

Untersuchung von optischen und elektrischen Fühlern für automatische Vereinzlungs- und Nachführungssysteme

Von **H. Hesse** und **Chr. von Zabeltitz**, Braunschweig-Völkenrode

Bei der automatischen Steuerung oder Nachführung von Werkzeugen relativ zu Pflanzenreihen muß die Position der Pflanzen meßtechnisch ermittelt werden, wenn keine den Pflanzen zugeordnete Leitsysteme vorhanden sind. Nach Darstellung der bisherigen Systeme wird über experimentelle Untersuchungen von optischen und elektrischen Fühlern berichtet, mit denen im Gegensatz zu den bisher verwendeten Fühlern die Pflanzen berührungslos geortet werden können. Der prinzipielle Aufbau automatischer Vereinzlungs- und Nachführungssysteme unter Verwendung der untersuchten Fühler wird dargestellt und diskutiert.

Inhalt

- 1 Ausgeführte Vereinzlungs- und Nachführungssysteme
- 2 Berührungslose Fühlersysteme
 - 2.1 Optisches Fühlersystem
 - 2.2 Elektrisches Fühlersystem
- 3 Prinzipieller Aufbau von Systemen zur Steuerung und Nachführung von Werkzeugen
 - 3.1 Systeme zur Vereinzlung
 - 3.2 Systeme zur Nachführung
- 4 Schlußbetrachtung
- 5 Schrifttum

Die Automatisierung von Arbeitsvorgängen findet auch in der Landtechnik mehr und mehr Eingang. Sowohl in Forschungsinstituten als auch in der Industrie werden umfangreiche Untersuchungen zur selbsttätigen Regelung von Funktionen an Landmaschinen angestellt. Einige der Entwicklungen sind bereits soweit fortgeschritten, daß sie Eingang in die Praxis gefunden haben. Eine spezielle Aufgabe bei der Führung von Landmaschinen oder Werkzeugen an Pflanzenreihen ist die meßtechnische Erfassung der Position von Pflanzen, z. B. zum Zwecke der Vereinzlung von Zuckerrüben oder zur automatischen Nachführung von Werkzeugen, um dadurch eine Arbeitskraft für die Feinsteuerung einzusparen.

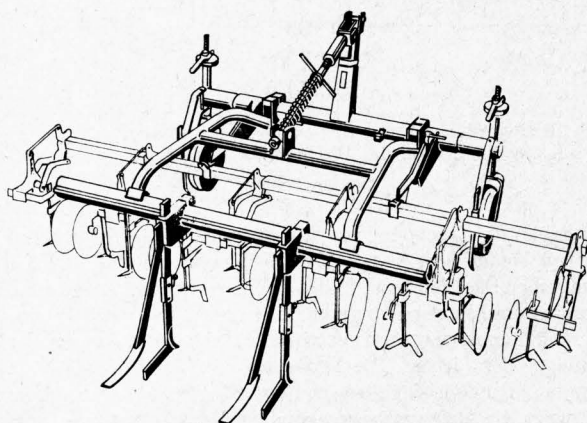


Bild 1. Mechanisches Nachführungssystem für Hackgeräte (System Ventzki).

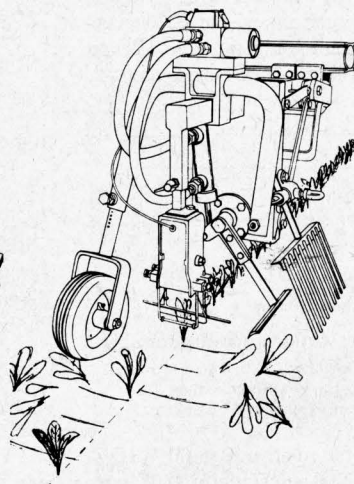


Bild 2. Mechanisch-elektrisches Abtastsystem für Pflanzenfolgen (System Schmotzer).

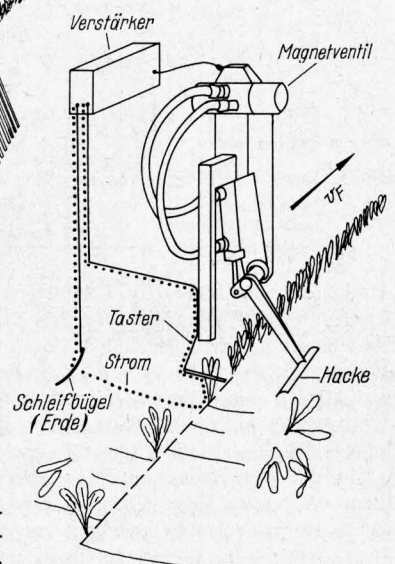


Bild 3. Elektrisches Abtastsystem für Pflanzenfolgen (System Fähse).

Dipl.-Ing. Horst Hesse ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode. Dr.-Ing. Christian von Zabeltitz war bei Abschluß der vorliegenden Arbeit wissenschaftlicher Mitarbeiter in dem genannten Institut und ist jetzt bei der Firma Gebr. Claas Maschinenfabrik GmbH, Harsewinkel, tätig.

beeinträchtigt werden darf. Die Empfindlichkeit des Tasters muß sehr hoch sein, da die Pflanzen beim Vereinzeln noch verhältnismäßig klein sind und keine große Kraft für die Auslenkung des Tasters aufbringen können.

Bild 3 zeigt das Schema einer Abtastvorrichtung für Pflanzenfolgen, die nach dem elektrischen Leitfähigkeitsprinzip arbeitet. Dieses System hat einen Taster, der die Einzelpflanzen berührt, sowie eine gesonderte Erdleitung, die dauernd Kontakt zum Boden hat. Berührt der Taster eine Pflanze, dann wird über die Pflanze, den Boden und den Erdleiter ein Stromkreis geschlossen. Dadurch wird ein Signal zum Ausschwenken der Hackwerkzeuge für den Bereich der Pflanze gegeben, wobei die berührte Pflanze stehen bleibt. Ein ähnliches System ist in den UdSSR zur Nachführung von Hackwerkzeugen zwischen Pflanzenreihen entwickelt worden [4]. Der Stromfluß im geschlossenen Stromkreis hängt vom Widerstand zwischen Erde, Pflanze und Taster ab, der wiederum von mehreren Faktoren, wie Feuchtigkeit des Bodens und der Pflanze sowie vor allem von der Art der Berührung zwischen Taster und Pflanze, beeinflusst wird. Dieser Widerstand liegt in der Größenordnung von 15 bis 25 Megaohm [4], wodurch sehr kleine Ströme bedingt sind, für deren Umsetzung in Steuersignale für elektrohydraulische Ventile hohe Verstärkungen notwendig sind.

2 Berührungslose Fühlersysteme

Die beiden zuletzt aufgeführten Fühlersysteme arbeiten nur, wenn zwischen Fühler und Pflanze eine Berührung stattfindet. In vieler Hinsicht günstiger wären Fühlersysteme, die Einzelpflanzen oder Pflanzenreihen berührungslos abtasten und auf diese Weise Steuer- oder Regelsignale erzeugen. Aus diesem Grund wurden Untersuchungen mit berührungslos arbeitenden optischen und elektrischen Fühlersystemen zur Erfassung von Pflanzen in Pflanzenreihen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sowie der prinzipielle Aufbau von Steuer- und Regelsystemen, bei denen solche Fühler verwendet werden, werden im folgenden beschrieben.

2.1 Optisches Fühlersystem

Unter optischen Fühlersystemen wird hier die kombinierte Verwendung von Lichtquelle und photoelektrischen Aufnehmern verstanden. Letztere wandeln Lichtschwankungen in elektrische Meßwerte als Regelsignale um. Im vorliegenden Fall sind Lichtquelle und Aufnehmer so angeordnet, daß die Intensität von reflektiertem Licht gemessen wird. **Bild 4** zeigt eine Prinzipskizze des optischen Fühlersystems, welches bei den Versuchen in einer Bodenrinne verwendet wurde. Dabei werden Rübenpflanzen in die Bodenrinne eingesetzt, die dann in verschiedenen Wachstumsstadien durch die an dem Meßwagen montierte Fühlervorrichtung abgetastet werden. Der Fühler besteht im wesentlichen aus der Beleuchtung 1 und dem aufnehmenden Photoelement 2.

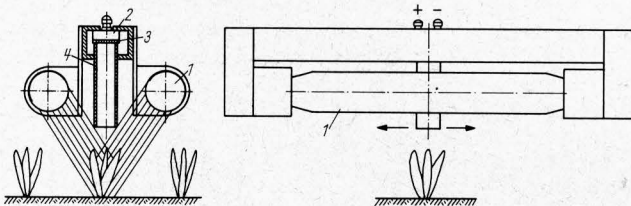


Bild 4. Optisches Fühlersystem zur Abtastung von Pflanzenreihen.

- | | |
|--|--|
| 1 Beleuchtung (jede Lampe 220 V; 60 W) | 3 Farbfilter |
| 2 Photoelement | 4 Tubus zur Abschirmung von Direkt- und Streulicht |

Als Beleuchtung dienen zwei Soffittenlampen mit je 60 W Leistung und 220 V Nennspannung. Die Lampen sind auf 180° ihres Umfanges mit einer spiegelnden Aluminiumfolie belegt, wodurch in Richtung der freien Seite eine bessere Lichtausbeute erzielt wird. Die längliche Form der Lampen wird deshalb verwendet, damit sowohl auf die Pflanze als auch auf den Boden neben der Pflanze die gleiche Lichtintensität einwirkt. Dadurch ist gewährleistet, daß vom Boden und Pflanze unterschiedlich reflektiertes Licht nicht vom Beleuchtungssystem herrührt. Als Photoelemente werden Selenphotoelemente mit einem Durchmesser von 28 mm verwendet. Direkt vor das Photoelement können wahl-

weise verschiedene Farbfilter 3 vorgeschaltet werden, um den Einfluß von reflektiertem Licht begrenzter Wellenlänge feststellen zu können. Vor Photoelement und Farbfilter ist ein Tubus 4 angebracht, der bis dicht über die jeweilige höchste Pflanzenspitze reicht. Dadurch wird eine Direkteinstrahlung aus der Lichtquelle verhindert sowie der Einfluß von Streu- und Sonnenlicht weitgehend ausgeschaltet. Auf diese Weise wird von dem Photoelement im wesentlichen nur das Licht aufgenommen, welches von der durch die Lampen beleuchteten Stelle unter dem Photoelement reflektiert wird. Gemessen wird die jeweilige erzeugte Photospannung, die als Steuersignal verwendet werden kann. Vorversuche ergaben, daß ein nach unten ganz geöffneter Tubus ungünstig ist. Deshalb wird ein Tubus mit einem schmalen Schlitz verwendet, dessen Abmessung 3 × 12 mm beträgt. Unterschiedliche Photospannungen ergeben sich je nachdem, ob der Tubus innen weiß oder schwarz ist.

Wie bereits erwähnt, wurden zur Untersuchung des Einflusses begrenzter Wellenlängenbereiche des Lichtes Farbfilter verwendet. Das nächste **Bild 5** zeigt die Lichtdurchlässigkeit der verwendeten Farbfilter in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes. Die gleichen Farbfilter und Photoelemente wurden schon bei früheren Untersuchungen verwendet [5]. Durch die schraffierten Linien begrenzt ist der sichtbare Bereich des Lichtes von 390 bis 770 nm eingezeichnet ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Das Ultraviolett- und das Ultrarotfilter liegen mit ihrem Maximum außerhalb des sichtbaren Bereiches. Das Ultrarotfilter läßt nur Licht mit einer Wellenlänge größer als 650 nm durch. Die spektrale Empfindlichkeit des Photoelementes erstreckt sich über den ganzen sichtbaren Bereich des Lichtes und reicht noch in den Ultrarotbereich hinein. Das Empfindlichkeitsmaximum liegt etwa bei 680 nm [5].

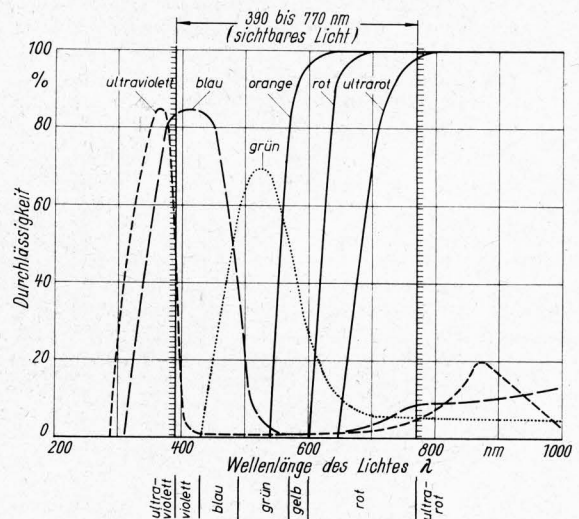


Bild 5. Lichtdurchlässigkeit der verwendeten Farbfilter in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes.

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$

Bild 6 zeigt die Ergebnisse von Standversuchen, d. h., bei diesen Versuchen befand sich das optische Fühlersystem während der Messung über Pflanzen bzw. Boden in Ruhe. Aufgetragen ist die Photospannung, die durch das vom Boden und Pflanze reflektierte Licht im Photoelement erzeugt wird, in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes. Die Versuchspunkte sind jeweils beim maximalen Durchlässigkeitswert der Farbfilter aufgetragen. **Bild 6** zeigt die Meßergebnisse bei einer Lampenspannung von 220 V bzw. 100 V. Die der Photospannung proportionale Lichtreflexion ist bei feuchtem Boden im ganzen Wellenlängenbereich kleiner als die Reflexion an Pflanzen. Trockener Boden dagegen reflektiert bis zu einem Wellenlängenbereich von 700 nm bis 750 nm mehr Licht als die Pflanzen, d. h., in einem weiten Bereich des sichtbaren Lichtes ist eine Unterscheidung von Boden und Pflanze durch optische Fühler nicht möglich. Erst bei Wellenlängen, die größer als 750 nm sind, d. h., wenn durch Vorschalten eines Ultrarotfilters alles Licht kleinerer Wellenlänge herausgefiltert wird, ist die Lichtreflexion auch an Rübenpflanzen größer als die Reflexion am trockenen Boden.

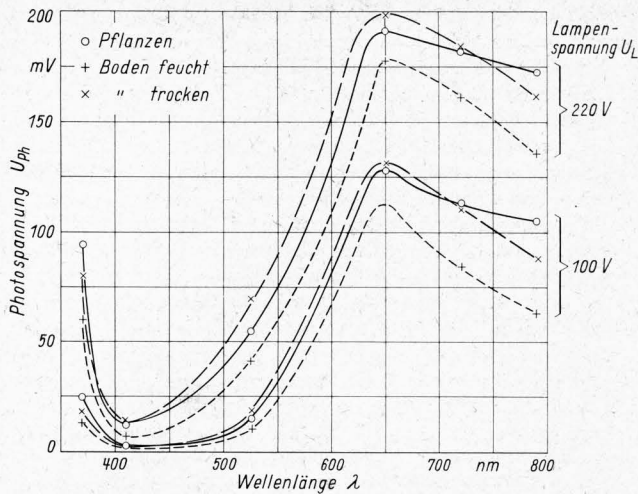


Bild 6. Abhängigkeit zwischen der bei Reflexion an Boden und Pflanzen erzeugten Photospannung und der Wellenlänge des Lichtes. Die Meßwerte wurden bei stehendem Fühlersystem aufgenommen.

Bei der Lampenspannung von 100 V, d. h. bei geringerer Beleuchtungsstärke, liegt der Schnittpunkt zwischen den Spannungskurven von Pflanzen und trockenem Boden bei einer kleineren Wellenlänge als bei der stärkeren Beleuchtung. Diese Tendenz ist aus **Bild 7** deutlich zu erkennen. Aufgetragen ist hier bei stehendem Fühler die Differenz der Photospannungen Δu zwischen Pflanzen und trockenem Boden mit der Beleuchtungsstärke (Lampenspannung) als Parameter. Positive Werte bedeuten, daß die Pflanzen mehr Licht reflektieren als trockener Boden, d. h. eine Unterscheidung von Boden und Pflanzen mit dem optischen Fühlersystem ist möglich. Mit abnehmender Beleuchtungsstärke (Lampenspannung) wird der Übergang zum positiven Bereich nach kleineren Wellenlängen hin verschoben, und außerdem werden die Photospannungsdifferenzen Δu bei gleicher Wellenlänge größer als bei stärkerer Beleuchtung. Gleichzeitig sinken mit abnehmender Beleuchtungsstärke aber auch die absoluten Photospannungen bei der Reflexion des Lichtes, **Bild 6**. Dadurch werden zur Aussteuerung eines Stellgliedes hohe Nachverstärkungen notwendig. Anzustreben ist demnach eine mittlere Beleuchtungsstärke, bei der sowohl die absoluten Photospannungen als auch die Differenz der Photospannungen im Wellenlängenbereich über 750 nm groß genug sind, um Pflanzen und Boden unterscheiden zu können.

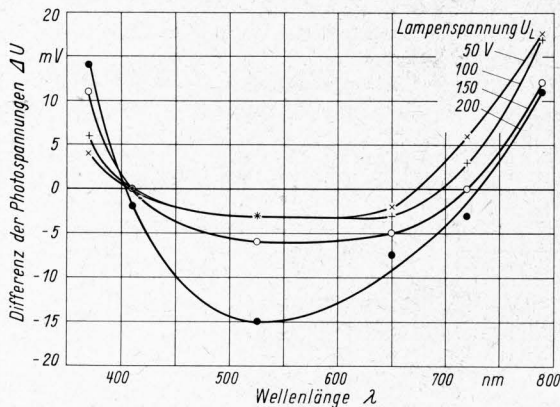


Bild 7. Die Differenz der Photospannungen Δu zwischen Pflanzen und trockenem Boden in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes.

$\Delta u > 0$ heißt: Pflanzen reflektieren mehr Licht als trockener Boden

Der Grund für die erhöhte Lichtreflexion an Pflanzen im Ultrarotbereich liegt vermutlich darin, daß Chlorophyll in diesem Wellenlängenbereich eine stark wachsende Fluoreszenzerscheinung hat. Eine einwandfreie Unterscheidung zwischen Boden und Pflanzen, die für Nachführungsvorgänge notwendig ist, ist also nur möglich, wenn Licht in dem begrenzten Wellenlängenbereich über 750 nm verwendet wird. Ob die Verhältnisse bei höheren Wellenlängen noch besser werden, konnte mit der Versuchseinrichtung nicht festgestellt werden, da die spektrale

Empfindlichkeit des Photoelementes nur bis zu einer Wellenlänge von etwa 900 nm reichte. Die im folgenden beschriebenen Fahrversuche in der Bodenrinne wurden mit vorgeschaltetem Ultrarotfilter durchgeführt.

Bild 8 zeigt einen Meßschieb, auf dem die Photospannung bei der Reflexion am Boden und Pflanzen in Abhängigkeit von der Zeit aufgezeichnet ist. Der Versuch zeigt die Abtastung einer Rübenreihe bei einer Fahrgeschwindigkeit von 0,5 m/s. Die Rübenpflanzen hatten dabei im Durchschnitt vier Blätter und eine Wachstumshöhe von 50 bis 60 mm. Im linken Teil des Bildes war der Boden feucht und der Pflanzenabstand betrug 90 mm. Im rechten Teil war der Boden trocken und der Pflanzenabstand betrug etwa 180 mm. Die Spitzen auf dem Schrieb geben die gemessenen Photospannungen für die Pflanzen und die Zwischenwerte, die Photospannung für feuchten und trockenen Boden an. In beiden Fällen ist eine klare Unterscheidung zwischen Pflanzen und Boden möglich. Es ließe sich also eine Schwelle zwischen den gemessenen Photospannungen des reflektierten Lichtes von Boden und Pflanzen so legen, daß bei Überschreitung derselben ein Nachführungs- oder Vereinzeltungsvorgang gesteuert wird.

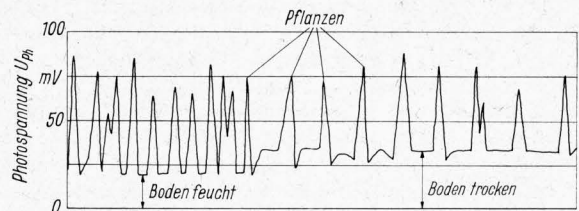


Bild 8. Meßschieb der aufgenommenen Photospannung in Abhängigkeit von der Zeit bei der Fahrt über eine Pflanzenreihe. Fahrgeschwindigkeit $v_F = 0,5$ m/s Pflanzenhöhe 50 bis 60 mm

Die Ergebnisse von Fahrversuchen in der Bodenrinne zeigt **Bild 9**. Aufgetragen ist die Photospannung U_{ph} in Abhängigkeit von der Lampenspannung U_L , welche hier ein Maß für die Beleuchtungsstärke ist. Die offenen Kreise gelten für den Tubus mit weißer Innenfläche, die gefüllten Kreise gelten für die schwarze Innenfläche. Die schwarze Innenfläche absorbiert viel von dem reflektierten Licht, so daß die Lichtintensität, die vom Photoelement aufgenommen wird, sehr viel kleiner ist als bei weißer Innenfläche. Erwartungsgemäß steigt die Photospannung mit zunehmender Lampenspannung an, und zwar etwa parabolisch.

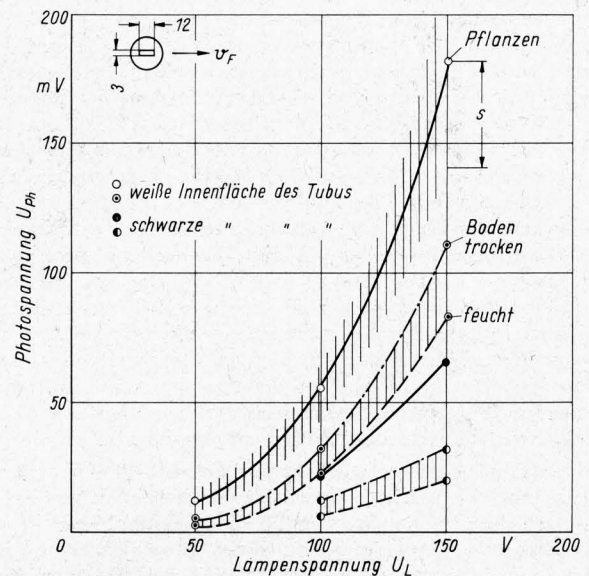


Bild 9. Abhängigkeit der Photospannung von der Lampenspannung beim Überfahren von Rübenpflanzen in der Bodenrinne.

Da mit zunehmender Photospannung gleichzeitig die Streuung s der Meßwerte steigt, die schraffiert eingezeichnet ist, wächst der effektive Unterschied der Photospannungen zwischen trockenem Boden und Pflanzen nicht so stark an. Da in jedem Fall eine Verstärkung der Spannungen notwendig ist, reicht beim vorliegenden Beleuchtungssystem schon eine mittlere Lampenspannung von 100 bis 150 V aus, um die unterschiedliche Reflexion von Boden und Pflanzen klar herauszustellen. Die gleiche

Tendenz wie in diesem Bild ergab sich bei allen Versuchen, die bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von 3 m/s in der Bodenrinne durchgeführt wurden. Höhere Fahrgeschwindigkeiten waren aus versuchstechnischen Gründen nicht möglich. Sowohl für die Werkzeugnachführung als auch für die Abtastung von Einzelpflanzen spielt das Verhalten des Fühlers bei der seitlichen Abweichung von der Mittellinie der Pflanzenreihe eine Rolle. In **Bild 10** ist im oberen Teil die Abhängigkeit der gemessenen Photospannung von der Abweichung des Photoelementes von der Mittellinie der Pflanzenreihe, im unteren Teil die Abhängigkeit zwischen der Zahl der vom Photoelement georteten Pflanzen und der Abweichung von der Mittellinie aufgetragen.

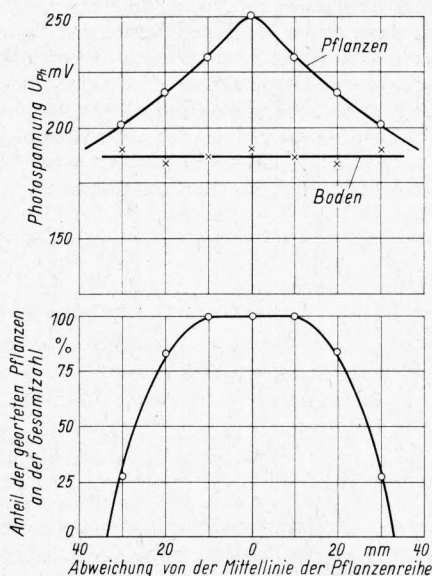


Bild 10. Photospannung und Zahl der georteten Pflanzen in Abhängigkeit von der Abweichung des Fühlers von der Mittellinie der Pflanzenreihe.

Die Abhängigkeit zwischen Photospannung und seitlicher Abweichung des Fühlers ist besonders wichtig für die Nachführung von Werkzeugen entlang einer Pflanzenreihe. Die erzeugte Photospannung bei der Lichtreflexion am Boden bleibt bei seitlicher Abweichung des Photoelementes im Rahmen der Streuung konstant. Die Photospannung, die dem an Pflanzen reflektierten Licht entspricht, fällt ziemlich steil ab. Bei einer Abweichung des Photoelementes von der Mittellinie der Pflanzen um ± 30 mm verringert sich die Photospannung um 50 mV. Dieser Abfall der Photospannung könnte ausreichen, um einen Steuerimpuls für das Nachführen der Werkzeuge zu erzeugen. Die Abhängigkeit zwischen der Zahl der georteten Pflanzen und der Abweichung von der Mittellinie ist wichtig für die Abtastung von Pflanzenfolgen. Bei einer seitlichen Abweichung des Photoelementes von ± 10 mm werden noch alle Pflanzen, bei einer Abweichung von ± 20 mm aber nur noch 80% der Pflanzen registriert. Mit wachsender Abweichung fällt die Zahl der georteten Pflanzen dann steil ab. Bei der Abtastung von Einzelpflanzen, z. B. zum Zwecke der Vereinzelung, muß das Photoelement also ziemlich genau über der Mittellinie der Pflanzenreihe geführt werden, wenn alle Pflanzen erfaßt werden sollen.

Grundsätzlich ist es möglich, ein optisches Fühlersystem, welches nach dem Prinzip der unterschiedlichen Lichtreflexion an Pflanzen und Boden arbeitet, für die Nachführung an Pflanzenreihen sowie für die Abtastung von Einzelpflanzen einzusetzen. Voraussetzung dabei ist, daß durch entsprechende Farbfilter vornehmlich nur Licht mit einer hohen Wellenlänge auf das Photoelement trifft. Der Vorteil des Prinzips ist, daß es berührungslos arbeitet, der Nachteil, daß es sehr anfällig gegen Verschmutzung ist.

2.2 Elektrisches Fühlersystem

Außer dem optischen wurde auch ein berührungslos arbeitendes elektrisches Fühlersystem untersucht. Hierbei handelt es sich um einen neuartigen kapazitiven Näherungsinitiator, **Bild 11**. An der Stirnseite des Fühlers, der in der vorliegenden Form einen

Durchmesser von 32 mm und eine Länge von 70 mm hat, wird durch Kondensatoren ein elektrisches Feld erzeugt. Wird dieses Feld durch Annäherung eines Gegenstandes, der eine von Luft verschiedene Dielektrizitätskonstante hat, verändert, dann wird durch eine eingebaute Elektronik am Ausgang ein Signal erzeugt. Im Gegensatz zu den bisher bekannten induktiven Näherungsinitiatoren spricht dieser Geber auch auf nichtmetallische Werkstoffe an. Aus diesem Grunde ist er auch gut geeignet für die Bestimmung von Pflanzenpositionen bei der Werkzeugnachführung und der Abtastung von Pflanzenfolgen [2]. Der zylindrische Fühler wird dabei mit einem Abstand zwischen 0 und 20 mm über die Pflanzenspitzen entlanggeführt. Der maximale Abstand von der Stirnfläche, bei der der Geber noch anspricht, beträgt 20 mm. Die maximale Schaltfrequenz beträgt 200 Hz. Der Fühler ist in einem Kunststoffgehäuse vergossen und ist deshalb wasserdicht, was eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz in der Landwirtschaft ist. Einen mit dem elektrischen Fühler bei der Abtastung einer Pflanzenreihe mit einer Fahrgeschwindigkeit

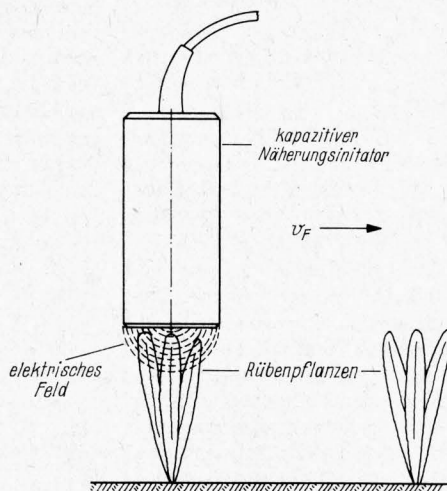


Bild 11. Prinzipskizze eines kapazitiven Näherungsinitiators zur Erfassung von Pflanzenpositionen [2].

von 3 m/s aufgenommenen Meßschrieb zeigt **Bild 12**. Der Abstand von Pflanze zu Pflanze betrug dabei 70 bis 90 mm. Die in dem Fühler eingebaute Elektronik gibt bei jeder Ortung einer Pflanze einen einheitlichen Spannungsimpuls gleicher Größe ab. Aus diesem Grunde sind auf diesem Schrieb alle Spitzen, die das Überfahren einer Pflanze anzeigen, gleich groß. Die Impulse lassen sich beliebig verstärken, weshalb an der Ordinate auch keine Einheit angegeben ist. Bei der Fahrgeschwindigkeit von 3 m/s ergab sich noch eine einwandfreie Ortung aller Pflanzen.

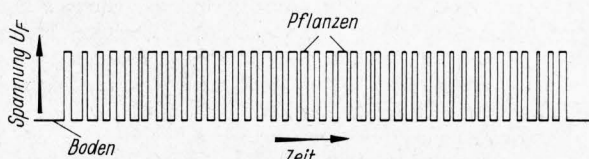


Bild 12. Meßschrieb des kapazitiven Näherungsinitiators beim Überfahren einer Pflanzenreihe mit einer Fahrgeschwindigkeit $v_F = 3$ m/s.

Da die Intensität des vom Fühler abgegebenen Signals bei der Ortung einer Pflanze immer konstant ist, konnte mit dem elektrischen Meßwertgeber nur die Funktion zwischen der Zahl der georteten Pflanzen und der Lage des Fühlers relativ zur Pflanzenreihe untersucht werden. **Bild 13** zeigt die Abhängigkeit zwischen der Zahl der vom Fühler georteten Pflanzen und der Abweichung des Fühlers von der Mittellinie der Pflanzenreihe. Je nach Ausbildung der Pflanzen wird die Kurve etwas anders verlaufen.

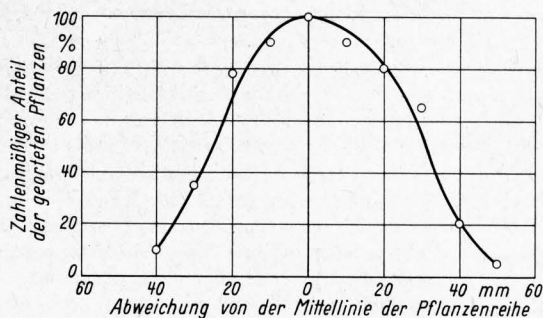


Bild 13. Die Abhängigkeit zwischen der Zahl der vom kapazitiven Näherungsinitiator georteten Pflanzen und der Abweichung des Fühlers von der Mittellinie der Pflanzenreihe.

Sie zeigt aber, daß die Zahl der erfaßten Pflanzen bei der Abweichung von der Mittellinie stark abnimmt. Bei einer Abweichung von ± 20 mm werden nur noch etwa 80% der Pflanzen in der Pflanzenreihe geortet. Mit wachsender Abweichung fällt die Kurve steil ab. Für die Nachführung von Werkzeugen an Pflanzenreihen ist dieser Kurvenverlauf günstig, da schon bei verhältnismäßig kleinen Abweichungen Regelsignale ausgelöst werden. Bei der Ortung von Einzelpflanzen zur Vereinzelung muß der Fühler aber sehr genau über der Pflanzenreihe geführt werden, um alle Pflanzen zu erfassen. Für diesen Zweck läßt sich vielleicht statt der runden Ausführung ein Fühler mit größerer Seitenausdehnung entwickeln.

Untersuchungen, bei denen die Höhe des Fühlers über den Pflanzen bzw. dem Boden variiert wurden, ergaben, daß die Höhe der Stirnfläche des Fühlers über der Bodenoberfläche etwa auf die mittlere Höhe der Pflanzen eingestellt werden muß und daß sich die Pflanzenhöhe bei dem vorliegenden Fühler entsprechend der Ansprechgrenze von 20 mm nicht sehr stark ändern darf, wenn 100% der Pflanzen erfaßt werden sollen. Auch hier läßt sich der Fühler aber durch entsprechende Auslegung wahrscheinlich noch mehr an die Forderungen bei Nachführungsproblemen anpassen. Der Fühler, mit dem die Versuche durchgeführt wurden, war eine für bestimmte verfahrenstechnische Belange entwickelte Ausführung.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß der kapazitive Näherungsiniziator beim Einsatz für die Ortung von Pflanzen auf einzelne Wassertropfen und kleine, spritzende oder auch haftende Bodenkrümel nicht anspricht, bei richtiger Einstellung aber alle Pflanzen ortet. Der Vorteil gegenüber dem optischen Fühlersystem liegt in der Unempfindlichkeit gegen Erschütterungen, Verschmutzung und Feuchtigkeitseinflüsse. Deshalb scheint dieser Fühler für den Einsatz an Landmaschinen gut geeignet zu sein.

3 Prinzipieller Aufbau von Systemen zur Steuerung und Nachführung von Werkzeugen

Während für die optischen und elektrischen Fühlersysteme die beschriebenen Untersuchungsergebnisse vorliegen, sind Versuche mit ganzen Systemen zur Steuerung und Nachführung von Werkzeugen, unter Zuhilfenahme dieser Fühler, noch in der Vorbereitung.

Im folgenden sollen deshalb nur die besonderen Probleme, die sich durch Funktion und Form der untersuchten Fühler ergeben, erörtert und der prinzipielle Aufbau ganzer Steuer- und Regelungssysteme beschrieben werden.

Die optischen Fühler geben als Kriterium für die Unterscheidung von Boden und Pflanzen unterschiedlich hohe Photospannungen ab. Um diese Spannungen für Steuerungen oder Regelungen verwenden zu können, muß den Fühlern zunächst ein elektrisches Schwellwertglied nachgeschaltet werden, an dessen Ausgang wie bei den kapazitiven Fühlern nur dann ein Impuls auftritt, wenn eine Pflanze vorhanden ist. **Bild 14** zeigt die prinzipielle Wirkungsweise eines solchen Schwellwertgliedes: überschreitet die Photospannung den Schwellwert ϵ , dann tritt an seinem Ausgang eine Spannung auf. Durch eine Impulsformerschaltung können Impulse, die am Ausgang des Schwellwertgliedes auftreten, in Rechteckimpulse gleicher Höhe umgeformt werden, so daß dann ein Signal erhalten wird, das prinzipiell dem entspricht, das am Ausgang des kapazitiven Näherungsiniziators auftritt. Wenn das erreicht ist, dann können für beide Meß-

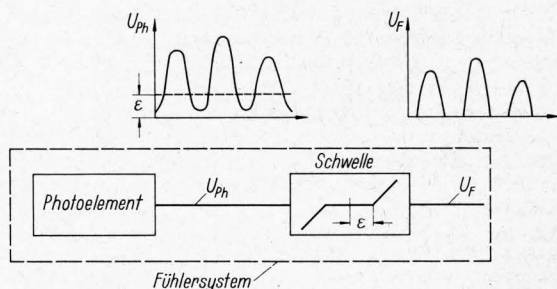


Bild 14. Photoelement mit nachgeschalteter Schwelle.

U_{Ph} Ausgangsspannung des Photoelementes ϵ Schwellwert
 U_F Ausgangsspannung der Schwelle bzw. des Fühlersystems

systeme gleiche Steuerungs- oder Regelungssysteme zum Einsatz kommen. Die folgenden Ausführungen gelten deshalb sowohl für die optischen als auch für die kapazitiven Fühler.

3.1 Systeme zur Vereinzelung

Bei den automatisch gesteuerten Vereinzelungsmaschinen besteht die Aufgabe der Fühler darin, die Position von Pflanzen in Fahrtrichtung zu ermitteln, um Vereinzelungswerkzeuge so steuern zu können, daß größere Fehlstellen, die beim Blindvereinzelungsverfahren auftreten, vermieden werden. Es kann hier nicht auf die Vor- und Nachteile der verschiedenen Fühleranordnungen relativ zu den Werkzeugen eingegangen, sondern nur der grundsätzliche Aufbau solcher Vereinzelungssysteme gezeigt werden. Die auf dem Markt befindlichen automatischen Vereinzelungsmaschinen werden entweder mit Nach- oder mit Vorwerkzeugetastern ausgerüstet. Beim Nachwerkzeugetaster ergibt sich für das Steuerungssystem die Aufgabe, immer dann, wenn der Fühler eine Pflanze geortet hat, die Pflanze stehen zu lassen und durch einen einfachen oder einen doppelten Schlag des Vereinzelungswerkzeuges eine Lücke in den auf diese Pflanze folgenden Pflanzenbestand zu schlagen. In **Bild 2** ist eine Ausführung einer Maschine mit Nachwerkzeugetaster gezeigt. Der prinzipielle Aufbau eines solchen Systems ist in **Bild 15** in Form eines Blockschaltbildes dargestellt. Die vom Fühlersystem abgegebenen elektrischen Spannungsimpulse steuern eine bistabile elektronische Kippstufe. Eine solche Kippstufe ist einem Schalter vergleichbar, der von einem Impuls geöffnet und von dem nächsten geschlossen wird. Einer solchen Kippstufe kann man ein $4/2$ -Wege-Magnetventil mit einem Magneten und Federrückstellung nachschalten, das dann abwechselnd in der einen oder in der anderen Richtung den Durchfluß freigibt und dementsprechend einen hydraulischen Zylinder steuert. Der Zylinder betätigt das Vereinzelungswerkzeug (einfacher Schlag) und wird in der jeweiligen Bewegungsrichtung an begrenzendes Anschläge gefahren, so daß das Ventil bei Beendigung der Bewegung nicht geschlossen werden muß. Eine solche hydraulische Schaltung ist bei Verwendung einer Konstantdruck-Versorgungseinheit möglich, ohne daß dabei große Verluste in Kauf genommen werden müssen [3].

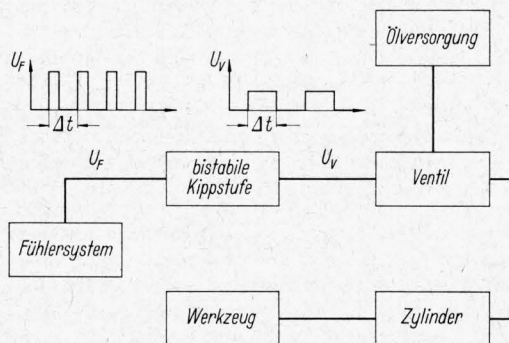


Bild 15. Blockschaltbild eines Vereinzelungssystems.

U_F Fühlerausgangsspannung
 U_V Ventilsteuerspannung
 Δt Zeitintervall zwischen dem Auftreten zweier Pflanzen

Bei dem Aufbau des Systems wurde davon ausgegangen, daß die Fahrgeschwindigkeit der Maschine, an die das System angebaut ist, konstant und immer die gleiche ist. Will man erreichen, daß für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten die Größe der Schonzone um eine Pflanze gleichbleibt, dann müssen zusätzlich zu den hier beschriebenen Elementen fahrgeschwindigkeitsabhängige Zeitglieder eingesetzt werden.

3.2 Systeme zur Nachführung

Bei der Nachführung von Werkzeugen, worunter hier nur Feinsteuerungen verstanden werden sollen, treten mit den beschriebenen optischen und kapazitiven Fühlern gegenüber der Vereinzelung größere Schwierigkeiten auf. Der Grund für diese Schwierigkeiten liegt einerseits in der Form der Fühler und andererseits darin, daß Vereinzelungssysteme Steuerungen sind, während es sich bei den Nachführungssystemen um geschlossene Regelkreise handelt.

Ist der Pflanzenbestand innerhalb einer Reihe lückenlos besetzt, dann kann eine Information über die Richtung der Abweichung eines Werkzeuges von dieser Reihe an jeder Stelle erhalten werden, wenn an beiden Seiten der Reihe je ein optischer oder kapazitiver Fühler angeordnet wird. Sehr viele Nachführungsprobleme treten aber bei Pflanzenbeständen auf, bei denen die einzeln stehenden Pflanzen durch Zwischenräume getrennt sind die ein Vielfaches der räumlichen Ausdehnung der hier untersuchten Fühler betragen können. Hier kann nur an den Stellen, an denen eine Pflanze vorhanden ist, eine Information über die Lage der Werkzeuge relativ zu der Pflanzenreihe erhalten werden. In den Zwischenräumen zwischen zwei Einzelpflanzen ist eine Lagebestimmung mit diesen Fühlersystemen nicht möglich.

Die für solche Nachführungsprobleme bisher eingesetzten mechanischen oder elektromechanischen Fühler haben diesen Nachteil nicht. Hier wird eine Überbrückung der Zwischenräume dadurch erreicht, daß die Fühler eine entsprechend große „aktive“ Länge haben und immer mehrere Pflanzen gleichzeitig berühren können. Mit den optischen und kapazitiven Fühlern könnte ein ähnlicher Effekt dadurch erreicht werden, daß man zu beiden Seiten einer Reihe mehrere Fühler hintereinander anordnet oder daß man diesen Fühlern auch eine größere aktive Länge in Fahrtrichtung gibt. Der letztgenannten Möglichkeit sind aber vom Funktionsprinzip her enge Grenzen gesetzt. Das Bild 16 zeigt die verschiedenen Möglichkeiten.

Sollen die Fühler in der vorliegenden Form verwendet und nicht mehrere davon hinter- oder nebeneinander angeordnet werden, dann müssen besondere Maßnahmen ergriffen werden, um ein funktionsfähiges Nachführungssystem aufbauen zu können. Bei je einem zu beiden Seiten der Pflanzenreihe angeordneten Fühler würde ein herkömmliches Regelsystem, wenn einer der Fühler eine Pflanze geortet hat und die Maschine in Ruhe ist, so lange eine Stellbewegung ausführen, bis der entsprechende Fühler kein Signal mehr abgibt. Da die Maschine sich aber fortbewegt, gibt der Fühler, der eine Pflanze ertastet hat, nur einen Spannungsimpuls von sehr kurzer Zeitdauer ab, der bei der Größe der vorhandenen Fühler und den erwünschten Fahrgeschwindigkeiten nicht lang genug ist, damit das System in dieser Zeit einen entsprechend korrigierenden Stellschritt ausführen kann. Würde das Signal eine Aussage über die Größe der Abweichung liefern, dann könnte man den jeweiligen Wert des Signals und damit die Größe der Abweichung speichern und so eine Nachführung erreichen, bei der der korrigierende Stellschritt gleich der gemessenen Abweichung ist. Da das Signal aber nur eine Auskunft über die Richtung der Abweichung gibt, ist ein solcher Weg nicht gangbar.

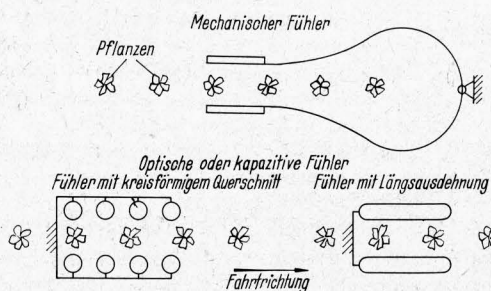


Bild 16. Prinzipieller Aufbau verschiedener Fühlersysteme.

Prinzipiell ist bei Vorhandensein je eines Fühlers an den beiden Seiten einer Pflanzenreihe ein System realisierbar, das zur Zeit im Institut für landtechnische Grundlagenforschung entwickelt wird. Dieses Nachführungssystem führt, wenn ein Fühler einen Impuls abgibt, jeweils einen Stellschritt konstanter Weite in die entsprechende Richtung aus. Die erforderliche Größe dieses Stellschrittes muß, ausgehend von der statistischen Verteilung der Abweichung der Pflanzen von der Mittellinie, ermittelt werden. Der Aufbau eines solchen Systems ist im Prinzip in Bild 17 gezeigt. Den Fühlern, die zu beiden Seiten der Pflanzenreihe angeordnet sind, wird jeweils eine monostabile elektronische Kippstufe nachgeschaltet. Bei jedem Impuls, den die vorgeschalteten Fühler abgeben, werden die Kippstufen für eine

bestimmte einstellbare Zeit Δt in die Schaltstellung gekippt, in der sie ein Magnetventil betätigen. Das Magnetventil wird also für ein bestimmtes Zeitintervall in der einen oder anderen Richtung geöffnet und in diesem Zeitintervall wird durch den Hydraulikzylinder jeweils ein entsprechender Stellschritt konstanter Größe in der einen oder anderen Richtung ausgeführt. In Bild 17 ist der Verlauf eines solchen Nachführungsvorganges an einer Pflanzenreihe skizziert.

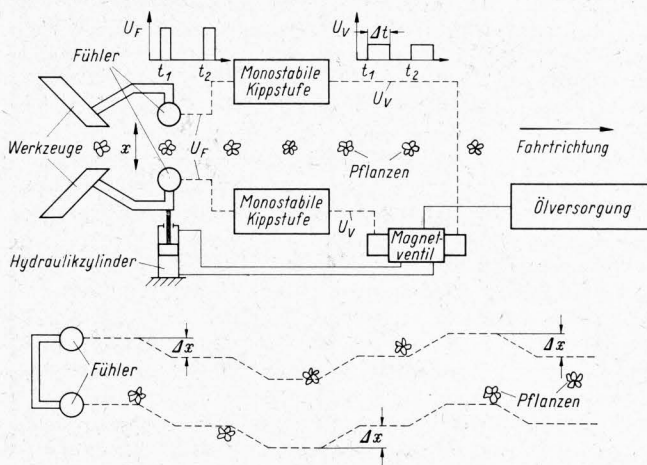


Bild 17. Prinzipschaltbild eines Nachführungssystems.

- U_F Fühlerausgangsspannung
- U_V Ventilsteuerspannung
- $t_{1,2}$ Zeitpunkte, zu denen Pflanzen auftreten
- Δt Zeitdauer der Ventilsteuerspannung für einen Stellschritt
- x Weg des Werkzeuges
- Δx konstante Schrittweite der Werkzeugverstellung

4 Schlußbetrachtung

Die Untersuchungen von optischen und kapazitiven Fühlern hat ergeben, daß sie vom Funktionsprinzip her zur Erfassung von Pflanzen in Pflanzenreihen geeignet sind. Die optischen Fühler haben für einen praktischen Einsatz den Nachteil, daß sie gegen Verschmutzung und Feuchtigkeit anfällig sind. Im Gegensatz dazu sind kapazitive Fühler relativ unanfällig, weshalb an ihren praktischen Einsatzmöglichkeiten nicht gezweifelt werden kann. Beide Fühlersysteme haben gegenüber den zur Zeit verwendeten den Vorteil, daß sie eine berührungslose Abtastung ermöglichen, so daß keine sehr genaue Höhenführung der Fühler über dem Boden erforderlich ist. Das ist bei Berührungstastern notwendig und bereitet Schwierigkeiten, wenn die Pflanzen sehr klein sind.

Das beschriebene Vereinzelungssystem entspricht in seinem strukturellen Aufbau im wesentlichen den bereits auf dem Markt befindlichen Systemen, während das vorgeschlagene Nachführungssystem in dieser Form noch unbekannt ist. Ob dieses System eine Nachführung mit genügender Genauigkeit ermöglicht, müssen die geplanten Untersuchungen zeigen.

5 Schrifttum

- [1] Besednov, M. V., und A. V. Galkin: Elektrogidravličeskij privod aktivnyh rabočih organov propašnyh kul'tivatorov (Elektrohydraulische Regelung der Arbeitsorgane von Hackmaschinen). Chlopkovodstvo **11** (1961) Nr. 5, S. 37/41.
- [2] Hesse, H., und Chr. v. Zabeltitz: Patentanmeldung 1967.
- [3] Hesse, H.: Aufbau und Wirkungsweise elektrohydraulischer Regelsysteme. Grndl. Landtechn. **18** (1968) Nr. 1, S. 27/34.
- [4] Tarlavskij, D. N., G. G. Nachamkin und I. D. Kletkin: Ustrojstvo dlja avtomatičeskogo napravlenija kul'tivatora vdol' rjadkov rastenij (Vorrichtung für die automatische Steuerung von Hackgeräten). Traktory i sel'chozmašiny **34** (1964) Nr. 3, S. 35/36. Ref. in: Grndl. Landtechn. **16** (1966) Nr. 2, S. 80.
- [5] Zabeltitz, Chr. von: Über die Trennung von Kartoffeln und Steinen durch Lichtreflexion. Grndl. Landtechn. **17** (1967) Nr. 2, S. 52/58.
- [6] Zabeltitz, Chr. von: Meß- und Übertragungsprobleme bei der Automatisierung in der Landtechnik. Grndl. Landtechn. **18** (1968) Nr. 1, S. 21/27.