Pflanzen berühren. Da die Pflanzen während der Vereinzlung nur wenige Zentimeter hoch sind, ist eine entsprechend genaue Führung der Fühler in geringem Abstand über dem Boden erforderlich. Dabei muß vermieden werden, daß durch Steine oder Erdkluten Signale ausgelöst werden. Bei den Kontaktfühlern kommt als weiteres Problem hinzu, daß die Taster von den Pflanzen bewegt werden müssen, was eine entsprechende Steifigkeit der Pflanzen voraussetzt.

Bei den Leitfähigkeitsfühlern wird der vom Fühler durch die Pflanze fließende elektrische Strom als Signal benutzt. Hier können durch den stark schwankenden elektrischen Widerstand der Pflanzen Störungen auftreten. Der Vorteil der Leitfähigkeitsfühler gegenüber den elektro-mechanischen Kontaktfühlern besteht darin, daß sie bei Berührung von sehr trockenen Erdkluten oder Steinen kein Signal abgeben, da der elektrische Widerstand solcher Kluten oder Steine gegenüber dem der Pflanzen sehr groß ist.

In einer im Institut für landtechnische Grundlagenforschung durchgeführten Arbeit [3] sollten mit Fühlern, die auf anderen Funktionsprinzipien beruhen, die Möglichkeiten einer berührungslosen Abtastung von Pflanzen untersucht werden, um damit die Nachteile der bisher verwendeten Fühler zu umgehen. Die Ergebnisse zeigten, daß sowohl mit optischen wie auch mit kapazitiven Fühlern eine berührungslose Ortung von Pflanzen möglich ist. Die optischen Fühler können durch Schmutz und Feuchtigkeit leicht gestört werden, weshalb sie für den Feldeinsatz nicht besonders gut geeignet sind. Im Gegensatz dazu erwiesen sich die kapazitiven Fühler gegenüber solchen Störeinflüssen als sehr unempfindlich, so daß ihr Einsatz im praktischen Feldbetrieb möglich ist. Hier können aber andere Störquellen (elektrische Felder z. B.) auftreten, wodurch die Funktion kapazitiver Fühler beeinträchtigt wird. Durch den Fortschritt der elektroni-

Dipl.-Ing. Horst Hesse ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

schen Bauelemente ist es aber heute möglich, durch Kompensations- oder Filterschaltungen solche Störeinflüsse zu beseitigen. Diese Möglichkeiten haben zu einer weiten Verbreitung des kapazitiven Meßprinzips, z. B. bei Feuchtigkeits- oder Füllstandsmessungen, geführt, weshalb ihre Einsatzgrenzen und -möglichkeiten auch für die Aufgabe der Pflanzenabtastung bei Vereinzlungs- oder Nachführsystemen untersucht werden sollte. Es wird im folgenden sowohl über den Aufbau und das Funktionsprinzip der kapazitiven Fühler wie auch über die Untersuchung eines damit aufgebauten Vereinzlungssystems berichtet.

Für ähnliche Aufgaben können in Zukunft möglicherweise, außer optischen oder kapazitiven, auch pneumatische Fühler zur Anwendung kommen. Es sind bereits pneumatische Reflexdüsen auf dem Markt, mit denen eine berührungslose Abtastung von Gegenständen über eine Entfernung von ca. 1,5 bis 2 cm möglich ist [1]. **Bild 1** zeigt den Aufbau einer solchen pneumatischen Reflexdüse. In dem Ringkanal wird eine Rotationsströmung erzeugt. An der Stirnseite des Fühlers tritt diese Rotationsströmung aus und erzeugt in ihrem Kern einen Unterdruck, der im Zentralrohr gemessen werden kann. Wird nun die Rotationsströmung vor der Düse gestört, dann vermindert sich der Unterdruck im Zentralrohr. Diese Druckänderung kann zur Ansteuerung von pneumatischen Verstärkern herangezogen werden. Ein solches pneumatisches Fühlersystem hat gegenüber den bisher verwendeten Systemen den Vorteil außerordentlich großer Robustheit und könnte, zusammen mit fluidischen Verstärker- und Logikelementen, zu einem nichtelektronischen Steuerungs- oder Reglungssystem aufgebaut werden.

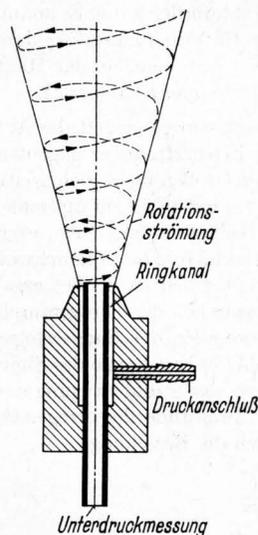


Bild 1. Aufbau einer pneumatischen Reflexdüse.

2 Aufbau und Funktion des Systems

2.1 Kapazitiver Fühler

Zunächst wurde bei den Untersuchungen ein von der Industrie hergestellter kapazitiver Fühler verwendet, dessen prinzipieller Aufbau in **Bild 2** gezeigt ist. Im Block ganz links ist ein Kondensator vorhanden, dessen Feldlinien an der Stirnseite des zylindrisch geformten Fühlers durch den Raum verlaufen. Dem Kondensator ist ein Sperrschwinger nachgeschaltet und diesem wiederum ein Demodulator, der die Schwingungen des Sperrschwingers in eine Gleichspannung umformt. Hinter dem Demodulator ist ein Flip-Flop geschaltet, das nur, wenn der Schwinger schwingt, eine Spannung abgibt. Die Funktionsweise des kapazitiven Fühlers ist folgende: Der Kondensator des Fühlers liegt im Eingang des Sperrschwingers. Durch Änderung der Kapazität des Kon-

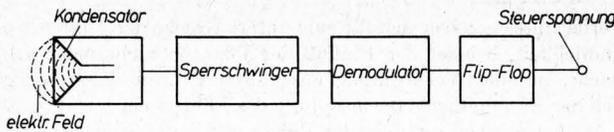


Bild 2. Prinzipieller Aufbau des kapazitiven Fühlers.

densators kann der Sperrschwinger in Schwingungen versetzt werden, und am Ausgang des Fühlers erscheint dann ein Signal. Änderungen der Kapazität des Fühlers können nun dadurch hervorgerufen werden, daß in das elektrische Feld Stoffe, z. B. eine Pflanze, hineingebracht werden, die die Dielektrizitätskonstante im Bereich des elektrischen Feldes des Kondensators verändern, was eine Änderung der Kapazität zur Folge hat. Andererseits kann aber auch durch eine Pflanze, die im Boden steht und geerdet ist, durch die Erdung eine Veränderung der Kapazität des Kondensators erfolgen.

Wegen dieses Funktionsprinzips müssen Pflanzen oder andere Gegenstände nicht das Gehäuse des Fühlers berühren, um einen Schaltimpuls auszulösen, sondern es reicht aus, wenn sie in das an der Stirnseite des Fühlers austretende elektrische Feld hineinragen und dort eine ausreichend große Änderung der Kapazität des Kondensators bewirken. Da Wasser eine sehr große Dielektrizitätskonstante hat, reagieren kapazitive Fühler auf wasserhaltige Stoffe besonders empfindlich. Diese Tatsache wirkt sich bei der Abtastung von grünen, also wasserhaltigen Pflanzen günstig aus.

2.2 Elektronik und elektro-hydraulisches Stellsystem

Bild 3 zeigt den Aufbau des Vereinzelungssystems im Blockschaltbild [4]. Dem Fühler ist eine elektronische, bistabile Kippstufe nachgeschaltet, die über einen elektronischen Verstärker, der im Bild nicht gezeigt ist, ein elektro-hydraulisches Ventil ansteuert. Mit Hilfe dieses Ventils wird ein hydraulischer Zylinder, mit dem das Vereinzelungswerkzeug verbunden ist, betätigt. Zur Erläuterung der Funktion des Systems ist im Bild links oben der Verlauf der Fühlerspannung U_F und der Ventilspannung U_V aufgetragen. Jeder Impuls, der im Fühlersystem auftritt, kippt die bistabile Kippstufe von einer Lage in die andere. Tritt zum Beispiel zum Zeitpunkt t_1 ein Impuls am Fühlerausgang auf, dann wird die Ventilspannung U_V aus der Nulllage in die Arbeitslage gekippt. Entsprechend bewegt sich der hydraulische Zylinder und damit das Vereinzelungswerkzeug von seinem einen Anschlag an den anderen. Das System verharrt in Ruhe, bis zum Zeitpunkt t_2 die nächste Pflanze auftritt und einen entsprechenden Impuls U_F erzeugt.

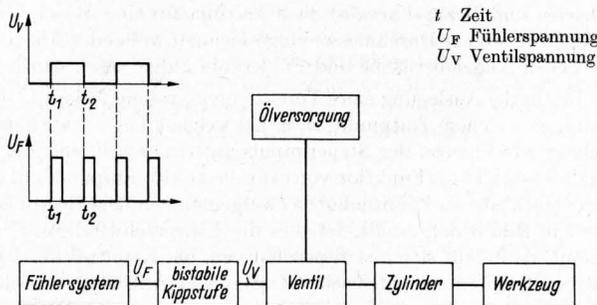


Bild 3. Blockschaltbild des Vereinzelungssystems.

Bild 4 zeigt den mechanischen und hydraulischen Aufbau des Systems. Bei dem elektro-hydraulischen Ventil handelt es sich um ein 4/2-Wegeventil, das in die eine Schaltstellung durch einen Elektromagneten geschaltet wird, während es beim Abschalten des Magneten durch eine Feder in die andere Schaltstellung zurückgestellt wird. Das Bild zeigt, daß das Ventil in beiden Schaltstellungen offen ist und daß nur die Anschlüsse entsprechend umgeschaltet werden. Das bedeutet, daß der Hydraulikzylinder jeweils an die Endanschläge gefahren wird. Um hierbei harte Schläge zu vermeiden, wurde ein Zylinder mit gedämpften Endanschlägen benutzt. Die Ölversorgung von Vereinzelungssystemen wird bei den auf dem Markt angebotenen Systemen normalerweise mit Zahnradpumpen, Speichern und einem Abschaltkreis durchgeführt. Im vorliegenden Fall wurde zur Speisung des

Systems eine Nullhubpumpe (Konstantdruckpumpe) verwendet. Der Vorteil der Verwendung einer solchen Pumpe liegt darin, daß die sonst erforderlichen Speicher eingespart und damit die Kosten verringert werden können.

Das untersuchte Vereinzelungssystem wurde mit Nachwerkzeugaufgebaut. Man kann Vereinzelungssysteme auch mit Vorwerkzeugaufbauten ausführen, das macht aber fahrgeschwindigkeitsabhängige Zeitglieder für die Ansteuerung des Schlagwerkzeuges erforderlich [2]. Ein System mit Nachwerkzeugaufbau scheint also prinzipiell einfacher zu sein, wenn man auch bei Systemen mit Vorwerkzeugaufbauten größere Fahrgeschwindigkeiten erreichen kann. Auf die Vor- und Nachteile der Anordnung von Fühlern relativ zum Taster wird in [2] näher eingegangen.

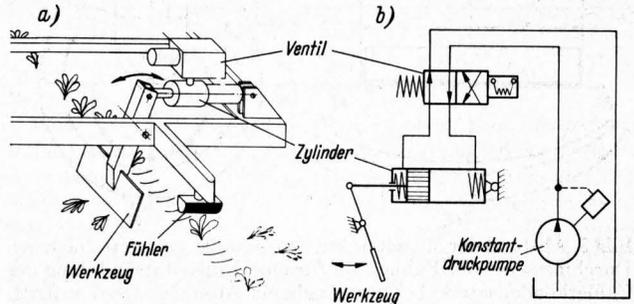


Bild 4. Gerätetechnischer Aufbau des Vereinzelungssystems: a) mechanischer Aufbau; b) Hydraulikschaltplan.

Das elektro-hydraulische Ventil ist direkt auf dem Zylinder zur Betätigung des Vereinzelungswerkzeuges aufgebaut. Die Kolbenstange des Zylinders ist an dem Hebel, an dem das Schlagwerkzeug befestigt ist, angelenkt. Auf die Formgebung dieses Schlagwerkzeuges wurde keine sehr große Aufmerksamkeit verwendet, da dieses nicht Inhalt der Untersuchung war.

3 Versuchsergebnisse

3.1 Untersuchung der Fühler

Die genauen physikalischen Vorgänge, die bei der Abtastung von Pflanzen in den Pflanzen und in dem Fühler ablaufen, sind bisher nicht im einzelnen untersucht worden. Es ist also nicht bekannt, wie das Ansprechverhalten und die Empfindlichkeit des Fühlers, z. B. von der Oberfläche der Pflanzen, ihrem Wassergehalt oder von ihrem elektrischen Widerstand gegenüber Erde, abhängt. Die Untersuchung dieser Zusammenhänge hätte den Rahmen dieses Forschungsvorhabens überstiegen, so daß zunächst davon abgesehen wurde.

Da für die Abtastung von Pflanzenreihen zur Vereinzelung die Größe des von der Industrie hergestellten Fühlers nicht ausreichte, wurde im Institut ein nach dem gleichen Prinzip arbeitender Fühler mit größeren Abmessungen entwickelt, **Bild 5**.

Da Pflanzen geometrisch und physikalisch schwer beschreibbare Gebilde sind, deren Form, Masse, Feuchtigkeitsgehalt und Erdung außerordentlich großen Schwankungen unterliegen, wurde die Messung des Ansprechverhaltens der Fühler mit Hilfe von Metallkugeln verschiedenen Durchmessers durchgeführt. Bei diesen Messungen waren die Metallkugeln jeweils geerdet. In **Bild 5** sind an den Stirnseiten der Fühler Kurven eingezeichnet, die die jeweilige Lage der Mittelpunkte der Kugeln beschreiben, bei der gerade ein Ausgangssignal am Fühler erzeugt wird. Da der Ansprechbereich bei dem zylindrischen Fühler (**Bild 5**, oben) bezüglich seiner Längsachse rotationssymmetrisch ist, brauchte er nur in einer Ebene gemessen werden. Bei dem im Institut entwickelten Fühler (**Bild 5**, unten) wurde dagegen die Messung in zwei Ebenen durchgeführt. Das Bild zeigt die Kurven, die einmal in Quer- und einmal in Längsrichtung des Fühlers gemessen wurden. Die Abmessungen des Fühlers sind im Bild eingezeichnet. Die in Längsrichtung des Fühlers (im Bild rechts) aufgenommenen Kurven fallen nach den Enden des Fühlers hin leicht ab, d. h., ein Körper bestimmter Dichte muß sich dem Fühler um so weiter nähern, je weiter er von der Mittellinie des Fühlers entfernt ist. Diese Erscheinung läßt sich aber durch eine entsprechende Formgebung des Fühlers beseitigen.

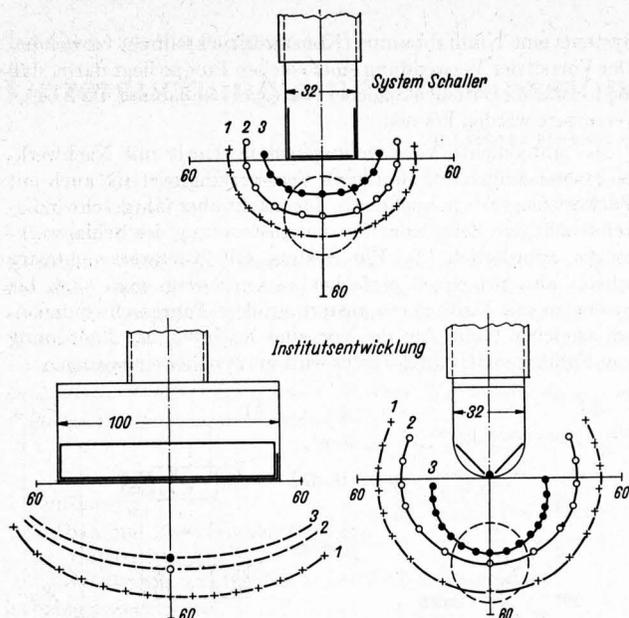


Bild 5. Abstand der Mittelpunkte von Metallkugeln verschiedenen Durchmessers vom Fühlerkopf für eine Kapazitätsänderung des Fühlerkondensators, bei der gerade ein Ausgangssignal auftritt.

- oben: kapazitiver Fühler, System „Schaller“
 unten: im Institut entwickelter kapazitiver Fühler
 1 Aluminiumkugel 50 mm ϕ
 2 Aluminiumkugel 35 mm ϕ
 3 Stahlkugel 19 mm ϕ

Die in Bild 5 gezeigten Kennlinien der Fühler ergaben sich für eine bestimmte Empfindlichkeitseinstellung (Verstärkung) der im Fühler enthaltenen Elektronik. Diese Empfindlichkeit kann sowohl vergrößert als auch verkleinert werden, wobei sowohl einer Vergrößerung als auch einer Verkleinerung Grenzen gesetzt sind. Die Fühler müssen während der Vereinzelung etwa in einem Abstand von 5 bis 6 cm über dem Boden geführt werden. Würde man nun die Empfindlichkeit sehr groß machen, dann würde bereits der Boden, der eine große Masse mit großer Oberfläche und guter Erdung darstellt, bei dieser Entfernung einen Schaltimpuls auslösen. Der Fühler wäre dann nicht mehr in der Lage, die Einflüsse, die sich durch die Pflanzen ergeben, zu orten. Analoge

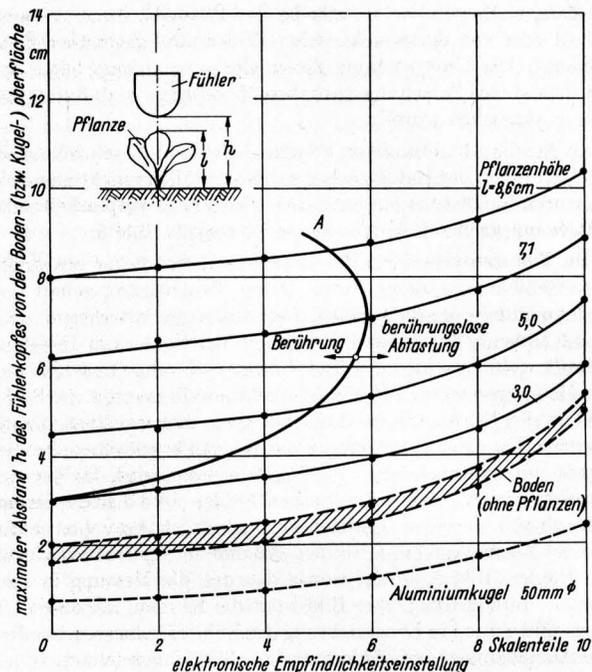


Bild 6. Maximaler Abstand des Fühlerkopfes von der Bodenoberfläche zur Erzielung eines Schaltimpulses beim Abtasten verschieden hoher Pflanzen als Funktion der elektronischen Empfindlichkeitseinstellung.

- h Höhe der Fühlerunterkante über dem Boden
 l Höhe der Pflanze
 Kurve A: Grenzlinie des Bereiches mit berührungsloser Abtastung

Verhältnisse ergeben sich für eine untere Grenze der Fühlerempfindlichkeit, bei der der Einfluß der Pflanzen nicht mehr ausreicht, um einen Schaltimpuls auszulösen. Es muß daher bezüglich der Empfindlichkeitseinstellung des Fühlers ein Kompromiß gefunden werden, bei dem der Fühler auf den Boden nicht anspricht, wohl aber auf die Pflanzen.

Die hier vorhandenen Zusammenhänge wurden gemessen und sind in Bild 6 dargestellt. Die in diesem Bild gezeigten Kurven wurden mit dem in Bild 7 gezeigten Versuchsaufbau aufgenommen. Hierbei wurde die elektronische Empfindlichkeitseinstellung des Fühlers und die Pflanzenhöhe variiert. Im Bild ist der maximale Abstand h des Fühlerkopfes über dem Boden, bei dem gerade der Schaltimpuls auftritt, als Funktion der Empfindlichkeit und der Pflanzenhöhe l aufgetragen. Während der Messung war $b = 0$, d. h., der Fühler befand sich über der Pflanzenmitte, die Höhe l wurde bis zur höchsten Blattspitze gemessen. Jeder Meßpunkt für eine Pflanzenhöhe wurde aus der Messung an sieben Rübenpflanzen gemittelt. Die Pflanzen waren in einem Kasten eingepflanzt, dessen Boden während der Messung geerdet wurde. Die Bodenfeuchtigkeit wurde bei den Messungen auf etwa 18% konstant gehalten.

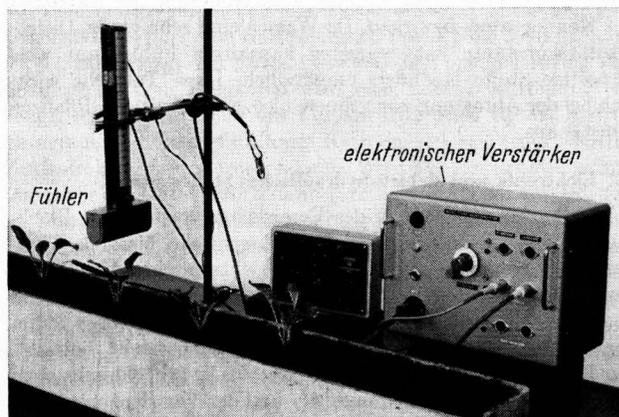


Bild 7. Aufbau der Versuchseinrichtung.

Wie das Diagramm zeigt, ist bei allen Pflanzenhöhen und Empfindlichkeitseinstellungen des Fühlersystems eine Ortung der Pflanzen möglich. Die Gefahr, daß der Fühler durch den Einfluß des Boden geschaltet wird, ist um so größer, je kleiner die Pflanzen und je größer die Empfindlichkeitseinstellung ist. Für alle Pflanzengrößen ist ein Bereich mit berührungsloser Abtastung vorhanden, der durch die Kurve A abgegrenzt wird. Als Vergleichs- und Bezugskurve ist die Schaltlinie für eine Aluminiumkugel von 50 mm Durchmesser eingezeichnet, wobei der Abstand zwischen Kugeloberfläche und Fühlerkopf aufgetragen wurde.

Da für die Auslegung eines Vereinzelungssystems bekannt sein muß, zu welchem Zeitpunkt, d. h. bei welcher Lage des Fühlers relativ zur Pflanze, der Steuerimpuls auftritt, wurde der maximale Abstand h als Funktion von b für die größte Empfindlichkeit bei verschiedenen Pflanzenhöhen l aufgenommen. Die Ergebnisse sind in Bild 8 dargestellt. Ist nun die Fahrgeschwindigkeit bekannt, dann läßt sich aus diesen Kurven, bei Kenntnis der Verzögerungszeiten des Stellsystems (Magnetventil, hydraulischer Zylinder), die Anordnung des Schlagwerkzeugs zur Erzielung einer bestimmten freien Blocklänge (Schonbereich) um die Pflanze herum bestimmen. Bild 9 zeigt die gleichen Kurven für Pflanzen mit einer Höhe von 5 cm, wobei die Empfindlichkeitseinstellung des Fühlers variiert wurde. Die Kurven laufen im Diagramm links und rechts tangential in die Werte von h ein, bei denen die Schaltung durch den Boden allein erfolgt.

Grundsätzlich ist zum Verhalten der kapazitiven Fühler zu erwähnen, daß sie auf alle von außen auf sie einwirkenden elektrischen Feldänderungen reagieren. Während der Versuche gaben die Fühler z. B. plötzlich Impulse ab, ohne daß irgendwelche Körper in ihrer Nähe die Ursache dafür waren. Es stellte sich heraus, daß bereits das Einschalten eines Lichtschalters in der Versuchshalle und die davon ausgehenden elektromagnetischen Wellen ausreichten, um ein Ausgangssignal zu erzeugen. Nach entsprechender Vergrößerung der Zeitkonstanten des Fühlers war diese Erscheinung beseitigt. Diese Zeitkonstante brauchte

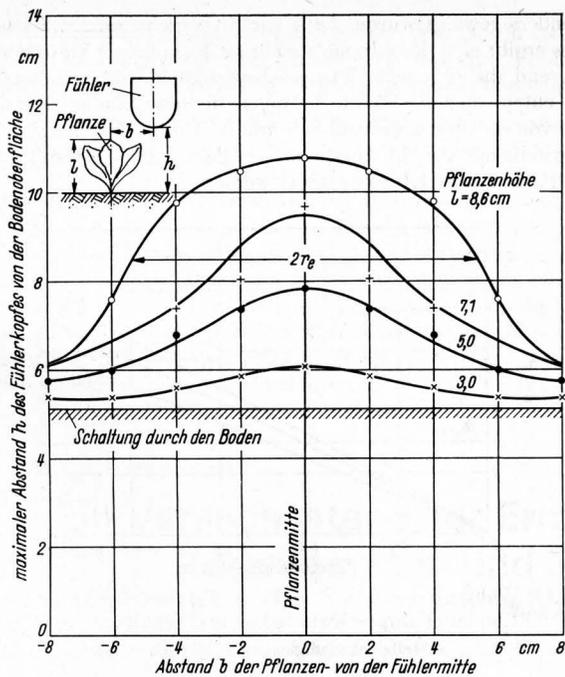


Bild 8. Maximaler Abstand des Fühlerkopfes von der Bodenoberfläche zur Erzielung eines Schaltimpulses beim Abtasten verschieden hoher Pflanzen als Funktion des Abstandes b der Fühler- von der Pflanzenmitte.

- l Pflanzenhöhe
- r_e Empfindlichkeitsradius
- b Abstand des Fühlers von der Pflanzenmittellinie

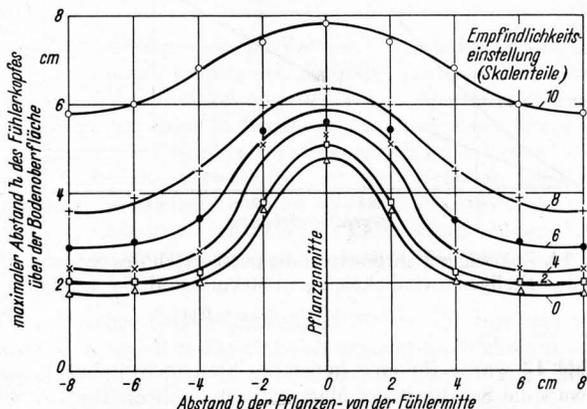


Bild 9. Maximaler Abstand des Fühlerkopfes von der Bodenoberfläche zur Erzielung eines Schaltimpulses beim Abtasten verschieden hoher Pflanzen als Funktion des Abstandes b der Fühler- von der Pflanzenmitte für verschiedene elektronische Empfindlichkeitseinstellungen.

Pflanzenhöhe $l = 5$ cm

aber nicht so groß gemacht zu werden, daß dadurch das Ansprechverhalten des gesamten Vereinzelungsmechanismus nachteilig beeinflusst wurde. Es ist anzunehmen, daß solche Fühler auch durch Hochspannungsleitungen oder durch das Feuern der Lichtmaschine eines Schleppers gestört werden können. Es ist aber sicher möglich, durch den Einbau entsprechender elektrischer Filter solche Störungen auszuschalten.

3.2 Untersuchung des gesamten Vereinzelungssystems

Bild 10 zeigt ein Oszillogramm, das während der Versuche in der Bodenrinne aufgenommen wurde. Im oberen Teil sind die Steuerimpulse des Fühlers aufgezeichnet, der untere Teil des Bildes zeigt den Verlauf des Weges des Vereinzelungswerkzeuges. Jeder Impuls des Fühlers bewirkt ein entsprechendes Umschalten des Ventils und damit einen Schlag des Vereinzelungswerkzeuges. Rechts im Bild ist zu sehen, daß auch ein sehr kurzer Impuls des Fühlers bereits ausreicht, um einen Vereinzelungsschlag auszulösen. Die durch die Schaltzeit des Magnetventils bedingte zeitliche Verzögerung zwischen Fühlerimpuls und Werkzeugbewegung ist deutlich zu erkennen. Die Schaltzeiten, die sich beim Ein- und Abschalten des Magneten ergeben sind nicht

genau gleich groß. Beim Einschalten beträgt die Schaltzeit $T_S = 22$ ms, beim Abschalten ist sie etwas größer. Bei der Untersuchung in der Bodenrinne wurden Pflanzen auf einen Abstand von 30 cm in Fahrtrichtung ausgepflanzt. Die Zwischenräume zwischen den Pflanzen wurden frei gelassen, d. h., es wurde nicht wirklich vereinzelt, sondern davon ausgegangen, daß bei richtiger Funktion des Vereinzlungswerkzeuges sich entsprechend große Pflanzenabstände ergeben würden.

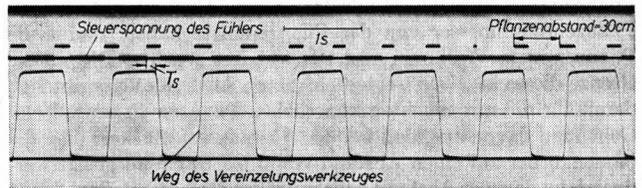


Bild 10. Oszillogramm eines Versuches.

T_S Schaltzeit des Magnetventils

Wenn gesichert ist, daß das Fühlersystem jede Pflanze, die stehenbleiben soll, erfäßt, dann wird das Verhalten des Systems im wesentlichen von der Schaltzeit des Magnetventils und von der Geschwindigkeit, mit der der Zylinder das Werkzeug verstellt, beeinflusst. Von diesen Sytemparametern hängt vor allen Dingen der zulässige Fahrgeschwindigkeitsbereich ab, um bestimmte freibleibende Blocklängen, auf denen sich die stehenbleibenden Pflanzen befinden, zu erreichen. Es wurden im folgenden die Schaltzeit des Magnetventils und die Stellgeschwindigkeit des Zylinders variiert und die freie Blocklänge, die sich bei bestimmten Fahrgeschwindigkeiten hinter einer Pflanze ergeben, ermittelt. Neben diesen Einflüssen ist die Größe der Pflanzen und der Abstand des Fühlers von der Hinterkante des Schlagwerkzeuges von Bedeutung. Da sich natürliche Pflanzen durch ihr Wachstum während der Versuchsdauer verändern, wurden diese Versuche in der Bodenrinne mit künstlichen Pflanzen durchgeführt. Die künstlichen Pflanzen wurden aus Kunststoff hergestellt und hatten bezüglich des Ansprechverhaltens der Fühler die gleichen Eigenschaften wie die natürlichen Pflanzen.

Bild 11 zeigt die geometrische Anordnung von Fühler und Schlagwerkzeug sowie eine Übergangsfunktion des Systems. Der kapazitive Fühler wurde etwa 6 cm über dem Boden geführt. Die Größe der Pflanzen sowie deren größter Durchmesser in der Horizontalebene betrug ebenfalls etwa 6 cm. Man kann neben den geometrischen Abmessungen der Pflanzen den bereits in Bild 8 eingezeichneten Empfindlichkeitsradius r_e für das Fühlersystem definieren. Dieser Empfindlichkeitsradius ist der Abstand der Pflanzenmittellinie von der Fühlermittellinie in dem Zeitpunkt, zu dem der Fühler einen Impuls abgibt. Der Empfindlichkeitsradius hängt — wie in Bild 8 gezeigt — im wesentlichen von der Pflanzenhöhe, dem Abstand h des Fühlers vom Boden und der Empfindlichkeitseinstellung des Fühlers ab. Aus einer Vielzahl von Versuchen wurde aus den Oszillogrammen der Empfindlich-

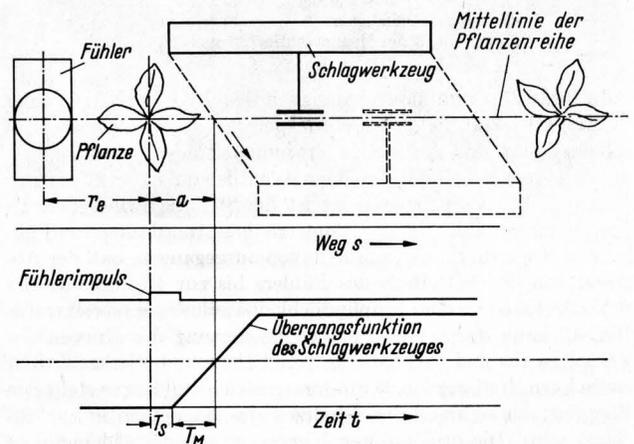


Bild 11. Zuordnung von Fühler und Schlagwerkzeug mit Übergangsfunktion.

- a Abstand der Werkzeughinterkante von der Pflanzenmittellinie während des Vereinzelungsvorganges
- r_e Empfindlichkeitsradius
- T_S Schaltzeit des Magnetventils
- T_M Übergangszeit des Werkzeuges bis Mittelstellung

keitsradius r_e für die oben beschriebene Pflanzengröße und Fühleranordnung ermittelt. Der Mittelwert für r_e ergab sich aus diesen Versuchen zu etwa 6 cm.

Von entscheidender Bedeutung für die Funktion des Systems ist die Anordnung des Fühlers relativ zum Schlagwerkzeug sowie der sich daraus ergebende Arbeitsbereich des Schlagwerkzeugs. Geht man von einem Pflanzendurchmesser von 6 cm aus, dann muß die Hinterkante des Werkzeugs, wenn es die Mittellinie der Pflanzenreihe erreicht, mindestens einen Abstand vom halben Pflanzendurchmesser von der Pflanzenmitte haben, damit die Pflanzen vom Werkzeug nicht beschädigt werden. Die untere Grenze dieses in Bild 11 eingezeichneten Abstandes a ergibt sich damit für die untersuchten künstlichen Pflanzen zu etwa 3 cm. Geht man davon aus, daß bei der Aussaat von Zuckerrüben die Samenkörner auf einen Abstand von 6 bis 10 cm ausgelegt werden, dann darf der Abstand a nicht größer als 6 cm werden, damit nicht eine zweite Pflanze in diesem Bereich stehenbleibt. Die Größe a hängt nun von folgenden Systemparametern ab:

- von der Schaltzeit des Magnetventils,
- von der Zeit, die das Schlagwerkzeug für den Weg von seiner Ruhelage bis zur Mittellinie der Pflanzenreihe benötigt,
- von der geometrischen Anordnung von Fühler und Schlagwerkzeug und
- von der Fahrgeschwindigkeit der Vereinzlungsmaschine.

In Bild 11 ist eine Übergangsfunktion des Schlagwerkzeuges im Prinzip gezeigt. Die Schaltzeit des Magnetventils beträgt $T_S = 22$ ms; das Werkzeug benötigt für den Weg aus seiner Ruhelage bis zur Mittellinie der Pflanzenreihe eine Zeit von $T_M = 50$ ms, wenn eine Stellgeschwindigkeit des Hydraulikzylinders von $v_K = 50$ cm/s zugrunde gelegt wird.

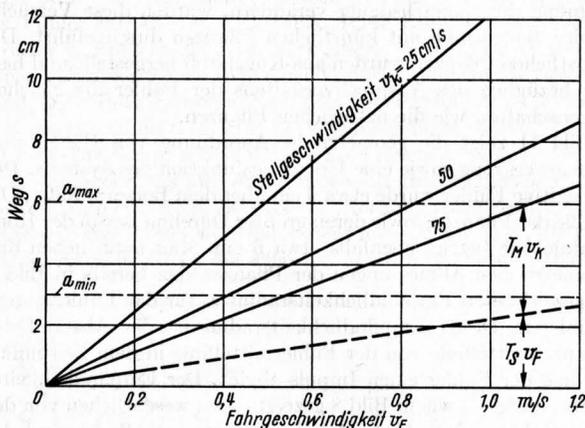


Bild 12. Während der Zeit $T = T_S + T_M$ zurückgelegter Weg s als Funktion von Fahr- und Stellgeschwindigkeit.

v_K Stellgeschwindigkeit des hydraulischen Zylinders
 v_F Fahrgeschwindigkeit
 T_S Schaltzeit des Magnetventils (22 ms)

In Bild 12 ist nun die Abhängigkeit des Weges s (Bild 11), der während der Zeit $T_S + T_M$ zurückgelegt wird, von der Fahrgeschwindigkeit und der Stellgeschwindigkeit des Hydraulikzylinders bei einer Schaltzeit des Magnetventils von $T_S = 22$ ms aufgetragen. In dieser Darstellung ist die Stellgeschwindigkeit als Parameter gewählt. Bei der geometrischen Anordnung von Fühler und Schlagwerkzeug wurde davon ausgegangen, daß der Abstand von der Mittellinie des Fühlers bis zur Hinterkante des Schlagwerkzeuges dem Empfindlichkeitsradius r_e entspricht. Aus Bild 12 kann durch eine Parallelverschiebung der Kurven das Verhalten für andere Abstände von Fühler und Werkzeug sehr einfach ermittelt werden. Die untere (gestrichelte) Kurve stellt den Weg dar, der während der Schaltzeit des Magnetventils zurückgelegt wird. Die drei anderen Kurven zeigen die Abhängigkeit des Weges bei Stellgeschwindigkeiten von 25 bis 75 cm/s. Außerdem sind im Bild die obere und untere Grenze für den Abstand a eingezeichnet. Es ist deutlich zu erkennen, daß, um den Abstand a in dem hier gekennzeichneten zulässigen Bereich zu halten, der Fahrgeschwindigkeitsbereich für die Vereinzlungsmaschine um so enger ist, je niedriger die Stellgeschwindigkeit des Hydraulik-

zylinders gewählt wurde. Bei einer Stellgeschwindigkeit von 25 cm/s ergibt sich die minimale Fahrgeschwindigkeit zu 0,24 m/s, während die maximale Fahrgeschwindigkeit 0,49 m/s beträgt. Die entsprechenden Werte betragen für eine Stellgeschwindigkeit von 50 cm/s etwa 0,42 m/s und 0,84 m/s. Bei einer Stellgeschwindigkeit von 75 cm/s kann die Fahrgeschwindigkeit sogar von 0,55 m/s bis 1,1 m/s variiert werden.

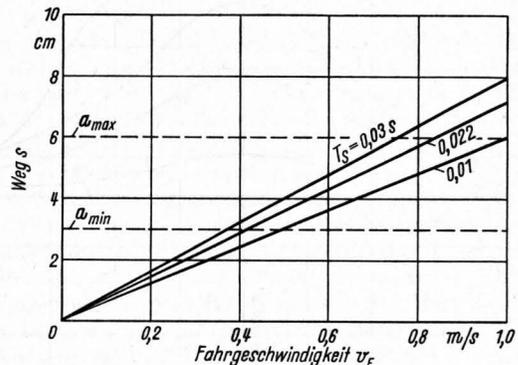


Bild 13. Während der Zeit $T = T_S + T_M$ zurückgelegter Weg s als Funktion von Fahrgeschwindigkeit und Schaltzeit des Ventils. Stellgeschwindigkeit $v_K = 50$ cm/s = konst.

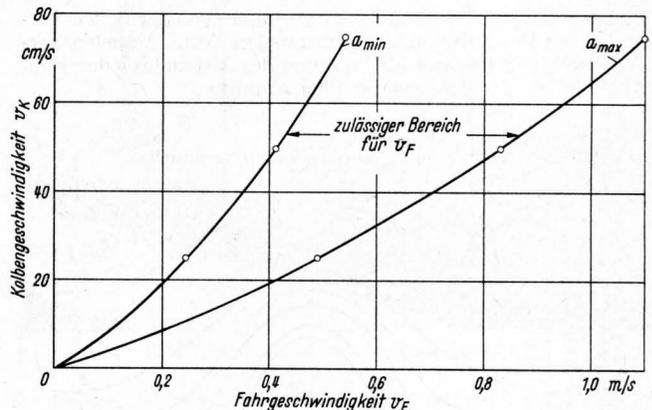


Bild 14. Zulässiger Fahrgeschwindigkeitsbereich des Systems bei einer Stellgeschwindigkeit $v_K = 50$ cm/s und $T_S = 22$ ms.
 $a_{min} = 3$ cm; $a_{max} = 6$ cm

Bild 13 wurde für eine konstante Stellgeschwindigkeit von 50 cm/s die Schaltzeit des Magnetventils variiert. Die Darstellung dieses Bildes entspricht der von Bild 12. Eine Verringerung der Schaltzeit des Magnetventils auf 10 ms, was mit sehr schnellen Ventilen erreicht werden kann, wird nur eine Erhöhung des Fahrgeschwindigkeitsbereiches auf 0,5 bis 1 m/s erreicht, gegenüber 0,42 — 0,84 m/s bei $T_S = 22$ ms. Der Einfluß der Schaltzeit des Magnetventils ist also von weit geringerer Bedeutung für den zulässigen Fahrgeschwindigkeitsbereich als die Stellgeschwindigkeit des Hydraulikzylinders. In Bild 14 ist noch einmal die Abhängigkeit des Abstandes a von der Stellgeschwindigkeit und der Fahrgeschwindigkeit aufgetragen. Hierbei wurde die Schaltzeit des Magnetventils mit $T_S = 22$ ms angenommen.

4 Zusammenfassung

Die Untersuchung eines Vereinzlungssystems mit kapazitiven Fühlern in der Bodenrinne hat ergeben, daß diese Fühler bezüglich Ansprechempfindlichkeit, Schaltgeschwindigkeit und Funktionssicherheit für gesteuerte Vereinzlungsmaschinen gut geeignet sind. Die bei kapazitiven Fühlern möglichen Störungen durch elektromagnetische Felder in ihrer Umgebung können durch eine entsprechende Auslegung der Fühlerelektronik ausgeschaltet werden. Es hat sich gezeigt, daß bei einer Anordnung dieser Fühler als Nachwerkzeugtaster, je nach Stellgeschwindigkeit des Zylinders, für die Betätigung des Schlagwerkzeuges Fahrgeschwindigkeiten bis zu 1,10 m/s erreicht werden können. Die Untersuchungen wurden in einer Bodenrinne durchgeführt; die Ergebnisse lassen sich aber auf Feldeinsatzbedingungen übertra-

gen. Das Problem der Höhenführung über dem Boden ist bei kapazitiven weniger schwierig als bei herkömmlichen Fühlern, da die Pflanzen nicht unbedingt berührt zu werden brauchen.

Außer zur Steuerung von Vereinzelmaschinen können die kapazitiven Fühler auch zur Automatisierung anderer Aufgaben in der Landtechnik eingesetzt werden. So ist z. B. eine automatische Nachführung von Werkzeugen an Pflanzenreihen mit Hilfe dieser Fühler möglich [3]. Weiterhin können damit auf einfache Weise Kontroll- oder Zählaufgaben, z. B. bei automatischen Pflanzmaschinen, gelöst werden. Es ist aber auch daran zu denken, mit solchen Fühlern, die dann allerdings anders aufgebaut sein müßten, eine berührungslose Abstandmessung, z. B. bei der Messung der Pflugtiefe, der Höhe eines Schneidwerkes über dem Boden und dergleichen, durchzuführen.

DK 531.7:631.333.5:632.982

Ein Versuchsstand zur Ermittlung der Verteilungsgüte von Verteilgeräten und Probleme der Auswertung

Von **Manfred Brübach**, Berlin

Mitteilung aus dem Institut für Landtechnik der Technischen Universität Berlin

Die Gleichmäßigkeit der Verteilung von Mineraldünger und Pflanzenschutzmitteln durch die Verteilmaschinen spielt eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Wirksamkeit dieser Stoffe. Es wird ein Versuchsstand zur Messung der Verteilungsgüte von flüssigen und feinkörnigen Stoffen beschrieben und auf die Rationalisierung der Auswertung mittels einer Großrechenanlage eingegangen.

Die Gesetzmäßigkeiten der Verteilung von körnigen und flüssigen Substanzen werden den Entwicklungen von Verteilmaschinen soweit als möglich zugrunde gelegt. Allerdings sind zahlreiche Faktoren dabei in Rechnung zu setzen, deren Größe gar nicht oder unzureichend genau abzuschätzen ist. So sind u. a. die Eigenschaften des Verteilgutes und sein Verhalten im Haufwerk nicht ausreichend bekannt. Hier hat die Forschung noch manche Grundlage zu schaffen. Der Entwicklung müssen daher Funktionsuntersuchungen parallel laufen, die häufig nur als praxisnaher Versuch auszuführen sind.

Um derartige Untersuchungen an Verteilmaschinen und Verteilgütern rationell und so genau als möglich durchführen zu können, wurde im Institut für Landtechnik der Technischen Universität Berlin eine Versuchsanlage erstellt, mit Hilfe derer die Verteilungsgüte beim Ausbringen von festen und flüssigen Mineraldüngerarten sowie von Pflanzenschutzmitteln überprüft und optimiert werden kann. Die Anlage, die in den beiden letzten Jahren seit ihrer Erstellung laufend verbessert wurde, und die Auswertmethoden werden nachfolgend erläutert.

Der Versuchsstand

Die Auffanganlage ist 15,20 m breit und hat in Fahrtrichtung eine Länge von 2,00 m, **Bild 1 und 2**. Diese Fläche ist mit unter 90° abgewinkelten Duraluminium-Blechen belegt, so daß eine Rinnenfläche mit 100 mm breiter Teilung entsteht. Die Rinnen verlaufen parallel zur Fahrspur. Unmittelbar über den Blechen ist ein 50 mm hoher Kartonraster (50 mm × 50 mm) angeordnet, der ein unkontrolliertes Springen der aufprallenden Teilchen weitgehend verhindert. Die Auffangrinnen in der Fahrspur sind durch überfahrbare Gitterroste abgedeckt.

Zum Entleeren der Rinnen nach einem Verteilversuch mit Feststoffen wird die Auffanganlage hydraulisch um 70° gekippt. Dazu ist die Anlage in 5 Felder unterteilt. Bei Verteilversuchen mit Flüssigkeiten, bei denen der Kartonraster entfernt ist, ist die Anlage schon während des Versuchs um 5% geneigt. Das auslaufende Gut wird zur Auswertung in Kunststoffkästen aufgefangen.

Dipl.-Ing. Manfred Brübach ist wissenschaftlicher Assistent am Institut für Landtechnik der Technischen Universität Berlin (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Horst Göhlich).

5 Schrifttum

- [1] *Achenbach, H. P.*: Reflaxdüsen für berührungslose Schaltauslösung. Herion Informationen (1969) Heft 1, S. 30/32.
- [2] *Gego, A.*: Ein Beitrag zum Problem der gesteuerten maschinellen Vereinzeln von Zuckerrüben. Diss. T. H. Aachen 1968. Ref. in: Grndl. Landtechn. **18** (1968) Nr. 6, S. 235.
- [3] *Hesse, H., und Chr. v. Zabeltitz*: Untersuchung von optischen und elektrischen Fühlern für automatische Vereinzeln- und Nachführungssysteme. Grndl. Landtechn. **18** (1968) Nr. 3, S. 107/12.
- [4] *Hesse, H.*: Ein automatisches Nachführungs- und Vereinzeln-system mit kapazitiven Fühlern. Vortrag auf dem Kolloquium über Automatisierung in der Landtechnik am 24. und 25. April 1969 in der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

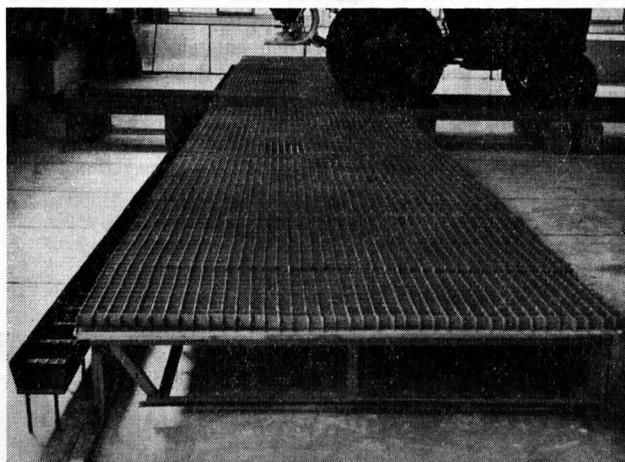


Bild 1. Gesamtansicht der Auffanganlage.

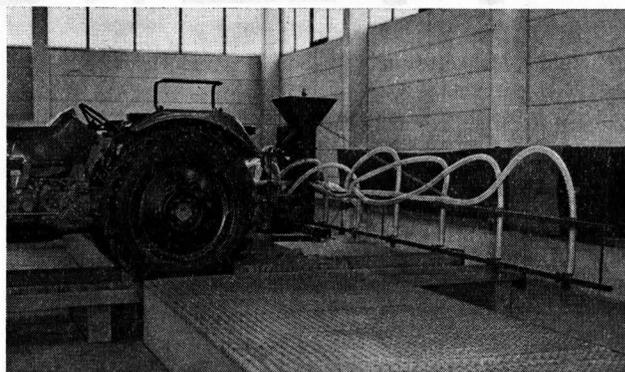


Bild 2. Ein im Institut entwickeltes, pneumatisch arbeitendes Verteilgerät für Feingranulat wird getestet.

Genauigkeitsanforderung

Die 100-mm-Teilung erlaubt eine Meßwertaufnahme je 100 mm Breite bzw. je 200, 300 ... mm. Wie genau die Auswertung zu erfolgen hat, hängt zunächst wesentlich von dem ausgebrachten Gut ab. Für flüssige oder feste Pflanzenschutzmittel ist eine möglichst feine Teilung erforderlich. Für Düngergaben sind je nach Art des Hauptnährstoffs weniger hohe Anforderungen an die Ab-lagegenauigkeit gestellt.

Gefordert wird in jedem Falle, daß die Verteilungsgüte, d. h. die Gleichmäßigkeit der Ablage, groß ist, wenn also die auf einer möglichst kleinen Flächeneinheit deponierte Menge möglichst wenig vom Mittelwert aller pro Flächeneinheiten abgelegten