

# Meß- und Übertragungsprobleme bei der Automatisierung in der Landtechnik

Von **Chr. von Zabeltitz**, Braunschweig-Völkenrode<sup>1)</sup>

Der Fortschritt bei der Automatisierung in der Landtechnik wird sehr stark durch die Auswahl, Entwicklung und Konstruktion geeigneter Fühler zur Messung von Regelgrößen beeinflusst. Anhand von ausgewählten Beispielen wird die Wirkungsweise verschiedener Fühlersysteme in systematischer Reihenfolge beschrieben. Für die Umformung von mechanischen Größen, wie Wege, Winkel und Kräfte, gibt es eine Reihe von Meßwertgebern, deren Funktionen dargestellt werden. Versuche mit optischen Fühlern haben ergeben, daß sich sowohl Kartoffeln und Steine für einen Trennvorgang als auch Rübenpflanzen und Erdboden für die Verinselung und Nachführung mit einem Fotoelement als Aufnehmer voneinander unterscheiden lassen. Für den gleichen Zweck wie optische Fühler lassen sich Ultraschallmeßwertgeber verwenden.

## Inhalt

1. Das Meßglied im Regelkreis
2. Meßwertgeber für mechanische Größen
3. Elektrische Meßwertfassung
4. Optische Fühler
5. Ultraschallmeßwertgeber
6. Zusammenfassung

Die Anwendung der Regelungs- und Steuerungstechnik als Teilgebiet der Automatisierung in der Landtechnik wird bei zukünftigen Entwicklungs- und Forschungsaufgaben eine zunehmende Rolle spielen. Der Erfolg bei der Automatisierung hängt in beträchtlichem Maße von der Auswahl, Entwicklung und Konstruktion geeigneter Fühler zur Erfassung und Messung der jeweiligen Regelgröße ab. Dieser Frage der funktionsgerechten und wirtschaftlichen Fühlerentwicklung muß in verstärktem Maße nachgegangen werden, da die Automatisierung vieler Prozesse in der Landtechnik heute noch an diesem Problem scheitert.

## 1. Das Meßglied im Regelkreis

Die Regelung ist ein Vorgang, bei dem der vorgegebene Wert einer Größe fortlaufend durch Eingriff aufgrund von Messungen dieser Größe hergestellt und aufrechterhalten wird [25]. Es ergibt sich ein gerichteter Wirkungsablauf in einem Regelkreis, der aus Regler und Regelstrecke besteht, **Bild 1**. Der Regler hat vornehmlich drei Aufgaben:

1. Die Regelgröße  $x$  muß mit Hilfe eines Meßwerkes gemessen und in eine für die Weiterleitung und Weiterverarbeitung günstige physikalische Größe umgewandelt werden.
2. Der gemessene Wert muß im Regler mit dem Sollwert verglichen und die Regelabweichung als Differenz gebildet werden. Diese Regelabweichung muß umgeformt und eine geeignete Regelgesetzmäßigkeit gebildet werden.
3. Der Regler soll aufgrund der vorliegenden Regelgesetzmäßigkeit durch das Stellwerk eine Verstellung der Stellgröße  $y$  vornehmen.

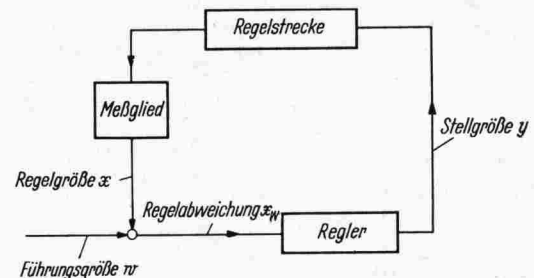
Im folgenden werden nur die Meßglieder im Regelkreis betrachtet. Alle übrigen Bauelemente des Regelkreises und das Zeitverhalten des Reglers und seiner Glieder bleiben unberücksichtigt. Das Meßglied, welches als Teil des Reglers aufgefaßt werden kann, besteht im Normalfall aus Fühler und Meß-

<sup>1)</sup> Vorgetragen auf der VDI-Tagung Landtechnik in Braunschweig am 12. Oktober 1967.

Dr.-Ing. Christian von Zabeltitz war wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode und ist jetzt in der Gebr. Claas Maschinenfabrik GmbH, Harsewinkel, tätig.

umformer, wobei der Fühler die zu messende Größe erfährt und der Meßumformer diese für die Signalübertragung zum Regler in eine geeignete physikalische Größe umformt.

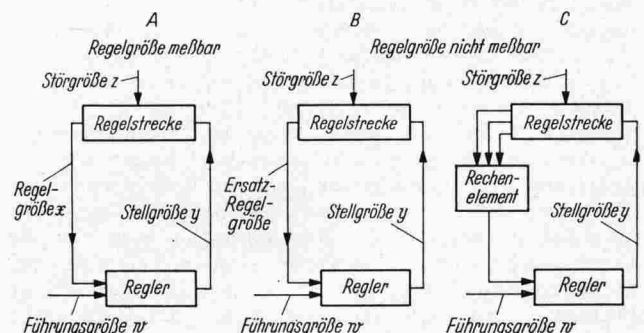
Wesentlich für die Regelung ist die Signalerfassung und -übertragung, die möglichst ohne Verzögerung und rückwirkungsfrei erfolgen muß. Für die Signalübertragung der Regelgröße können mechanische, pneumatische, hydraulische und elektrische Größen verwendet werden. Bei den mechanischen Größen handelt es sich beispielsweise um Wege oder Kräfte. Bei den pneumatischen und hydraulischen Größen handelt es sich um Drücke oder Impulsänderung durch Strahlumlenkung von Luft und Flüssigkeit und bei den elektrischen Größen um elektrische Spannungen und Ströme. In Einzelfällen wird auch eine optische Signalübertragung angewendet.



**Bild 1.** Blockschaltbild eines Regelkreises.

Für die Übertragung sowie für die Weiterverarbeitung im Regler sind elektrische Signale besonders günstig. In vielen Fällen liegt der Meßwert am Meßort als elektrische Größe vor oder kann bei mechanischen oder anderen Fühlern durch einfache Bauglieder in ein elektrisches Signal umgeformt werden. Mit elektrischen Baugliedern ist es auch einfacher möglich, einen Regler an die Regelstrecke optimal anzupassen. Die elektrische Signalübertragung ist nahezu verzögerungsfrei und bietet außerdem den Vorteil, daß verschiedene Größen in einfacher Weise zur Überwachung der Maschinenfunktion auf dem Führungsstand angezeigt werden können. Nimmt das Meß- und Übertragungssystem eine Leistung auf, so können besonders bei empfindlichen Meßwerken Rückwirkungen und damit Beeinflussungen der Messung auftreten. Am günstigsten ist daher eine Messung mit möglichst leistungsarmer Umformung und Übertragung der Meßgröße. Dies ist bei elektrischer Meßwertumformung und -übertragung im allgemeinen gegeben.

**Bild 2** zeigt einige Möglichkeiten der Bildung von Regelkreisen. Bei dem Soll-Ist-Wertvergleich, auf dem jede Regelung beruht und bei dem das Meßwerk die Aufgabe hat, den Ist-Wert der Regelgröße in geeigneter Form bereitzustellen, wird vor-



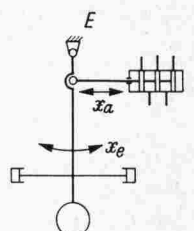
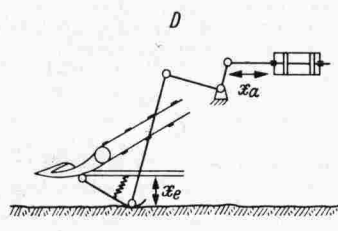
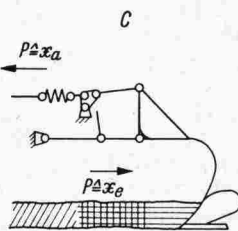
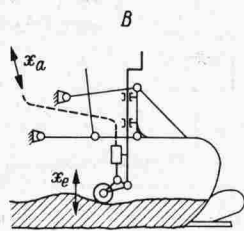
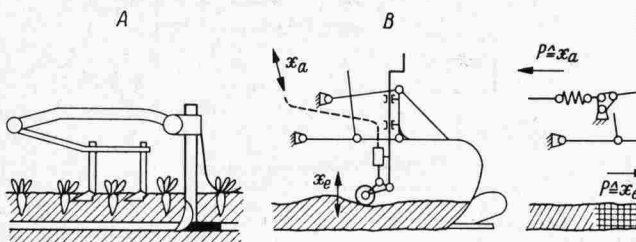
**Bild 2.** Möglichkeiten der Bildung von Regelkreisen.

- A direkte Messung der Regelgröße
- B Messung einer Ersatzregelgröße
- C Messung mehrerer Größen und Ermittlung einer Ersatzregelgröße durch Rechenelemente

ausgesetzt, daß die Regelgröße gemessen werden kann. Dieser Fall ist in dem ersten Blockschaltbild A dargestellt. Ist die Regelgröße nicht direkt der Messung zugänglich, muß eine geeignete Ersatzregelgröße gewählt werden, die mit der Regelgröße in einem eindeutigen Zusammenhang steht, Blockschaltbild B. Ein typisches Beispiel hierfür ist z. B. die Durchsatzregelung am Mähdrescher. Gefordert wird eine konstante, optimale Zuführung an Erntegut zur Dreschtrommel. Um die Fahrgeschwindigkeit der jeweiligen Bestandsdichte anzupassen, wäre eine meßtechnische Erfassung des Bestandes an Erntegut kurz vor dem Schneidbalken wünschenswert. Diese Bestandsmessung ist bis heute noch nicht möglich. Demzufolge werden mehrere Vorschläge gemacht [3], den Durchsatz mittels einer Ersatzregelgröße zu messen, die in einer bestimmten Abhängigkeit zum Durchsatz steht. Solche Ersatzregelgrößen können beispielsweise sein:

1. die Drehmomente am Mähmesserantrieb, an der Einzugschneckenwelle, an der Schrägelevatorwelle und an der Dreschtrommelwelle,
2. die Auslenkung der pendelnd aufgehängten Einzugschnecke, der Schrägelevatorschwinge und der Schrägelevatorkette und
3. der Druck auf den Dreschkorb.

Steht neben der nichtmeßbaren Regelgröße auch keine geeignete Ersatzregelgröße für die Meßwertfassung zur Verfügung,



so ist das Regelproblem nicht mit einem einfachen Regelkreis zu lösen. Aus dieser Gruppe der scheinbar unlösbaren Regelprobleme lassen sich diejenigen lösen, bei denen zwischen der nicht meßbaren Regelgröße und anderen in der Regelstrecke auftretenden meßbaren Größen ein mathematisch formulierbarer Zusammenhang besteht [10]. In diesem Falle lassen sich Rechenelemente zwischen Regelstrecke und Regler einschalten, die diesen mathematischen Zusammenhang nachbilden, Blockschaltbild C. Eingangswerte des Rechners sind mehrere in der Regelstrecke gemessene Größen, die durch eine Rechenoperation zu einer Information über die nichtmeßbare Regelgröße verknüpft werden. Als Beispiel kann man hier den Wirkungsgrad anführen, der sich durch Rechnung aus mehreren meßbaren Größen ermitteln läßt.

Für die Meßwertfassung gibt es digital und analog wirkende Meßglieder. Die digitalen Glieder geben unabhängig vom Typ des Eingangssignals nur digitale Ausgangssignale ab. Digitale Meßwertgeber sind heute noch sehr teuer. Bei der analogen Meßwertfassung ist zu unterscheiden, ob der Fühler im Regelkreis ein stetig oder unstetig wirkendes Glied ist. Ein stetig wirkendes Glied gibt bei einem stetigen Eingangssignal ein stetiges Ausgangssignal, d. h., der Fühler mißt den als stetige physikalische Größe vorliegenden Ist-Wert ununterbrochen und überträgt eine stetige Information an den Regler. Dies ist z. B. der Fall bei der Nachführung von Schleppern an künstlichen oder natürlichen Leitlinien mit stetig arbeitenden Meßelementen sowie bei der stetigen Erfassung einer Ersatzregelgröße für die Durchsatzregelung am Mähdrescher. Bei unstetig arbeitenden Fühlern wird die Regelgröße als Folge von Einzelwerten erfaßt und als solche dem Regler zur Weiterverarbeitung übertragen. Dabei tastet entweder der Fühler die Regelgröße, die als stetiger physikalischer Wert vorliegt, in Form diskreter Einzelwerte ab oder die Regelgröße selbst liegt als Folge von Einzelwerten vor. Letzteres ist der Fall beim Abtasten einzelner Pflanzen in einer Pflanzenreihe zum Zwecke der Nachführung von Werkzeugen oder der Vereinzelung z. B. von Rüben. Da bei diskret auftretenden Regelgrößen zwischen zwei Werten kein Signal vorliegt, kann es hier erforderlich sein, ein Halteglied vorzusehen, welches den zuletzt vom Fühler erfaßten Wert bis zum Auftreten des nächsten konstant hält.

Im folgenden sollen anhand von ausgewählten Beispielen Fühler- und Meßsysteme diskutiert werden, die für Automatisierungsaufgaben in der Landtechnik eingesetzt werden können. Dabei wird eine Unterteilung nach der physikalischen Wirkungsweise der Fühler vorgenommen, wobei mechanisch, elektrisch, optisch und nach anderen Gesetzmäßigkeiten wirkende Fühler unterschieden werden.

## 2. Meßwertgeber für mechanische Größen

Man kann zwei Arten von mechanischen Fühlern unterscheiden, und zwar mechanische Fühler, bei denen auch die Signalübertragung der Regelgröße mit Hilfe mechanischer Glieder erfolgt, und mechanische Fühler, bei denen die Regelgröße am Fühler in ein anderes Signal umgeformt wird.

**Bild 3** zeigt in schematischer Darstellung einige mechanische Fühler mit mechanischer Signalübertragung. Als erstes eine Nachführvorrichtung A für Hackgeräte zwischen Pflanzenreihen. Für die Nachführung wird beim Drillen im Boden zwischen Pflugssole und Hackssole eine rechteckförmige Spurrille gezogen, in die beim Hacken die mit dem Hackrahmen mechanisch verbundenen Nachführwerkzeuge eingeführt werden. Auf diese Weise werden die Hackwerkzeuge so geführt, daß sie genau der Drillspur folgen. Voraussetzung ist, daß die Spurrille zwischen Drill- und Hackzeitpunkt gut erhalten bleibt.

**Bild 3.** Mechanische Fühler mit mechanischer Signalübertragung.

- |  |   |
|--|---|
| A Nachführung durch Spurrille            | $x_e$ die zu messende Eingangsgröße des Fühlers |
| B Tiefenregelung beim Pflügen            | $x_a$ die zu übertragende Ausgangsgröße         |
| C Zugkraftregelung beim Pflügen          |   |
| D Schneidwerkhöhenführung am Mähdrescher |   |
| E Pendel zur Lageregelung                |   |

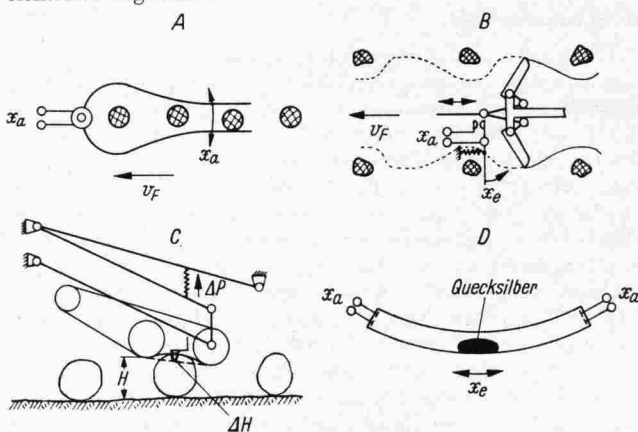
Die bekannten Meßwertgeber zur Tiefen- und Zugkraftregelung (B und C) beim Pflügen haben ebenfalls eine mechanische Übertragung der Regelgröße. Die durch das Tastrad gemessene Tiefe wird durch Bowdenzug und die durch eine Feder im oberen Lenker gemessene Zugkraft durch ein Gestänge auf den Regler übertragen.  $x_e$  ist die zu messende Eingangsgröße des Fühlers und  $x_a$  die zu übertragende Ausgangsgröße. Bei der Schneidwerkhöhenführung (D) und der Lageregelung von Funktionselementen in Erntemaschinen durch Pendel (E) sind ebenfalls mechanische Übertragungen möglich [3; 11; 26]. Die Schneidwerkshöhe wird durch Gleitkufen geregelt, die als Bügel nebeneinander in bestimmtem Abstand unterhalb des Schneidwerkes auf einer Welle angebracht sind [3; 12].

Die Siebleistung und die Verluste bei Körnersieben und Schüttlern in Mähdreschern hängen stark von der Siebneigung ab. Die Einhaltung einer waagerechten Lage der Funktionselemente bei der Fahrt in hängigem Gelände erscheint wünschenswert. Die Messung der Lageabweichung bei dem Vorgang kann durch ein Pendel erfolgen, welches zur Unterdrückung hochfrequenter Schwingungen gedämpft ist [6; 14; 18; 21; 22]. Der Ausschlag des Pendels ist ein Maß für die Neigung der Maschine und kann elektrisch oder mechanisch als Eingangswert für den Regler benutzt werden.

**Bild 4** zeigt einige mechanische Fühler mit Meßwertumformung und elektrischer Übertragung. Da die elektrische Signalübertragung aus den erwähnten Gründen am günstigsten ist und heute weit verbreitet ist, wird hier nur auf diese eingegangen. Die erste Skizze A zeigt das Prinzip eines Fühlers zur Nachführung von Arbeitswerkzeugen an Pflanzenreihen, die gegen Seitenkräfte genügend widerstandsfähig sind, wie Maispflanzen und ausgewachsene Rüben. Die Drehbewegung des Fühlers, die der Abweichung des Werkzeuges vom vorgegebenen Weg proportional ist, wird in ein elektrisches Signal umgesetzt, welches dem Regler zugeführt wird [1; 17]. In ent-

sprechender konstruktiver Abwandlung kann der Fühler doppelarmig zur Nachführung an gemähten Schwaden und einarmig zur Nachführung an Pflugfurchen oder stehenden Getreide- und Graskanten verwendet werden. Die Abtastung der Pflanzenreihen bei der Nachführung ergibt ein stetiges Signal. Eine unstetige Abtastung von Einzelpflanzen zeigt die zweite Skizze B. Dieser Fühler dient bei Obst- und Weinbaukulturen zur Bearbeitung zwischen den Pflanzen in der Reihe [7] sowie zur Einsparung des Hackvorganges in Querrichtung bei Pflanzenbeständen, die im Quadratverband angeordnet sind, wie Baumwoll- und Gemüsegelder [2]. Der Taster wird durch die Pflanze ausgelenkt und gibt durch Schaltkontakt den Ausweichbefehl für das nachfolgende Werkzeug. Bei Untersuchungen an Baumwollpflanzen wurde festgestellt, daß der Taster, der für eine Ansprechbelastung von 10 bis 15 p ausgelegt war, bei einer Pflanzenhöhe von 10 cm einwandfrei anspricht.

Die dritte Skizze C zeigt einen mechanischen Fühler, der die Festigkeit und Größe von Salat- oder Kohlköpfen als Maß für den Reifezustand bei der Ernte mißt [5]. Die Festigkeit wird hier definiert als Kraftzuwachs  $\Delta P$  pro Höhenänderung  $\Delta H$  des Salatkopfes bei senkrechter Kraftaufbringung. Zunächst werden nur die Deckblätter zusammengedrückt, wobei ein geringer Kraftzuwachs bei großer Höhenänderung auftritt. Berührt der Fühler den festen Kopf, dann ist der Kraftanstieg im Verhältnis zur Höhenänderung groß. Zur Überwindung des Widerstandes der Deckblätter bis zur Kopfberührung müssen bei Salat etwa 1,8 bis 3,5 kp aufgewendet werden. Bei einem gutgeformten Salatkopf kann die Kopfhöhe als Maß für die Größe angesehen werden, d. h., Größe und Festigkeit können mit demselben Fühler abgetastet werden. Der Fühler besteht aus einem Band, welches über drei Walzen läuft und einen Bodenantrieb hat, damit keine Relativgeschwindigkeit gegenüber den Salatköpfen auftritt. Band und Walzen sind an einem Parallelogrammrahmen schwingend aufgehängt und werden durch ein Federsystem festgehalten. Die Kopfhöhe  $H$  wird durch das über die Salatköpfe laufende Band angezeigt. Durch eine Halterung wird eine minimale Höhe eingehalten, wodurch zu kleine Salatköpfe ohne Berührung frei passieren können. Durch das Gewicht des Rahmens und die einstellbare Feder wird die Kraft für die Festigkeitsmessung aufgebracht. Als Höhendifferenz  $\Delta H$  wird die Durchbiegung des Bandes zwischen zwei Walzen elektrisch abgetastet.



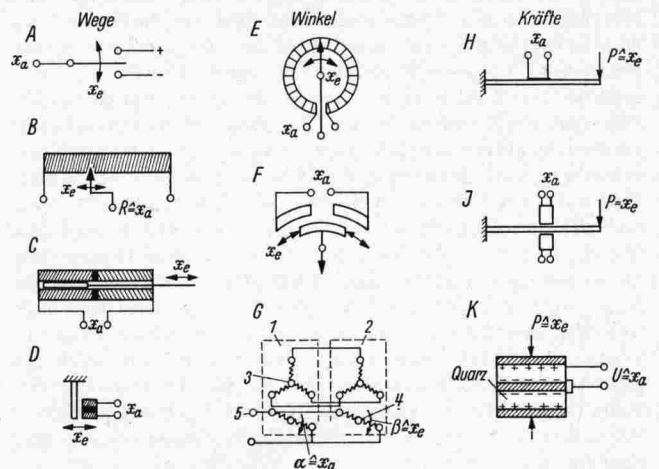
**Bild 4.** Mechanische Fühler mit elektrischer Signalübertragung.

- A Nachführung an Pflanzenreihen
- B Abtasten von Einzelpflanzen
- C Abtasten von Salatköpfen
- D Lagestabilisierung

Eine weitere Möglichkeit für die Lageregelung an Funktionselementen in Erntemaschinen zeigt die vierte Skizze D. Die Neigung wird mit Hilfe eines gebogenen Glasröhrchens gemessen, in welches an beiden geschlossenen Enden elektrische Kontakte eingegossen sind [26]. Diese Kontakte werden bei Überschreiten einer bestimmten Neigung durch einen Quecksilbertropfen geschlossen, wodurch eine unstetige Information für die Lageregelung erzeugt wird.

Für die Umformung von mechanischen Eingangsgrößen, wie Wege, Winkel und Kräfte, in elektrische Ausgangsgrößen gibt es eine Reihe von elektrischen Meßwertgebern, von denen die

wichtigsten, die für die Automatisierungsaufgaben der Landtechnik in Frage kommen, in **Bild 5** dargestellt sind. Der einfachste elektrische Meßwertgeber ist der oft verwendete Mikroschalter A, der den Endwert einer bestimmten Wegstrecke durch einen Schaltvorgang anzeigt. Ist der Weg eines Fühlers an beiden Endpunkten durch einen Schalter begrenzt, dann spricht man von einer Zwei- bzw. Dreipunktregelung. Ein Schalter gibt auch bei stetigem Eingangssignal  $x_e$  ein unstetiges Ausgangssignal  $x_a$ .



**Bild 5.** Elektrische Meßwertgeber für mechanische Eingangsgrößen

Wege	Winkel	Kräfte
A Schalter	E Drehwiderstandsgeber	H Dehnungsmeßstreifen
B Widerstandsgeber	F kapazitiver Winkelgeber	I induktiver Geber
C induktiver Geber	G Drehfeldgeber	K piezoelektrischer Geber
D tastloser induktiver Geber	1 Sender 2 Empfänger	
	3 Stator 4 Rotor 5 Erregung	

Wird für einen stetig gemessenen Weg auch eine stetige Ausgangsgröße gefordert, so können hierfür Widerstands- oder induktive Meßgeber verwendet werden. Beim Widerstandsgeber B greift ein Schleifer, der auf einer Spule entlanggleitet, vom Anfang der Spule einen dem Schleiferweg proportionalen Widerstand ab. Dieser Geber arbeitet nicht berührungsfrei und ist daher reibungsbehaftet. Je nach Ausführung nahezu reibungsfrei arbeiten die induktiven Weggeber C, bei denen ein freibeweglicher Tauchanker innerhalb eines Spulensystems in axialer Richtung bewegt wird. Zwei Spulen, die gegenläufig gewickelt jeweils die Hälfte des Gebergehäuses einnehmen, bilden mit weiteren Spulen im Verstärker eine elektrische Brücke. Die Bewegung des Tauchankers bewirkt eine Brückenverstimmung, die in einem linearen Verhältnis zur Bewegung steht. Diese Weggeber gibt es heute für Wegmessungen von 0,01 bis 1500 mm Länge.

Völlig berührungsfrei arbeiten die tastlosen induktiven Weggeber D, die aber nur für sehr kleine Wege bis maximal 1 mm zu verwenden sind. Durch die Luftspaltänderung zwischen einem ferromagnetischen Körper und dem Geber, der aus einer Drossel- spule mit Eisenkern besteht, ändert sich der induktive Widerstand der Spule.

Für die Winkelanzeige am häufigsten verwendet werden Drehwiderstandsgeber oder Potentiometer E, die aus einer ringförmig angeordneten Spule mit einem schleifenden Abgreifer bestehen. Die kleinste meßbare Winkeländerung — wie auch die kleinste Wegänderung bei den Widerstandsweggebern — wird durch die Stufigkeit bestimmt, die durch den Abgriff von Windung zu Windung der Spule entsteht. Das bedeutet, daß die Winkel- und Wegmessung nicht kontinuierlich, sondern in kleinen Stufen erfolgt. Es sind Widerstandsgeber für Winkel und Wege entwickelt worden, die keine Stufigkeit, sondern ein nahezu unendliches Auflösungsvermögen mit stufenlosem Spannungsausgang besitzen. Diese Geber haben als Widerstandselement einen feinkörnigen Carbon-Film, der elektro-chemisch auf einen Isolierkörper aufgebracht wird. Dadurch können Schleifbewegungen, die kleiner als  $1 \mu\text{m}$  sind, noch elektrisch festgestellt werden.

Ein in den letzten Jahren entwickelter Meßumformer F für Winkelbewegungen arbeitet völlig kontaktlos und rückwirkungs-



frei [9]. Die Drehbewegung wird dabei kontaktlos und kräftefrei mit Hilfe eines Differentialdrehkondensators kapazitiv in einen eingepprägten Gleichstrom umgeformt, der der Drehbewegung direkt proportional ist. Mit diesem Geber können Winkelbereiche bis  $270^\circ$  abgetastet werden. Durch angeschlossene Zusatzgetriebe läßt sich der Meßbereich auf mehrere Umdrehungen erweitern.

Eine weitere Möglichkeit der Übertragung von Winkeln und kleinen Drehmomenten bieten die sogenannten Drehfeldgeber G [16; 23]. Wie ein Elektromotor bestehen sie aus Rotor und Stator. Gewöhnlich hat der Stator eine dreiphasige und der Rotor eine einphasige Wicklung. Zu einer Meßwertübertragung gehören zwei Drehfeldgeber als Sender und Empfänger. Die Statorwicklungen von Geber und Empfänger werden zusammengeschaltet, und den einphasigen Rotorwicklungen wird eine nach Spannung und Phase gleiche Wechselspannung zugeführt. Wirkt auf den Rotor des Senders ein Drehmoment und erfolgt dadurch eine Winkeländerung, dann folgt der Rotor des Empfängers unmittelbar jeder Bewegung des Sender-Rotors. Mit diesen Drehfeldgebern hat man also die Möglichkeit, mechanische Bewegungen in elektrische Spannungen umzuformen, diese über weite Entfernungen zu übertragen und unmittelbar wieder in mechanische Bewegungen umzuwandeln. Dies wird auch als „Elektrische Welle“ bezeichnet. Reicht das Drehmoment des Empfängers nicht aus, dann kann man mit phasenempfindlichen Verstärkern ein der Abweichung beider Systeme proportionales elektrisches Signal gewinnen.

Für die Umformung von Kräften in elektrische Größen können elastische Glieder dienen, deren elastische Verformung ein Maß für die zu messende Kraft ist. Die elastische Verformung wird üblicherweise als Dehnung mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen H gemessen. Die durch die elastische Verformung auftretende kraftproportionale Wegänderung kann außerdem mit den schon erwähnten tastlosen induktiven Weggebern I gemessen werden.

Das induktive und kapazitive Meßprinzip sowie Dehnungsmeßstreifen werden auch in gekapselten Druck- und Kraftmeßdosen verwendet. Außerdem werden zur Kraftmessung piezoelektrische Meßumformer K in Kraftmeßdosen eingebaut [13]. Wird ein piezoelektrischer Kristall, z. B. Quarz, in Richtung einer bestimmten Achse mechanisch belastet, dann treten an den Schnittflächen, die senkrecht zur Belastungsachse liegen, elektrische Ladungen auf, die der Belastung proportional sind.

### 3. Elektrische Meßwerterfassung

Bei der elektrischen Meßwerterfassung wird der Wert der zu messenden Regelgröße direkt als elektrische Größe vom Fühler aufgenommen und dem Regler zugeführt. In Bild 6 sind einige Beispiele von elektrischen Fühlern dargestellt. Zuerst ist das Prinzip der Leitfähigkeitsmessung zu nennen, welches für die Nachführung an Pflanzenreihen und zur Erfassung von Einzelpflanzen bei der Vereinzlung von Rüben schon Eingang in die

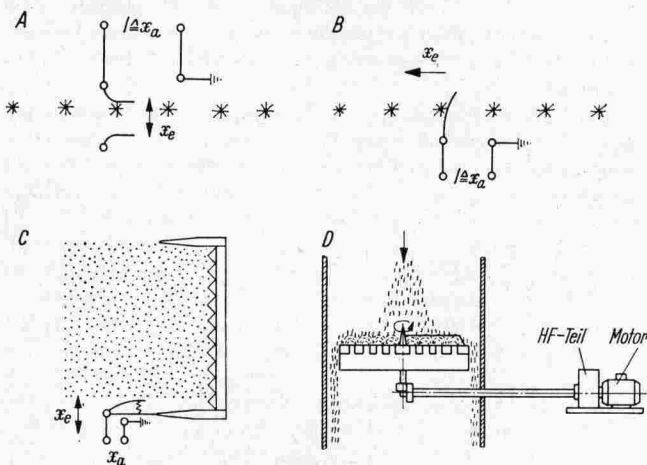


Bild 6. Elektrische Meßwerterfassung.

- A Nachführung an Pflanzenreihen
- B Abtasten von Einzelpflanzen
- C Nachführung von Mähwerken an der Schnittkante
- D Feuchtemessung an Schüttgütern

Praxis gefunden hat. Die Nachführungseinrichtung A besteht aus zwei leitenden Tastern, zwischen denen sich die Pflanzenreihe befindet [20]. Weicht das Arbeitsgerät von der Fahrtrichtung ab, berührt einer der Taster die Pflanzen. Über einen weiteren Taster, der als Erdleiter am Boden schleift, wird ein Stromkreis geschlossen, wodurch ein Signal für den Regler erzeugt wird. Der Widerstand zwischen Erde, Pflanze, und Taster hängt von mehreren Faktoren, wie Feuchtigkeit des Bodens und der Pflanze sowie von der Art der Berührung zwischen Taster und Pflanze ab. Er beträgt etwa 15 bis 20 Megaohm. Außerdem ist durch die geringen Ströme eine hohe Verstärkung erforderlich. Der Taster zur Erfassung von Einzelpflanzen (B) arbeitet nach dem gleichen Prinzip. Bei Berührung einer Pflanze wird ein Stromkreis geschlossen, wodurch eine Regelvorrichtung die Hackwerkzeuge auslenkt und die Pflanze stehen bleibt.

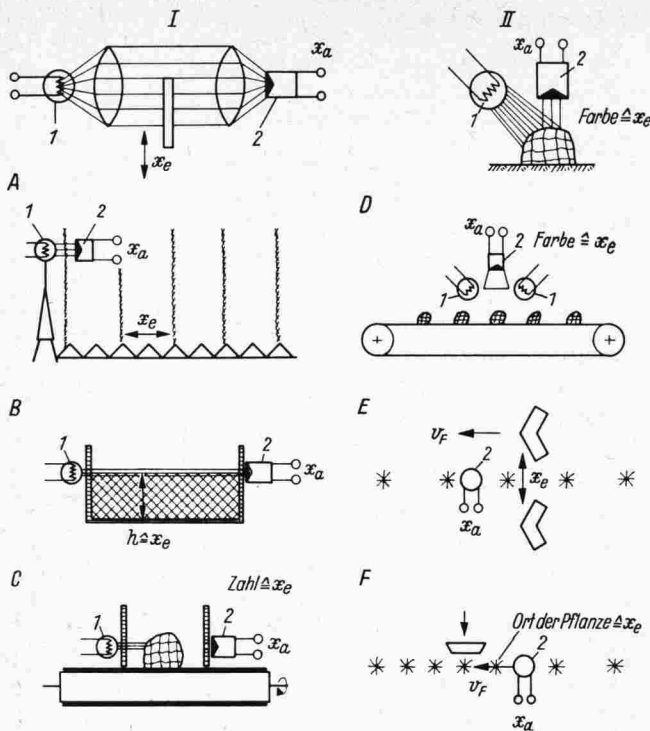
Auch die Nachführung von Mähwerken mit elektrischen Fühlern an stehenden Grünstückanten ist möglich (C). Bei reifem Getreide werden mechanische Fühler mit elektrischen Schaltern für die Nachführung von Mähwerken eingesetzt [11].

Bei der Automatisierung von Aufbereitungsvorgängen, insbesondere bei Trocknungsprozessen, spielen elektrische Fühler für Temperatur und Feuchtigkeit eine wichtige Rolle [8]. Als Temperaturfühler mit kurzer Ansprechzeit dienen Widerstandsthermometer mit Halbleiterwiderständen sowie Thermoelemente. Zur elektrischen Feuchtigkeitsbestimmung von Schüttgütern wird u. a. die kapazitive Meßmethode verwendet (D). Mit der Feuchtigkeit des Meßgutes ändert sich dessen Dielektrizitätskonstante. Bild 5 zeigt ein Beispiel einer solchen kontinuierlichen Feuchtemeßeinrichtung. In eine runde Platte sind konzentrische Kondensatorringe eingelassen, durch die oberhalb der Platte ein etwa 50 mm starkes elektrisches Feld erzeugt wird. Ein rotierender Abstreifer sorgt für dauernden Gutaustausch auf der Kondensatorplatte. Der Feuchtigkeitsfühler kann in den kontinuierlichen Schüttgutstrom in vertikalen Materialschächten oder zwischen zwei Förderbändern eingebaut werden. Dabei ist nur darauf zu achten, daß die Kondensatorplatte, die in dem Materialstrom liegt, immer mit einer 50 bis 60 mm hohen Gutschicht bedeckt ist. Der Antriebsmotor für den Abstreifer sowie der Hochfrequenzteil zur Erzeugung des elektrischen Feldes liegen außerhalb des Schüttgutstromes.

### 4. Optische Fühler

Unter optischen Fühlern soll in diesem Zusammenhang die kombinierte Verwendung von Lichtquelle und photoelektrischen Aufnehmern verstanden werden. Lichtstrahlen in irgendeiner Form sind dabei die Fühler, und photoelektrische Geber wie Photoelemente und Photozellen, die Lichtschwankungen in Stromschwankungen umwandeln, sind Meßwertaufnehmer und -umformer. Man kann zwei Anwendungsarten unterscheiden, Bild 7. Einmal sind die von der Lichtquelle ausgesendeten Lichtstrahlen direkt auf ein Photoelement gerichtet, wobei unterschiedliche Meßwerte durch Lichtstrahlunterbrechung oder -trübung auftreten. Dies entspricht dem Prinzip der Lichtschranke, welches unter I dargestellt ist. Zum anderen sind Lichtquelle und Meßwertaufnehmer so angeordnet, daß die Intensität von reflektiertem Licht gemessen wird, wie es unter II gezeigt ist. Auf diese Weise können auch Farbunterschiede an Körpern festgestellt werden. Alle beschriebenen optischen Fühler haben den großen Vorteil der berührungslosen Meßwerterfassung. Die Lichtquelle muß sich nicht direkt beim Meßobjekt befinden. Das Licht kann auch mit Hilfe von sogenannten Lichtleitfasern umgelenkt und ohne wesentliche Verluste über mehrere Meter zum Meßobjekt geleitet werden.

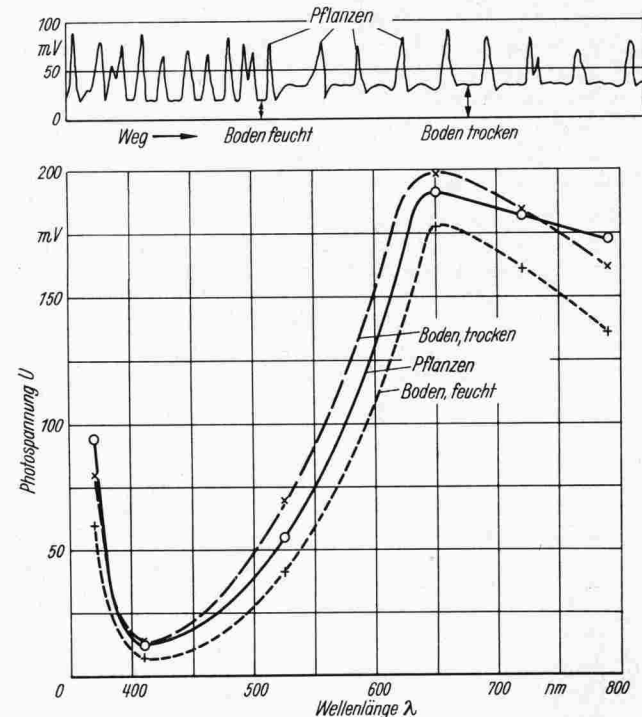
Möglichkeiten zur Anwendung des Meßprinzips der Lichtschranke bieten sich bei der Führung von Mähwerken an der Mähkante (A), bei der Schichtdicken- oder Füllstandsmessung in Förderrinnen und Behältern (B) sowie bei allen Zählaufgaben (C). Mit der photoelektrischen Messung von reflektiertem Licht lassen sich verschiedene Sortiervorgänge durchführen (D). Bekannt sind die Trennung von reifem und unreifem Obst [15], reifen und unreifen Tomaten [19] sowie die Sortierung von Kaffeebohnen. Dieses Verfahren läßt sich unter bestimmten Bedingungen ausweiten auf die Trennung von Kartoffeln und



**Bild 7.** Photoelektrische Meßwerterfassung.

- |   |   |
|---|---|
| I Aufnahme von direktem Licht                   | II Aufnahme von reflektiertem Licht                             |
| A Nachführung von Mähwerken an der Schnittkante | D Farbsortierung  |
| B Schichtdickenmessung                          | E Nachführung von Hackwerkzeugen                                |
| C Zählaufgaben                                  | F Ortung von Einzelpflanzen zum Vereinzeln in der Pflanzenreihe |
- 1 Lichtquelle; 2 Photozelle

Steinen, wenn diese einzeln unter einem Fühlersystem Beleuchtung/Photoelement hindurchgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit zur Anwendung dieser berührungslosen Meßmethode mit Photoelementen bietet die Nachführung von Werkzeugen an Pflanzenreihen (E) sowie die Ortung von Einzelpflanzen für den Vereinzlungsvorgang und die Bearbeitung zwischen den Pflanzen in der Reihe (F). In zahlreichen Versuchsreihen wurde festgestellt, daß sich Rübenpflanzen und Erdboden bei bestimm-



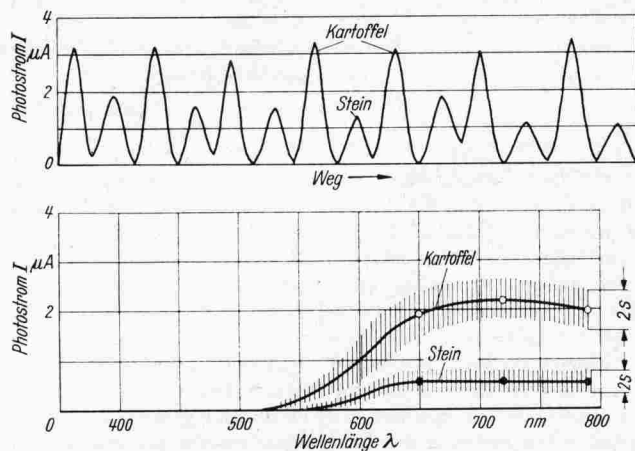
**Bild 8.** Meßschrieb und Versuchsergebnisse der photoelektrischen Abtastung von Rübenpflanzen.

Das Diagramm zeigt die bei Beleuchtung von Rübenpflanzen und Boden gemessene Photospannung in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes.

ter Anordnung von Photoelement, Farbfilter und Beleuchtung meßtechnisch einwandfrei voneinander unterscheiden lassen.

**Bild 8** zeigt oben einen Meßschrieb, der die photoelektrische Abtastung einer Rübenreihe bei einer Fahrgeschwindigkeit von 0,5 m/s darstellt. Die Rübenpflanzen hatten dabei im Durchschnitt 4 Blätter und eine Wachstumshöhe von 50 bis 60 mm. Im ersten Teil war der Boden feucht und der Pflanzenabstand betrug 90 mm. Im zweiten Teil war der Boden völlig trocken und der Pflanzenabstand betrug etwa 180 mm. Das Beleuchtungssystem besteht aus zwei Glühfadenlampen mit einer Leistung von je 60 Watt. Das vom Boden und den Pflanzen reflektierte Licht wird durch ein Dunkelrotfilter mit einem Photoelement aufgenommen. 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 die gemessenen Photospannungen des reflektierten Lichtes von Boden und Pflanzen so legen, daß bei Überschreitung derselben ein Regelvorgang hinsichtlich Nachführung oder Vereinzlung eingeleitet wird.

Das Diagramm zeigt das Ergebnis von umfangreichen Standversuchen zur Ermittlung der Bedingungen für die photoelektrische Unterscheidung von Pflanzen und Boden. Dargestellt ist die durch Beleuchtung und Reflexion an Boden und Rübenpflanzen im Photoelement erzeugte Photospannung in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes. Mit Hilfe von Farbfiltern vor dem Photoelement wurde dabei aus dem Spektrum des reflektierten Lichtes Licht begrenzter Wellenlänge herausgefiltert. Die ausgezogene Linie in dem Diagramm gibt die Spannungswerte für die Pflanzen und die gestrichelten Linien diejenigen für feuchten und trockenen Boden an. Bei Wellenlängen des reflektierten Lichtes zwischen 390 und 740 nm sind die mittleren Photospannungen der Rübenpflanze kleiner als diejenigen des trockenen Bodens, d. h., Pflanzen und Boden lassen sich hier mit dem optischen Fühlersystem nicht eindeutig voneinander unterscheiden. Erst wenn das Licht mit Wellenlängen kleiner als 750 nm mit einem Ultrarotfilter aus dem reflektierten Strahl herausgefiltert wird, übersteigen die mittleren Photospannungen der Pflanzen auch die Spannungen des trockenen Bodens. Da sich in diesem Bereich auch die Streuwerte von Pflanzen und Boden nicht überschneiden, lassen sich Pflanzen von trockenem und feuchtem Boden eindeutig unterscheiden. Ausführliche Ergebnisse über die photoelektrische Abtastung von Pflanzen werden demnächst veröffentlicht.



**Bild 9.** Meßschrieb und Versuchsergebnisse zur photoelektrischen Erfassung von Kartoffeln und Steinen.

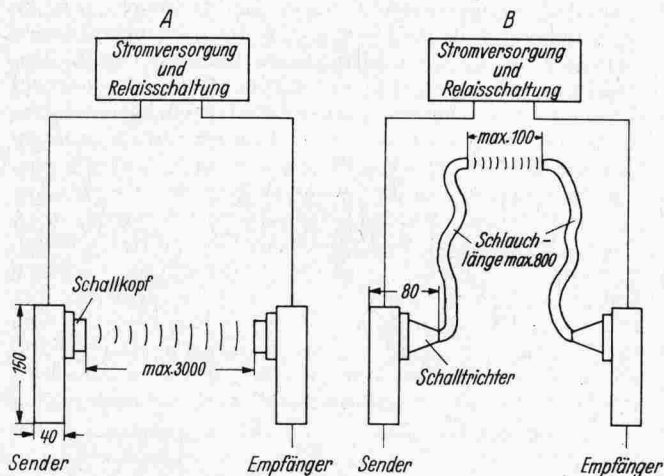
Das Diagramm zeigt die bei Beleuchtung von Kartoffeln und Steinen gemessenen Photostrome I in Abhängigkeit von der Wellenlänge  $\lambda$  des Lichtes.

**Bild 9** zeigt Ergebnisse von Messungen, die mit einem optischen Fühlersystem zur Trennung von Steinen und Kartoffeln durchgeführt worden sind [24]. Bei diesen Versuchen wurde der Photostrom gemessen, der durch das von Kartoffeln und Steinen reflektierte Licht in einem Photoelement erzeugt wurde. Über dem Diagramm ist ein Meßschrieb dargestellt, der die unterschiedlichen Photostrome bei Kartoffeln und Steinen deutlich zeigt. Das Diagramm zeigt die Abhängigkeit zwischen dem Photo-

strom und der Wellenlänge des auf das Photoelement auftreffenden reflektierten Lichtes. Die obere Kurve entspricht den Meßwerten von Kartoffeln, die untere den Meßwerten von Steinen. Der Streubereich  $\pm s$  vom Mittelwert ist gestrichelt eingezeichnet. Für den dargestellten Versuch wurden Kartoffeln und Steine verwendet, wie sie beim Roden auf Sandboden anfielen. Der größte Unterschied zwischen den Photoströmen liegt auch hier in dem roten Spektralbereich bei Wellenlängen zwischen 700 und 800 nm. In diesem Bereich lassen sich Kartoffeln und Steine aus Sandböden mit einem optischen Fühlersystem voneinander trennen. Bei lehmigen und humosen Böden können sich die Streubereiche etwas überschneiden. Die dabei an Kartoffeln gemessenen Werte, die in die Streubereichsüberschneidung fallen, treten zum großen Teil an grünen und fleckigen Kartoffeln minderer Qualität auf. Mit Hilfe eines optischen Meßsystems ist also gleichzeitig eine Qualitätssortierung von Kartoffeln denkbar.

## 5. Ultraschallmeßwertgeber

Eine weitere Möglichkeit zur berührungslosen Meßwert- erfassung bietet die Ultraschalltechnik. Für verschiedene Meß- aufgaben wurde der in Bild 10 gezeigte Ultraschallmeßwertgeber entwickelt, der aus Sender, Empfänger und Stromversorgung besteht [4]. Im Ultraschallsender werden nach dem piezo- elektrischen Verfahren Schallwellen erzeugt, die aus dem Schall- kopf austreten und den Schallkopf des Empfängers in Resonanz- schwingungen versetzen. Die mechanische Schallenergie wird durch den piezoelektrischen Schwinger im Empfänger in elek- trische Spannung umgesetzt. Bei Unterbrechung der Schallwellen



**Bild 10.** Ultraschallmeßwertgeber.

A ohne Schalltrichter  
B mit Schalltrichter und Plastik-  
schläuchen zur Schallumlenkung.

bricht die Spannung zusammen, wodurch ein Relais geschaltet werden kann. Der maximale Abstand zwischen Sender und Empfänger beträgt 3 m. Eine sehr scharfe Bündelung der Schallwellen wird erreicht, wenn Schalltrichter auf die Schallköpfe aufgesetzt werden. An diesen Schalltrichtern wiederum lassen sich Plastikschläuche anbringen, mit denen die Schallwellen beliebig umgeleitet werden können. Sender und Empfänger brauchen sich in diesem Fall nicht mehr genau gegenüberzustehen. Bei Umlenkung des Schalles beträgt die maximale Schlauchlänge 800 mm und die freie Weglänge der fokussierten Schallwellen zwischen den Schlauchenden 100 mm. Es besteht auch die Möglichkeit, mehrere Schallschranken nebeneinander zu montieren. Um eine gegenseitige Beeinflussung zu verhindern, müssen die Geräte mit einer unterschiedlichen Frequenz arbeiten. Die Arbeitsfrequenz liegt normalerweise bei etwa 40 kHz und der notwendige Frequenzabstand beträgt 1 kHz.

Anwendungsmöglichkeiten in der Landtechnik bieten sich beispielsweise bei der berührungslosen Erfassung von Einzelpflanzen und bei allen Aufgaben, die auch mit Lichtschranken gelöst werden können. Der Vorteil besteht darin, daß diese Ultraschallgeräte hinsichtlich Erschütterungen und vor allem hinsichtlich Verschmutzung gegenüber Lichtschranken sehr viel unempfindlicher sind.

## 6. Zusammenfassung

Die Entwicklung geeigneter Fühlersysteme hat bei der Bearbeitung von Automatisierungsaufgaben der Landtechnik große Bedeutung. Für die Signalübertragung vom Fühler zum Regler wie auch für die Verarbeitung im Regler sind elektrische Signale aus verschiedenen Gründen besonders günstig. Mit elektrischen Signalen lassen sich beispielsweise verschiedene Größen einfach zur Überwachung auf dem Führungsstand anzeigen.

Die verschiedenen einsetzbaren Fühler lassen sich nach ihrer physikalischen Wirkungsweise unterteilen. Bei den mechanisch wirkenden Fühlern kann man unterscheiden zwischen mechanischen Fühlern, bei denen auch die Signalübertragung der Regelgröße mit Hilfe mechanischer Glieder erfolgt (z. B. Tiefenmessung beim Pflügen durch Tastrad und Übertragung durch Bowdenzug), und mechanische Fühler, bei denen die Regelgröße am Fühler in ein anderes Signal umgeformt wird (z. B. Abtasten von Pflanzenreihen und Umformung von Wegen oder Winkeln in elektrische Werte). Für die Umformung von mechanischen Eingangsgrößen, wie Wege, Winkel und Kräfte, in elektrische Ausgangsgrößen gibt es eine Reihe von elektrischen Meßwertumformern, von denen einige, wie z. B. Carbon-Potentiometer mit nahezu unendlichem Auflösungsvermögen und ein kapazitiv wirkender Drehwinkelgeber, in den letzten Jahren neu entwickelt worden sind.

Bei der elektrischen Meßwertfassung wird der Wert der zu messenden Regelgröße direkt als elektrische Größe vom Fühler aufgenommen und dem Regler zugeführt. Bekannt ist hier die Nachführung von Arbeitsgeräten an Pflanzenreihen nach dem Prinzip der Leitfähigkeitsmessung. Für die kontinuierliche Feuchtigkeitsmessung bei Aufbereitungsprozessen werden u. a. kapazitive Meßsysteme verwendet.

Optische Fühlersysteme bestehen aus Lichtquelle und photoelektrischen Aufnehmern. Man unterscheidet zwischen der Messung von direktem Lichteinfall (Prinzip der Lichtschranke) und der Messung von reflektiertem Licht. Das Meßprinzip der Lichtschranke wird angewendet bei Zählaufgaben, Schichtdicken- und Füllstandsmessungen. Mit der photoelektrischen Messung von reflektiertem Licht läßt sich eine Sortierung nach der Farbe, z. B. von Obst und Tomaten, durchführen. Versuche haben ergeben, daß mit diesem Meßprinzip auch eine Trennung von Kartoffeln und Steinen sowie eine Unterscheidung von Pflanzen und Boden zum Zweck der Nachführung von Werkzeugen und zur Vereinzelung bei einer bestimmten Anordnung von Photoelement, Farbfilter und Beleuchtung möglich ist. Bei der Abtastung von Rübenreihen ist eine einwandfreie Unterscheidung der Pflanzen vom Boden nur möglich, wenn aus dem reflektierten Licht vor dem Photoelement alles Licht mit einer Wellenlänge  $\lambda < 750$  nm durch Farbfilter herausgefiltert wird. Ähnliches gilt für die Trennung von Kartoffeln und Steinen.

Ein weiterer berührungslos arbeitender Fühler beruht auf dem Prinzip der Ultraschalltechnik. Zwischen einem Sender und einem Empfänger werden im freien Luftraum Ultraschallwellen erzeugt. Durch Unterbrechung des stark gebündelten Schallstrahles läßt sich ein Relais schalten. Der Vorteil gegenüber optischen Fühlern besteht in der Unempfindlichkeit gegen Verschmutzung und Erschütterung.

## Schrifttum

- [1] Batel, W., u. R. Thiel: Über die selbsttätige Regelung an Landmaschinen. Grundl. Landtechn. Heft 14 (1962) S. 5/13.
- [2] Besednov, M. V., u. A. V. Galkin: Elektrogidravličeskij privod aktivnych rabočich organov propašnych kul'tivatorov (Elektrohydraulische Regelung der Arbeitsorgane von Hackmaschinen). Chlopkovodstvo 11 (1961) H. 5, S. 37/41, russ.
- [3] Eimer, M.: Stand der Regelungstechnik beim Mähdescher. Grundl. Landtechn. 16 (1966) Nr. 2, S. 41/50.
- [4] Endress u. Häuser: Techn. Informationsblatt 7.04.1.2.
- [5] Garrett, R. E., M. Zahara and R. E. Griffin: Selector-component development for a head-lettuce harvester. Transactions ASAE 9 (1966) Nr. 1, S. 56/57.



- [6] *Heitshu, D. C.*: The self-propelled hillside combine. *Agric. Engng* **37** (1956) Nr. 3, S. 182/83, 187.
- [7] *Hübner, R.*: Bodenbearbeitung mit tastergesteuerten Arbeitswerkzeugen in den Pflanzenreihen von Rebanlagen. *Landtechn. Forsch.* **14** (1964) H. 5, S. 129/34.
- [8] *Lützenberger, F.*: Systematik der Trockner für rieselfähiges Gut. *Grundl. Landtechn.* Heft 16 (1963) S. 40/52.
- [9] *Ludin, L.*: Drehbewegungen erzeugen rückwirkungsfrei ein elektrisches Einheitssignal. *meßwerte, Fachzeitschrift der H & B Gruppe* (1966) H. 4, S. 36/38.
- [10] *Ludwig, E. H.*: Analogierechenmaschinen als Regelkreiselemente erschließen neue Möglichkeiten in der Regelungstechnik. *Regelungstechnik — Moderne Theorie und ihre Verwendbarkeit. Berichtswerk über Tagung Regelungstechnik Heidelberg 1956.*
- [11] *Nastenko, N. N., u. L. A. Borošok*: Automation der Produktionsprozesse in der Landwirtschaft. *Moskau Masgiz* 1963.
- [12] *Nastenko, N. N. u. L. A. Borošok*: Avtomatičeskoe vysotnoe regulirovanie položenija rabočich organov s.-ch. mašin (Die automatische Höhenregulierung der Arbeitsorgane landwirtschaftlicher Maschinen). *Traktory i sel'chozmašiny* **33** (1963) Nr. 8, S. 26/30, russ.
- [13] *Pflier, P. M.*: Elektrische Messung mechanischer Größen. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1956.
- [14] *Pool, S. D.*: Controls for full-leveling hillside combine. *Agric. Engng* **37** (1956) Nr. 4, S. 245/48.
- [15] *Powers, J. B., J. T. Gunn and F. C. Jacob*: Electronic color sorting of fruits and vegetables. *Agric. Engng* **34** (1953) Nr. 3, S. 149/54, 158.
- [16] *Reichel, M.*: Wechselstrom-Drehmelder und ihre vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten. *Siemens-Z.* **37** (1963) H. 4, S. 261/63.
- [17] *Richey, C. B.*: "Automatic Pilot" for farm tractors. *Agric. Engng* **40** (1959) Nr. 2, S. 78/79, 93.
- [18] *Šmyglevskij, N.*: Prispodoblenie k kombajnu S-6 dlja raboty na kosogorach (Vorrichtung zum Mährescher S-6 für die Arbeit an steilen Hängen). *Technika v sel'skom chozjajstve* **19** (1959) H. 6, S. 52/54, russ.
- [19] *Stephenson, K. Q.*: Selective fruit separation for mechanical tomato harvester. *Agric. Engng* **45** (1964) Nr. 5, S. 250/53.
- [20] *Tarlavskij, D. N., G. G. Nachamkin u. I. D. Kletkin*: Ustrojstvo dlja avtomatičeskogo napravlenija kul'tivatora vdol'radkov rastenij (Vorrichtung für die automatische Steuerung von Hackgeräten). *Traktory i sel'chozmašiny* **34** (1964) Nr. 3, S. 35/36, russ. Ref. in *Grundl. Landtechn.* **16** (1966) Nr. 2, S. 80.
- [21] *Tesnovskij, Ju. V., u. Ju. A. Nikolaev*: Avtomatičeskaja vyravnivajuščaja sistema kombajna KBK-1,0 (Automatisches Ausgleichssystem am Mährescher KBK-1,0). *Traktory i sel'chozmašiny* **30** (1960) Nr. 9, S. 23/26, russ.
- [22] *Tesnovskij, Ju. V., u. Ju. A. Nikolaev*: Avtomatičeskaja sistema dlja stabilizacii položenija sel'skochozjajstvennych mašin (Automatisches System zur Stabilisierung der Lage von Landmaschinen). *Technika v sel'skom chozjajstve* **20** (1960) Nr. 11, S. 70/74, russ.
- [23] *Vocht, R.*: Drehfeldsysteme und ihre Anwendungsgebiete. *Regelungstechn.* **3** (1955) H. 11, S. 282/88.
- [24] *von Zabellitz, Chr.*: Über die Trennung von Kartoffeln und Steinen durch Lichtreflexion. *Grundl. Landtechn.* **17** (1967) Nr. 2, S. 52/58.
- [25] DIN 19226 Regelungstechnik; Begriffe und Benennungen. Jan. 1954 und Entwurf Mai 1962.
- [26] Automatisierung in der Landwirtschaft. Ber. d. Europ. Wirtschaftskommission, Komitee für Landwirtsch. Probleme. AGRJ/WP. 2/69, 8. August 1962.

DK 621-5

## Aufbau und Wirkungsweise elektro-hydraulischer Regelsysteme

Von **Horst Hesse**, Braunschweig-Völkenrode<sup>1)</sup>

*Bei automatischen Regelungen werden in vielen Bereichen der Technik elektro-hydraulische Regelsysteme seit längerer Zeit mit Erfolg eingesetzt. Diese Systeme haben auch bei der Automatisierung von landwirtschaftlichen Produktionsverfahren Eingang gefunden. Ausgehend vom Blockschaltbild eines elektro-hydraulischen Regelkreises wird auf den Aufbau und die Funktion der Einzelglieder dieses Kreises näher eingegangen. Das Verhalten eines stetigen und eines unstetigen Regelsystems für Nachführungen wird bei sprungförmigen und regellosen Eingangsgrößen experimentell und mit dem Analogrechner untersucht.*

### Inhalt

1. Einleitung
2. Die Elemente des Regelkreises
  - 2.1 Elektrische Verstärker
  - 2.2 Elektrohydraulische Stellglieder
    - 2.21 Unstetige Stellglieder
    - 2.22 Stetige Stellglieder
  - 2.3 Stellmotoren
  - 2.4 Ölversorgung
3. Funktion von Regelkreisen
  - 3.1 Verhalten eines stetigen Regelkreises bei sprungförmigen Eingangsgrößen
  - 3.2 Verhalten eines unstetigen Regelkreises bei sprungförmigen Eingangsgrößen
  - 3.3 Verhalten von Regelsystemen bei regellosen Eingangsgrößen
4. Schlußbetrachtung
5. Schrifttum

<sup>1)</sup> Vortrag auf der VDI-Tagung Landtechnik in Braunschweig am 12. Oktober 1967.

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

### 1. Einleitung

Bei der Automatisierung von Arbeitsprozessen in der Landtechnik bieten elektro-hydraulische Systeme gegenüber mechanisch-hydraulischen eine Reihe von Vorteilen. Zum einen ist die Messung der zu regelnden Prozeßgrößen häufig nur mit elektrischen Fühlern möglich, wobei eine Umwandlung der elektrischen Signale in mechanische Stellgrößen notwendig wird. Für diese Umwandlung sind elektro-hydraulische und hydraulisch-mechanische Wandler wegen ihrer hohen Leistungsdichte, Schnelligkeit und Flexibilität besonders geeignet. Zum anderen bietet die Elektrotechnik aber auch bessere Möglichkeiten der Signalübertragung und -verarbeitung, eine größere Freizügigkeit hinsichtlich des Aufbaues, eine einfache Anpassung von Meß- und Stellgliedern und die Möglichkeit der gleichzeitigen Verarbeitung mehrerer Größen. Außerdem können auf einfachste Weise wichtige Größen auf einem Bedienungspult angezeigt werden.

Die Kombination elektrischer Meß- und Übertragungsglieder mit hydraulischen Stellgliedern und -motoren wurde von Professor *Wünsch* einmal mit „elektrisch der Nerv und hydraulisch die Kraft“ umschrieben. Die sich aus dieser Kombination ergebenden Vorteile haben in allen Bereichen der Technik zu einer zunehmenden Verbreitung elektro-hydraulischer Systeme bei der Vollautomatisierung von Prozessen, aber auch zur Erleichterung der Bedienung komplizierter Maschinen geführt.