

Möglichkeiten und Grenzen der akustischen Meßwertgewinnung an Pflugfurchen zum automatischen Lenken mobiler Aggregate

Dr.-Ing. F. Ahrens

1. Einleitung

Leistungsstarke Zugmittel, wie z. B. die knickgelenkten Allradtraktoren K-700, K-701 und K-710, lassen in der DDR Fahrgeschwindigkeiten für die Bodenbearbeitung bis zu 12 km/h zu. Diese Traktoren können bei der Fahrt neben der Furche automatisch gelenkt werden, so daß die agrotechnischen Forderungen an das Pflügen besser eingehalten werden. Durch die Automatisierung des Lenkvorgangs verbessert sich beim Pflügen das Arbeitsergebnis, und der Einsatz bei ungünstigen Sichtverhältnissen sowie ein mehrschichtiger Betrieb der Aggregate werden begünstigt.

Dazu muß der Traktor mit Hilfe der Automatisierungseinrichtung in einem konstanten seitlichen Abstand zur Furchenkante geführt werden. Eine geeignete Meßeinrichtung ermittelt dabei den tatsächlichen Abstand zwischen Traktorlängsachse und Furchenkante und vergleicht diesen Wert mit der vorher über die Auslegerkonstruktion einzustellenden Führungsgröße.

Die schon frühzeitig untersuchten verschiedenen auslegergestützten mechanischen Abtastverfahren waren bisher nur bis zu Fahrgeschwindigkeiten von 6 km/h befriedigend einsetzbar. Bei den im Bearbeitungszeitraum (1978 bis 1981) bekannt gewordenen optischen, auslegergestützten sowie auslegerlosen Meßverfahren hatte sich gezeigt, daß einfache Meßwandler, wie z. B. Fotowiderstände, mit optischer Feingerätetechnik und aufwendiger elektronischer Schaltungstechnik an die konkreten Meß- und Betriebsbedingungen der landwirtschaftlichen Praxis angepaßt werden müssen. Ungelöst blieben dabei die Probleme, die beim Einsatz unter schlechten Beleuchtungsverhältnissen und bei teilweiser Abschattung (Aggregateigenschaften, Fremdschatten, Objektivverschmutzung) im Aufnahmebereich der Meßfühler entstehen, so daß praxiswirksame Lö-

sungsvarianten nicht bekannt geworden sind.

Deshalb sollten die Möglichkeiten und Grenzen der akustischen Meßwertgewinnung an Pflugfurchen in Anlehnung an bereits bekannte Meßverfahren der Werkstofftechnik, Geodäsie, Medizin und Unterwasserecholotung näher untersucht werden.

2. Meßprinzip

Auf die technisch-physikalischen Probleme bei der akustischen Meßwertgewinnung an Pflugfurchen, besonders auf die aus den landwirtschaftlichen Einsatzbedingungen resultierenden Störgrößeneinflüsse, wurde bereits hingewiesen [1].

Für den Aufbau der Meßeinrichtung wurde ein bekanntes auslegergestütztes akustisches Meßverfahren genutzt, das die Impulselcholotmethode zur Informationsauswertung verwendet und als Fahrkursabweichung ein Mehrpunktssignal bereitstellt [2].

3. Aufbau der Meßeinrichtung

3.1. Meßfühler

Als akustischem Wandler wurde unter Berücksichtigung der Einsatzbedingungen dem piezoelektrischen Membranschwinger Typ 15.78.4-1111.00 (Hersteller VEB Keramische Werke Hermsdorf) gegenüber z. B. pneumatischen Pfeifen oder elektrodynamischen Membranschwingern der Vorzug gegeben. Seine konstruktiven und elektrisch-akustischen Parameter wurden vom Hersteller in bezug auf die Empfindlichkeit des Schallwandlers im Empfangsbetrieb, die Luftschallabsorption, die Schallfeldrichtcharakteristik sowie den Frequenzabstand zu Störschallquellen für einen Betriebsfrequenzbereich von 35 bis 45 kHz optimiert.

Die akustischen sowie elektrischen Eigenschaften dieser Bauelemente wurden für den kontinuierlichen Betrieb als Sender-Empfänger-Paar an Luftultraschallschranken zu Steuerungszwecken aufeinander abge-

stimmt. Für den vom Hersteller nicht vorgesehenen diskontinuierlichen Betrieb (Impulselcholotverfahren) zur Abtastung von Bodenprofilen mit Schallkeulen sind zusätzliche konstruktive und elektrische Maßnahmen erforderlich, um Störeinflüsse, die aus den konkreten Einsatzbedingungen für die Meßeinrichtung resultieren, zu verringern und den Einsatz derartiger Bauelemente in Meßfühlern zu ermöglichen [3].

Als Meßfühler konnte ein an einen ähnlichen landtechnischen Einsatzfall bereits angepaßter elektroakustischer Wandler mit Parabolhorntrichter nachgenutzt werden (Bilder 1 und 2) [4]. Er zeichnet sich gegenüber dem vom Hersteller angebotenen Bauelement durch eine bessere Richtcharakteristik, eine höhere Körperschallunterdrückung sowie durch kürzere elektrische Ausschwingzeiten aus.

Die Befestigung der als Sender-Empfänger konzipierten Meßfühler am Ausleger des Aggregats gestattet, die tote Zone der statischen Dreipunktkennlinie (Meßgenauigkeit) zu verändern, so daß sie als Einstellparameter für den Lenkregelkreis genutzt werden kann.

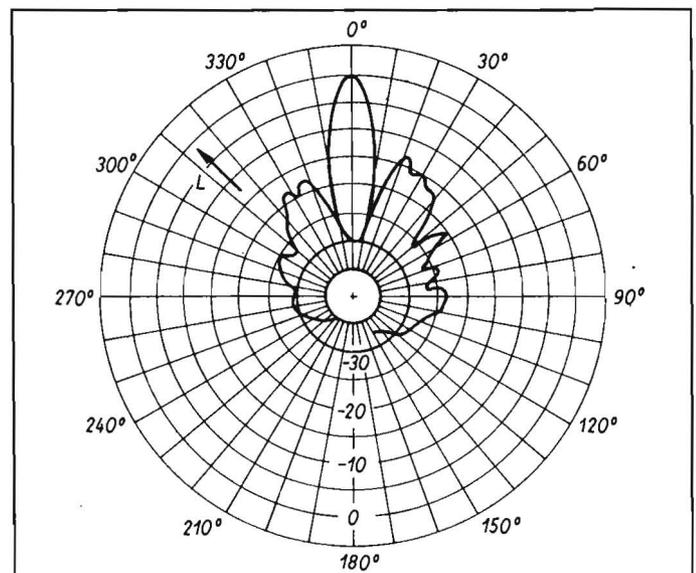
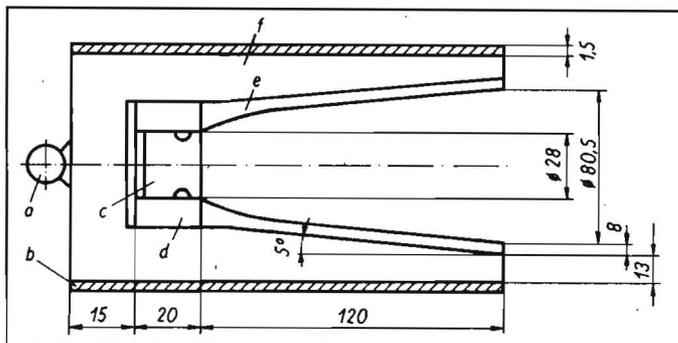
3.2. Informationsgewinnung und -auswertung

Die elektronischen Baugruppen zur Informationsgewinnung und -auswertung wurden bereits vorgestellt (Bild 3) [5].

Die Meßeinrichtung arbeitet zweikanalig im Echtzeitbetrieb mit den Resonanzarbeitsfrequenzen 37 kHz und 45 kHz. Der Sendempfangsbetrieb für die Impulslaufzeitmessung wird entsprechend der Meßhöhe von maximal 1 m über der Furche durch eine Taktfrequenz von 150 Hz realisiert. Ein elektronisches Meßfenster verhindert das akustische Übersprechen in den beiden Meßkanälen und eine Fehlinterpretation von mehrfach reflektierten Echosignalen, die in den Informationsauswertungszeitabschnitt gelangen

Bild 2. Schallfeldrichtcharakteristik eines akustischen Meßfühlers mit piezoelektrischem Membranschwinger und Parabolhorntrichter (Meßabstand 1 m, Sendefrequenz 37 kHz); L Schallpegel in dB

Bild 1. Konstruktive Ausführung eines akustischen Meßfühlers; a Halterung, b Zylindermantel, c piezoelektrischer Membranschwinger Typ 15.78.4-1111.00, d Gummimanschette, e Parabolhorntrichter, f PUR-Schaumisolation



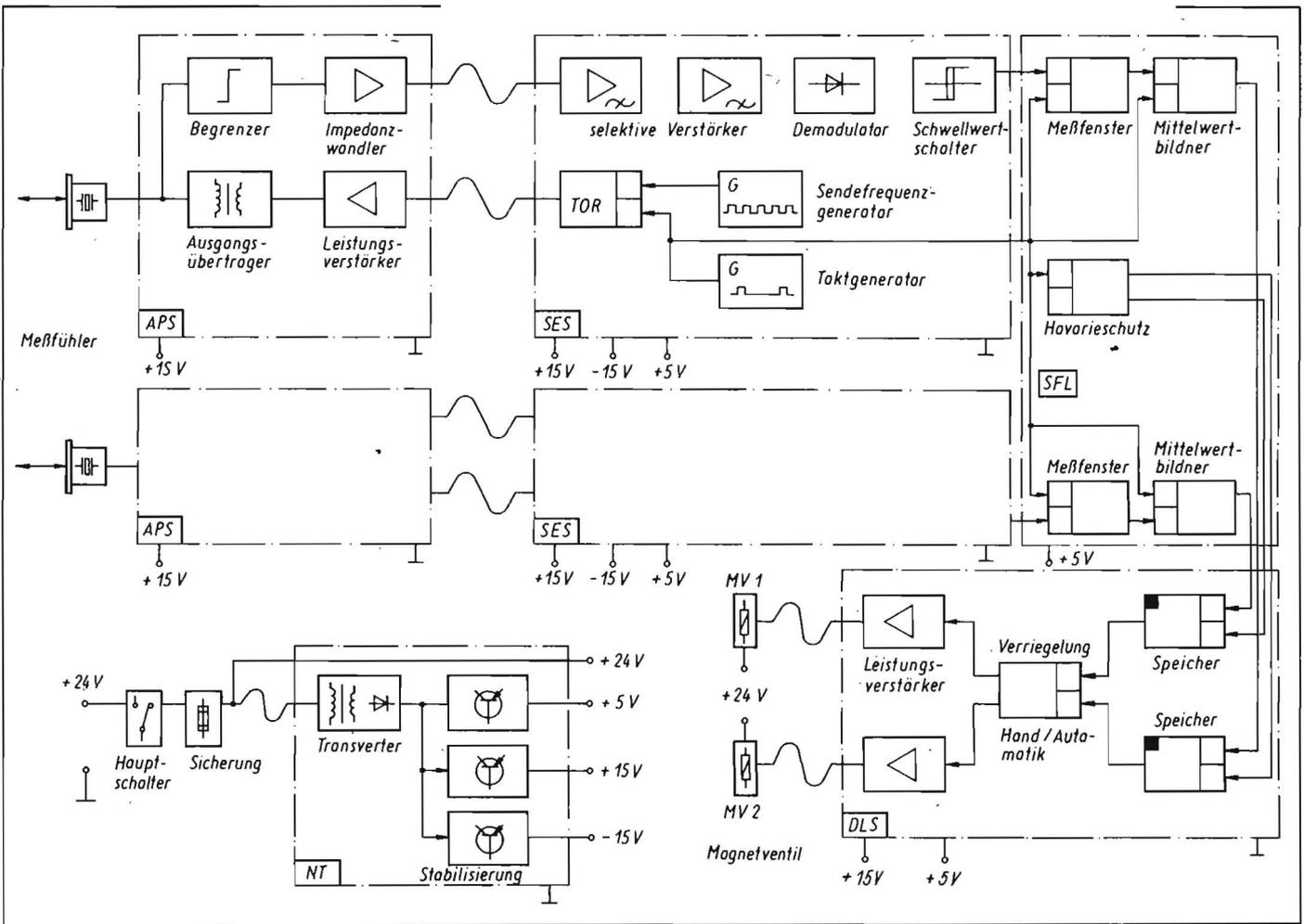
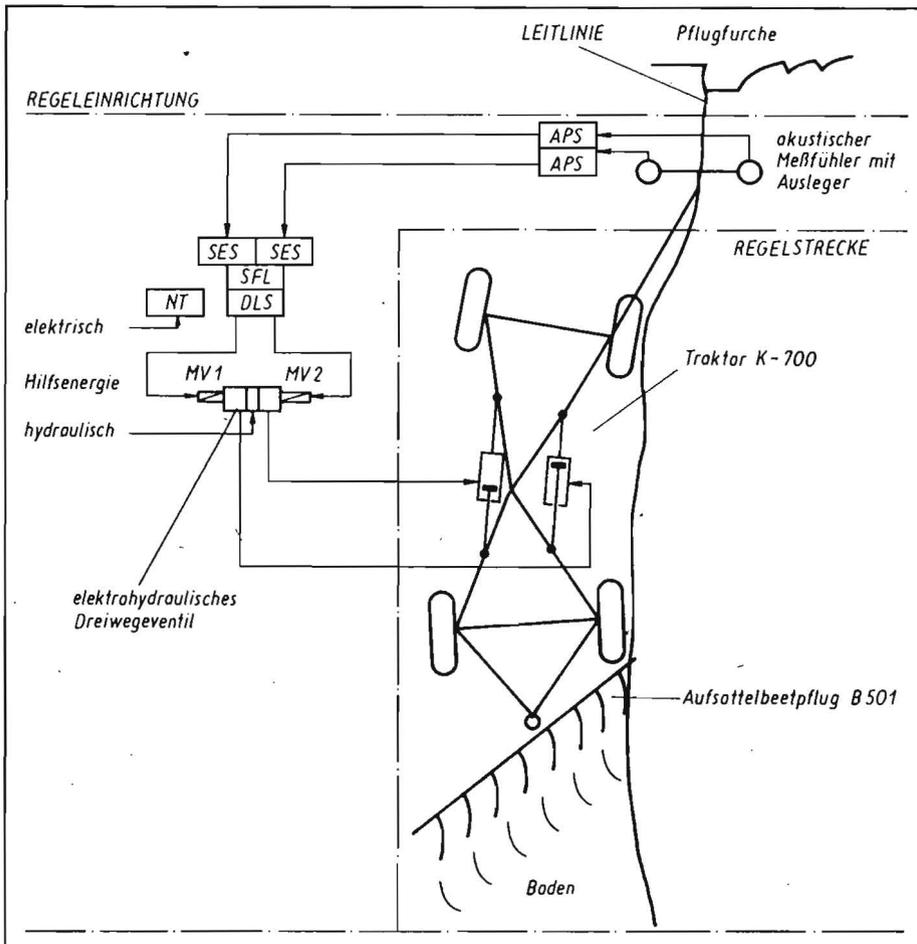


Bild 3. Übersichtsschaltplan der akustischen Meßeinrichtung; APS Anpaßstufe, SES Sende-Empfangsstufe, SFL Spurfehlerlogik, DLS Dreipunktleistungsstufe, NT Netzteil, MV elektromechanisches Magnetventil

Bild 4. Baugruppen zur automatischen Lenkung an Pflugfurchen; Legende s. Bild 3



können. Eine Differenzzeitmessung beseitigt den meßfehlerverursachenden Einfluß der Meßfühlerbewegung infolge der Hub- bzw. Nickbewegung des Traktors und vereinfacht die Voreinstellung der Meßeinrichtung [6].

Eine elektronische Mittelwertbildung und Zeitkompression erhöhen die Meßsicherheit bei stark veränderten akustischen Bodenreflexionseigenschaften sowie bei teilweise undefinierter Furchenkante (Tafel 1).

Die Meßsicherheit kann weiter erhöht werden, wenn die hohe Dynamik der Echoimpulsamplituden beider Meßkanäle, die in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Bodenreflexionseigenschaften und der Windbeeinflussung in Bodennähe entsteht, durch eine Dynamikkompensation stabilisiert wird. Eine entsprechende elektronische Realisierungsmöglichkeit wurde vorgestellt [7].

Der elektronische Havarieschutz gestattet über logische Algorithmen, eine kurzzeitig der Meßeinrichtung verlorengegangene Pflugfurchen als Leitlinie wiederzufinden oder automatisch auf Handbetrieb umzuschalten, wenn diese längere Zeit nicht erfaßt wird bzw. verloren gegangen ist.

Tafel 1. Anpassung der Meßeinrichtung an die Abtastbedingungen über der Pflugfurche

Störungen	Maßnahmen zur Verringerung des Störgrößeneinflusses
Fremderregung der Meßfühler Störschall mechanische Schwingungen Übertragung der Aggregateigenbewegung auf die Meßfühler Rollen	Optimierung der Meßfühlereinführung ¹⁾
Gieren	Begrenzung der Auslegerlänge und -höhe ¹⁾ Havarieschutz, Vergrößerung des Abtastbereiches durch weitere Meßfühler ^{1) 2)}
Hub, Nicken undefinierte Leitlinie teilweise zugeworfene Furche Steine, Bewuchs, Stroh in der Furche	Differenzzeitmessung ²⁾
Ablenkung des Schalls durch Wind unterschiedliche Bodenschallabsorption und -reflexion akustische Kopplung zwischen den Meßühlern	Mittelwertmessung, Havarieschutz ²⁾
	Begrenzung der Auslegerhöhe ¹⁾ Dynamikkompression ²⁾ Dynamikkompression ²⁾
	Optimierung der Meßfühlercharakteristik ¹⁾ Zeitkompression, Mittelwertmessung ²⁾

1) konstruktive Maßnahmen, 2) elektronische Maßnahmen

4. Regelkreis

Die Regelstrecke kann durch die Bewegungsverhältnisse zwischen dem Zugmittel (Traktor K-700) auf nachgiebigem Ackerboden und dem Arbeitsgerät (Aufsattelbeetpflug B 501) beschrieben werden. Als Eingangsgröße können die Lenkwinkeländerung und als Ausgangsgröße die durch das Übertragungsverhalten hervorgerufenen Fahrkursänderungen definiert werden. Die starren geometrischen Verhältnisse zwischen Meßfühler, Ausleger, Traktor K-700 und Aufsattelbeetpflug B 501 gestatten, durch Fahrkursänderungen des Traktors dem Verlauf der Furchenkante als Führungsgröße zu folgen und somit den Arbeitsbreitenanschluß des Aufsattelbeetpfluges zu sichern.

Die Regeleinrichtung besteht aus der vorgestellten Meßeinrichtung mit Dreipunktregler, dem elektrohydraulischen Wandler (Magnetventile MV 1, MV 2) und den beiden einseitig beaufschlagten hydraulischen Arbeitszylindern (Bild 4). Mit Hilfe von Stabilitätsuntersuchungen im Regelkreis konnte in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und unter Berücksichtigung einer maximalen Giergeschwindigkeit des Aggregats von 24°/s die tote Zone als freier Einstellparameter ermittelt werden [7].

5. Versuchsergebnisse

In Laboruntersuchungen an landwirtschaftlichen Ackerböden (Modellböden) konnte bei unterschiedlicher Oberflächenrauigkeit, Bodendichte und -feuchte für ungünstige Reflexionsbedingungen eine maximale Schallabsorption von rd. 40 dB nachgewiesen werden. Durch Windbeeinflussung und Schallstrahlwinkeländerungen infolge Eigenbewegung des Meßfühlers vergrößern sich die Schallenergieverluste empfangsseitig weiter. Eine sichere Trennung der Echosignalempulse von den ebenfalls eingangsseitig wirkenden Störimpulsen ist mit der begrenzten Sendeschalleistung bei diesen ungünstigen Abtastbedingungen nicht möglich. Durch die Verwendung elektroakustischer Wandlerbauelemente größerer Schalleistung (u. U.

Tafel 2. Zusammenstellung der Versuchsergebnisse

Eigenschaften	Kennwerte
Meßzeit	Einzelmessung 6,5 ms Mittelwertmessung einstellbar 65 ... 100 ms Totzone einstellbar 5 ... 20 cm
Dreipunktkenlinie	Tiefenauflösungsvermögen maximal 13 cm Seitenauflösungsvermögen maximal 4 cm
Meßgenauigkeit	nicht ausreichend bei einem Bodenschallschluckgrad von 40 dB und Windgeschwindigkeiten von 20 m/s
Meßsicherheit	
Anwendungsbereich	
Meßprinzip Schallkeulen Laufzeitdifferenzmessung	Abtastung von Dämmen, Furchen, Bestimmung der Arbeitstiefe
Ausführung schmalbandige piezoelektrische Ultraschallschwinger Impulsecholotmethode	Herbstfurche
Aggregatierung Allradtraktor K-700 Aufsattelbeetpflug B 501	Arbeitsgeschwindigkeit bis 12 km/h Arbeitsbreite bis 2,8 m
Stelleingriff elektrohydraulisches Dreiwegeventil	schlechte Ergonomie

andere Wirkprinzipie) kann in Verbindung mit einer Dynamikkompression bzw. Amplituden- und Laufzeitmittelwertbildung in der Informationsverarbeitung eine sicherere Meßwerterfassung ermöglicht werden. Über einer Modellfurche im Bodenkanal wurden die günstigsten konstruktiven und elektrischen Einstellwerte für die Meßeinrichtung ermittelt, aus denen ein seitliches Auflösungsvermögen von 5 cm und ein Tiefenauflösungsvermögen von 13 cm resultierte [7].

Die praktische Felderprobung der akustischen Meßeinrichtung am Allradtraktor K-700 mit Aufsattelbeetpflug B 501 auf Stoppelacker bestätigte, daß eine sichere Meßwertgewinnung auch an der Herbstfurche (Furchentiefe > 15 cm) bei ungünstigen Abtastbedingungen (trockener, sandiger Boden, unebene Fahrbahn, starke Windbeeinflussung in Bodennähe) nicht möglich ist. Unter diesen Bedingungen lag, wie schon in den Laboruntersuchungen bei sehr ungünstigen Abtastbedingungen, die auszuwertende Echosignalamplitude im Bereich der durch Fremderregung hervorgerufenen Störampplituden.

Die Knicklenkung des Traktors verursachte in Verbindung mit dem elektrohydraulischen Dreiwegeventil als Stelleingriff über der Furche hohe horizontale Bewegungsgeschwindigkeiten der Meßfühler senkrecht zur Leitlinie. Dadurch wurde der Abtastvorgang in der Furchensohle, der mit Schallkeulen beider Meßfühler (Fangbereich der Meßeinrichtung) erfolgt, für große Lenkbewegungen unsicher [7]. Es wurde deshalb vorgeschlagen, den Fangbereich durch eine andere Meßfühleranordnung zu vergrößern [8].

6. Zusammenfassung

Das vorgestellte Meßprinzip ist prinzipiell zur Abtastung von Pflugfurchen geeignet. Mit der aus der Informationsgewinnung resultierenden Dreipunktkenlinie kann ein landwirtschaftliches, mobiles Aggregat mit Hilfe von Regel- und Stelleinrichtungen automatisch gelenkt werden. Die Meßgenauig-

keit von 5 cm (Seitenauflösungsvermögen) gestattet, mit dem Lenkregelkreis die agrotechnischen Forderungen an eine derartige Automatisierungseinrichtung zu erfüllen.

Die Meßsicherheit der aufgebauten Einrichtung genügt den möglichen Einsatzgebieten und praktischen Einsatzbedingungen nicht in vollem Umfang (Tafel 2). Unter den bereits beschriebenen ungünstigen Abtastbedingungen ist eine sichere Meßwerterfassung nur möglich, wenn

- leistungsstärkere akustische Schallwandler zur Verfügung stehen und deren Empfindlichkeit im Empfangsbetrieb noch weiter verringert wird
- der Fangbereich der Meßeinrichtung an der Pflugfurche durch eine bessere horizontale Auflösung des Bodenprofils (Linearisierung der Kennlinie) mit Hilfe der akustischen Abtastung vergrößert wird.

Beim Hersteller wurde in ersten Laboruntersuchungen versucht, die Konstruktionsparameter der akustischen Wandler jetziger Bauform so zu verändern, daß ihre akustischen Eigenschaften den Forderungen des Meßprinzips besser gerecht werden. Diese Untersuchungen führten, wie auch die Prüfung anderer akustischer Wirkprinzipie (z. B. Helmholtz-Resonator), zu keinem positiven Ergebnis. International werden vergleichbare Bauelemente bereits angeboten [7].

Eine Linearisierung der Kennlinie der Meßeinrichtung ist, ohne daß ihre dynamischen Eigenschaften verschlechtert werden, nur möglich, wenn die Anzahl der Sendempfangswandler vergrößert wird [8]. Bei einer derartigen Meßfühleranordnung ist der schaltungstechnische Aufwand für die Informationsgewinnung nach der Impulsecholotmethode z. Z. noch zu aufwendig. Weiterhin müssen die Meßfehler verursachenden Störungen, die durch stochastische Änderungen der Echosignalamplitude (Dynamikumfang) und deren Laufzeitschwankungen in Abhängigkeit von den Abtastbedingungen entstehen, in der Informationsauswertung kompensiert werden.

Günstigere Meßbedingungen ergeben sich für das vorgestellte akustische Meßprinzip der Tiefenlotung, wenn die Arbeitstiefe von Bodenbearbeitungsgeräten (z. B. beim Pflügen) bestimmt werden soll. Zur Informationsauswertung wird in diesem Fall nur noch ein Meßkanal benötigt. Durch die wesentlich geringere Eigenbewegung der starr mit dem Arbeitsgerät gekoppelten Meßfühler ergibt sich eine höhere Meßsicherheit.

Auch elektronische Schallschranken für Steuerungsaufgaben bei ungünstigen Einsatzbedingungen (Staub, unzureichende Beleuchtungsverhältnisse) können einfach aufgebaut werden. Bei der Bestimmung des Füllstandes in geschlossenen Behältern mit Flüssigkeiten oder Schüttgütern haben sich akustische Meßeinrichtungen, die nach dem Echolotprinzip arbeiten, bereits bewährt. Auch akustische Parameter landwirtschaftlicher Stoffe, die auf dem Wege dieser indirekten Messung mit mechanischen Stoffkenngrößen korrelieren, wurden bereits bestimmt [9].

Eine breitere Anwendung derartiger Meßeinrichtungen zur Lösung ähnlicher Automatisierungsprobleme würde begünstigt werden, wenn einheitliche Baugruppen, bestehend aus den akustischen Wandlern, dem Sende-

baustein mit veränderlicher Leistung und externem Takteingang sowie einem in der Verstärkung programmierbaren Empfangsbau- stein, zur Verfügung stehen. Die Informationsauswertung müßte schaltungstechnisch vom Anwender an das jeweilige Meßproblem angepaßt werden.

Die bessere Eignung moderner optischer Sensorbauelemente, wie z. B. der CCD-Kamera, zur flächenhaften Meßwertfassung an landwirtschaftlichen Bearbeitungsgrenzen und Pflanzenreihen wird zur Zeit geprüft. Die mit ihnen mögliche komplexe Meßwertfassung und mikrorechnergestützte Informationsverarbeitung verspricht eine bessere Anpassung dieser Sensoren an die Einsatzbedingungen in der landwirtschaftlichen Praxis [10].

Literatur

- [1] Ahrens, F.: Probleme bei der Meßwertgewinnung an Furchen oder Dämmen mit Hilfe von Ultraschall zum Lenken mobiler Aggregate. Mechanisierungstagung Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg 1979, Tagungsmaterial, S. 121-124.
- [2] Uhlig, T.: Regelungsanordnung. DE OS 2241682 G 05 d 1/03, 1972.
- [3] Ahrens, F.: Optimierung des Übertragungsver-

haltens einer Meßeinrichtung zum Erfassen von Bodenbearbeitungsgrenzen mittels Ultraschall. Regelungstechnisches Kolloquium an der Technischen Universität Dresden 1980, Tagungsmaterial, S. 34-36.

- [4] Knöchel, G. Schuch, R.: Aufbau und Arbeitsweise eines Musters der Automatisierungsbau- gruppe „Automatische Fallhöhenanpassung“. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 8, S. 346-348.
- [5] Ahrens, F.: Übertragungsverhalten einer Meßeinrichtung zum Erfassen landwirtschaftlicher Bearbeitungsgrenzen mit Hilfe von Ultraschall. agrartechnik, Berlin 30 (1980) 3, S. 104-106.
- [6] Ahrens, F.: Akustische Meßeinrichtung zur Erfassung von Leitlinien. PS 155117 DD G 05 D 1/00, 1980.
- [7] Ahrens, F.: Aufbau und Erprobung einer Pflug- furchen erfassenden akustischen Meßeinrich- tung zur automatischen Lenkung mobiler land- wirtschaftlicher Aggregate. Ingenieurhoch- schule Berlin-Wartenberg, Dissertation A 1981.
- [8] Ahrens, F.: Verfahren und Meßeinrichtung zur berührungslosen Erfassung landwirtschaftlicher Bearbeitungsgrenzen. PS 155116 DD G 05 D 1/00, 1980.
- [9] Krause, R.: Untersuchungen zur akustischen Kennwertermittlung bei landwirtschaftlichen Stoffen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation A 1984.
- [10] Gerrich, J. G.: Mobile Roboter in der Landwirt- schaft. Machines in Agriculture. St. Joseph, Mich. (1984) 4, S. 30-41. A 4187

Grundlagen der gutschonenden Technik im Gartenbau

Prof. Dr.-Ing. J. Leuschner, KDT

1. Probleme und Aufgaben

Aufgrund der zum Zeitpunkt der Gründung des Wissenschaftsbereichs Gartenbautechnik an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg im Jahr 1976 in der DDR und im Ausland vorhandenen Erfahrungen bei der Entwicklung von Erntemaschinen für Obst und Gemüse wurde die Forschungsarbeit bereits in den ersten Jahren auf das Senken der Beschädigungen und Verluste orientiert, die mit dem Maschineneinsatz verbunden sind. Hierbei wurde erkannt, daß es nötig ist, Grundlagen zu schaffen, die sich auf folgende Teilgebiete beziehen;

- Erforschen der Beschädigungsursachen
- Erforschen der Wirkpaarung Erntegut - Maschinenelement
- Grundlagen für die gutschonende Maschinen- und Verfahrensgestaltung.

In den letzten Jahren bestätigte sich die Notwendigkeit solcher Forschungsrichtungen. Zunehmende Maschinenleistungen, verbunden mit höheren Operationsgeschwindigkeiten der Funktionselemente der Maschinen, wachsenden Förderstrecken, Fallstufen und Transportwegen, zunehmenden Kräften, die auf das Erntegut wirken, z. T. auch durch die größer gewordene Masse der Einzelmachine verursacht (Druck auf im Boden wachsende Erntegüter, Beschädigung über dem Boden wachsender Erntegüter durch breite Reifen), haben dazu geführt, daß in der Tendenz die Erntegutbelastungen gewachsen sind. Die damit verbundenen Widersprüche wirken sich z. T. bereits hemmend auf den wissenschaftlich-technischen Fortschritt aus. Das äußert sich z. B. in einer Unzufriedenheit der Maschinennutzer, ver-

bunden mit dem Rückschritt zu manuellen und teilmechanisierten Ernteverfahren. Auch die Entwicklung neuer Maschinen wird dadurch nachteilig beeinflusst, was zu Tempoverlusten bei der Maschinenentwicklung und z. T. schon zum Abbruch von Entwicklungsarbeiten geführt hat.

2. Beschädigungsursachen

Neben biologischen, chemischen, thermischen u. a. Schädigungen haben im Zusammenhang mit dem Maschineneinsatz die mechanisch verursachten Schäden die größte nachteilige Wirkung. Letztere wurden unter dem Begriff Beschädigung wie folgt definiert: „Beschädigung ist unerwünschte Veränderung des Verfahrensgutes durch das Wirken von Kräften. Erscheinungsformen der Beschädigungen können sein: Bleibende Deformationen, Zerstörung von Strukturelementen oder der Struktur sowie das Lostrennen von Teilchen oder Teilen.“

Die Ursachen von Beschädigungen können vielfältig sein. Als Einflußbereiche auf die Beschädigungen wirken der Mensch, die Produktionsinstrumente und Verfahren (d. h. die Technik) sowie die Eigenschaften des Produktionsgegenstandes (z. B. Erntegut). Die Wirkung dieser Einflußbereiche ist von Bedingungen abhängig, wobei für die Eigenschaften des Erntegutes die Wachstumsbedingungen, für den Menschen die Arbeitsbedingungen und für die Produktionsinstrumente sowie -verfahren die Einsatzbedingungen die wesentlichsten sind. Alle diese Bedingungen können jedoch auch übergreifend wirken. So haben die Einsatzbedingungen (z. B. Temperatur beim Maschineneinsatz) einen Einfluß auf die Empfindlichkeit

des Erntegutes als Produktionsgegenstand.

Die Analyse von Beschädigungseinflüssen und -ursachen (Streßanalyse) hat zum Ziel, die Beschädigungen zu erkennen, meßbar zu machen, zu orten, die Gesetzmäßigkeiten der Wirkungsweise von Ursachen zu erkennen (technisch-physikalische Maschinenanalyse) und zu beseitigen bzw. die negative Wirkung zu mindern.

Ein gesondertes Problem, das weiterer umfangreicher Untersuchungen bedarf, ist das Bestimmen von Beschädigungen. Dies erfolgt durch:

- visuelle Bonitur, wenn keine meßbaren Merkmalsgrößen erfaßt werden können. Die visuelle Bonitur ist mit einem verbalen Boniturschema (z. B. unbeschädigt, leicht, mittelstark und stark beschädigt) verbunden. Diese Methode ist wegen ihrer Ungenauigkeit nur für grobe Voruntersuchungen geeignet.
- quantifizierte Bonitur. Hierbei erfolgt eine Zuordnung der Beschädigungsmerkmale nach meßbaren Kenngrößen (z. B. Abmessung einer Druckstelle, Abplattung usw.) Dabei können alle Beschädigungen am Einzelstück (α -Verfahren) oder nur die größte Beschädigung (β -Verfahren) gemessen werden.
- Messen der Beschädigung durch technische Einrichtungen (z. B. mit Hilfe elektromagnetischer Strahlen verschiedener Wellenlängen).

Für die eigenen Untersuchungen wurde das Prinzip der quantifizierten Bonitur genutzt. Dabei wurde auf die in der DDR gesammelten Erfahrungen beim Bestimmen von Kartoffelbeschädigungen zurückgegrif-