

# Automatisierung am Mähdrescher

Von Norbert Diekhans, Harsewinkel\*)

DK 631.354.2:62-52

Die Weiterentwicklung des Mähdreschers vollzieht sich in besonderem Maße auch bei den Überwachungs- und Steuerungseinrichtungen. Die Elektronik hat eine Vielzahl von Automatisierungsaufgaben auch wirtschaftlich gelöst. Die derzeitige Entwicklungsarbeit ist bestimmt durch das Streben nach kostengünstigen Lösungen, die dazu eine höchstmögliche Zuverlässigkeit aufweisen. Automatische Regler für Schnitthöhe, Lenkung und Hangausgleich befinden sich bereits im Praxiseinsatz.

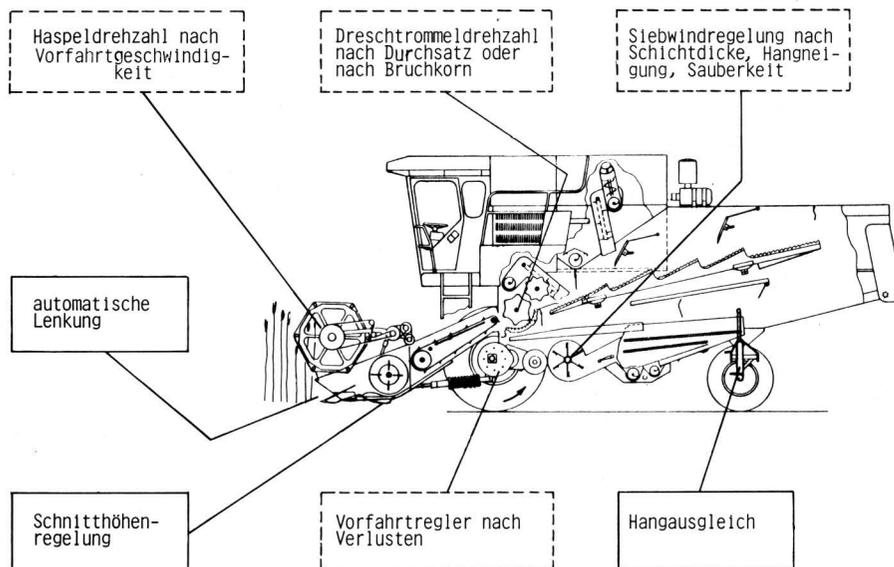
Die Mikroelektronik wird im Mähdrescher zunächst eingeführt für die Informationsaufbereitung (Anzeigetechnik), die Maschinenüberwachung und Regelungen. Erste Bordcomputer sind bereits erhältlich.

## 1. Einleitung

Mit Automatisierung bezeichnet man im weiteren Sinne alles, was dazu dient, Prozesse selbsttätig ablaufen zu lassen. Eine Automatisierung in diesem Sinne ist bei der Ernte noch nicht erreicht, doch lassen sich durchaus einzelne Teilfunktionen selbsttätig regeln.

Die wichtigsten automatisch zu regelnden Funktionen am Mähdrescher zeigt **Bild 1**. Von den hier dargestellten 7 Teilfunktionen werden bereits 3 in der Praxis automatisch geregelt: Als älteste und einfachste wohl die Schnitthöhenregelung, dann die automatische Lenkung für die Maisernte und bei speziellen Maschinen der Hangausgleich.

In der Diskussion ist die Regelung der Fahrgeschwindigkeit, während eine Regelung der Haspel-, Dreschtrommel- und Gebläsedrehzahl hier in Europa noch nicht in der Praxis eingesetzt wird.



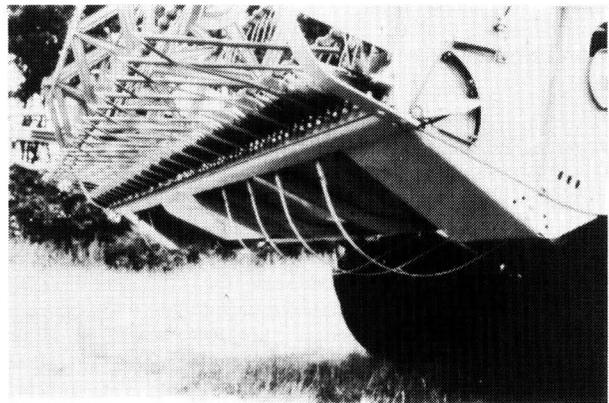
**Bild 1.** Aufgaben der automatisierten Regelung am Mähdrescher.

— in der Praxis eingesetzt    - - - bisher nur in der Planung

## 2. Aufbau von Regelungen mit konventioneller Elektronik

### 2.1 Schnitthöhen- und Auflagekraftregelung

Seit längerem bekannt ist die in **Bild 2** gezeigte Ausführung der Höhenregelung des Schneidtisches. Das Bild zeigt einen Blick unter das angehobene Schneidwerk. Der Bodenabstand wird erfasst mit Hilfe mehrerer federnder Tastbügel, die auf einer gemeinsamen Welle drehbar gelagert sind. Die Taster wirken auch beim Rückwärtsfahren und können sich aufgrund ihrer Form nicht in den Boden verhaken.



**Bild 2.** Tastbügel unter dem Schneidwerk zur Erfassung des Bodenabstands; am Seitenblech: von der Tasterwelle betätigter Zeiger und Kontaktträger, der vom Fahrerstand aus über Bowdenzug zu verstellen ist.

Die Bewegung der Gesamtheit der Taster wird auf den im Bild sichtbaren Zeiger an der Seitenwand des Schneidwerks übertragen. Dieser wirkt direkt als Dreipunktregler: Er schaltet beim Berühren der entsprechenden Kontakte die Magnetventile für Heben und Senken, bzw. steht neutral in der Mittellage. Geschaltet wird die Masseleitung der Ventile, und so müssen die Kontakte nicht einmal besonders gegen Kurzschluß geschützt werden. Über einen Bowdenzug kann vom Fahrerstand der Kontaktträger in seiner Lage verändert werden. Damit läßt sich der Sollwert der Schnitthöhe stufenlos vorgeben.

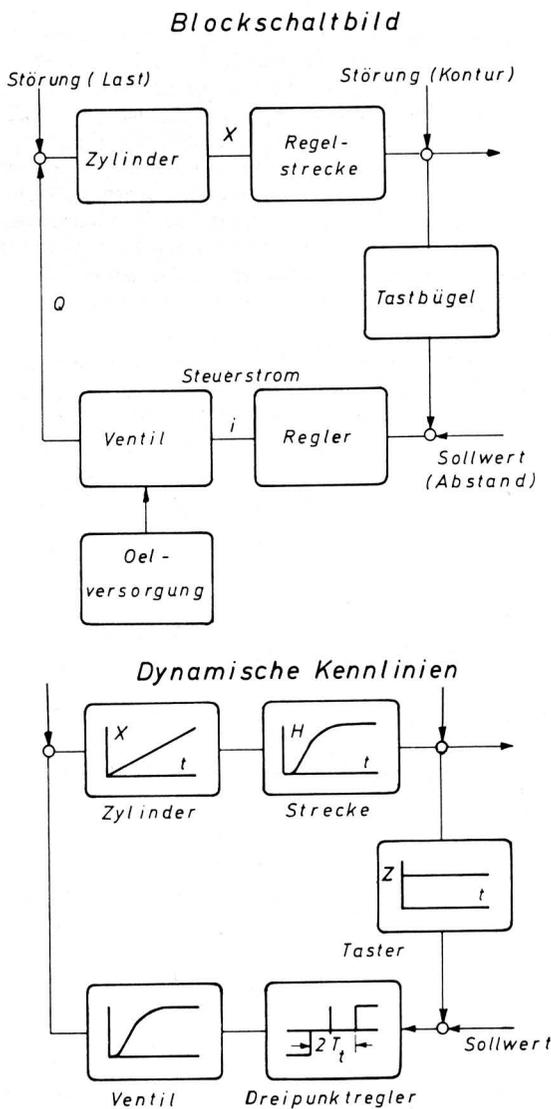
Die Einhaltung einer konstanten Schnitthöhe ist eine relativ einfache Regelung. Deshalb sollen an diesem Beispiel einige Grundlagen bei der Auslegung von Regelkreisen an Landmaschinen erläutert werden.

\*)Dr.-Ing. N. Diekhans ist in der Fa. Claas OHG, Harsewinkel tätig.

In Bild 3 ist der prinzipielle Aufbau des elektrohydraulischen Regelkreises für die Höhenverstellung dargestellt. Das Blockschaltbild, oben im Bild, macht das Zusammenspiel von Regler, Stellglied und Regelstrecke klar. Bei dieser Höhenregelung z.B. wird eine Störung (Veränderung in der Bodenkontur) vom Tastbügel erfaßt und über Regler und Hydraulikventil auf der Regelstrecke ausgeregelt.

Nur für sehr langsame Bewegungen ist das statische Verhalten des Regelkreises von Bedeutung. Wichtiger ist das Zeitverhalten, also die Reaktion des Regelkreises auf zeitabhängige Störungen. Unten im Bild sind die dynamischen Kennlinien der Elemente des Regelkreises zu sehen, das ist jeweils der Verlauf der Ausgangsgröße über der Zeitachse nach einer sprunghaften Änderung der Eingangsgröße. Gekennzeichnet ist das dynamische Verhalten durch Zeitkonstanten und Totzeiten, wobei in diesem Fall insbesondere große Massen und nachgiebige Bauteile die Stabilität ungünstig beeinflussen.

Grundsätzlich läßt sich auf zwei Wegen, nämlich durch den Einsatz von speziellen Elektronikreglern und aufwendigen Servoventilen die Regelgüte verbessern. Schlechte Wirkungsgrade, die Ölerwärmung und nicht zuletzt der hohe Bauaufwand verbieten aber Servoventile für Landmaschinen. Im Landmaschinenbau finden fast ausschließlich unstetige Regler Verwendung, meist in Form von elektrohydraulischen Dreipunktreglern.

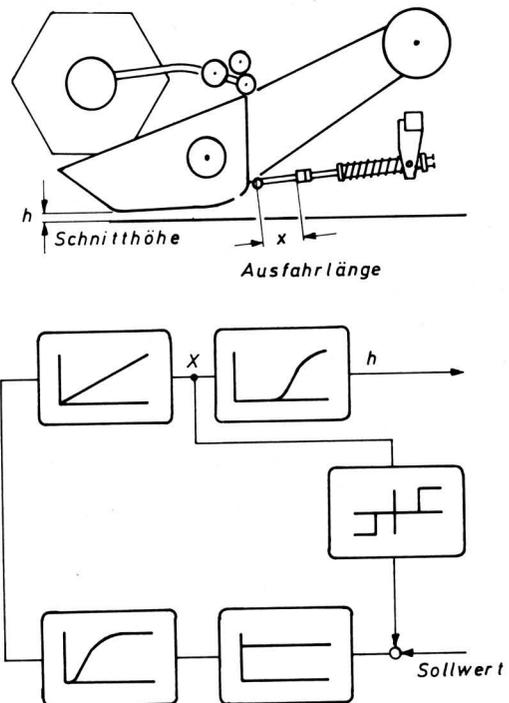


**Bild 3.** Regelkreis der Schnitthöhenverstellung; Regelung nach der Auslenkung von Tastbügeln.

Bei der Regelung eines Mährescherschneidwerks liegt das Problem darin, daß der Schneidstisch mit einer Masse von ca. 1000 kg u.a. zur Verbesserung des Schwingungsverhaltens des Mähreschers sehr weich gegen das Fahrgestell abgedefert ist, Konstruktionskizze in Bild 4.

Die durch diese Nachgiebigkeit verursachten Totzeiten betragen etwa das 20fache der Verzögerungszeit eines Magnetventils, so daß sich auch mit speziellen Elektronikreglern und aufwendigen Servoventilen die Regelgüte kaum verbessern läßt, wenn die Konzeption des Regelkreises beibehalten wird.

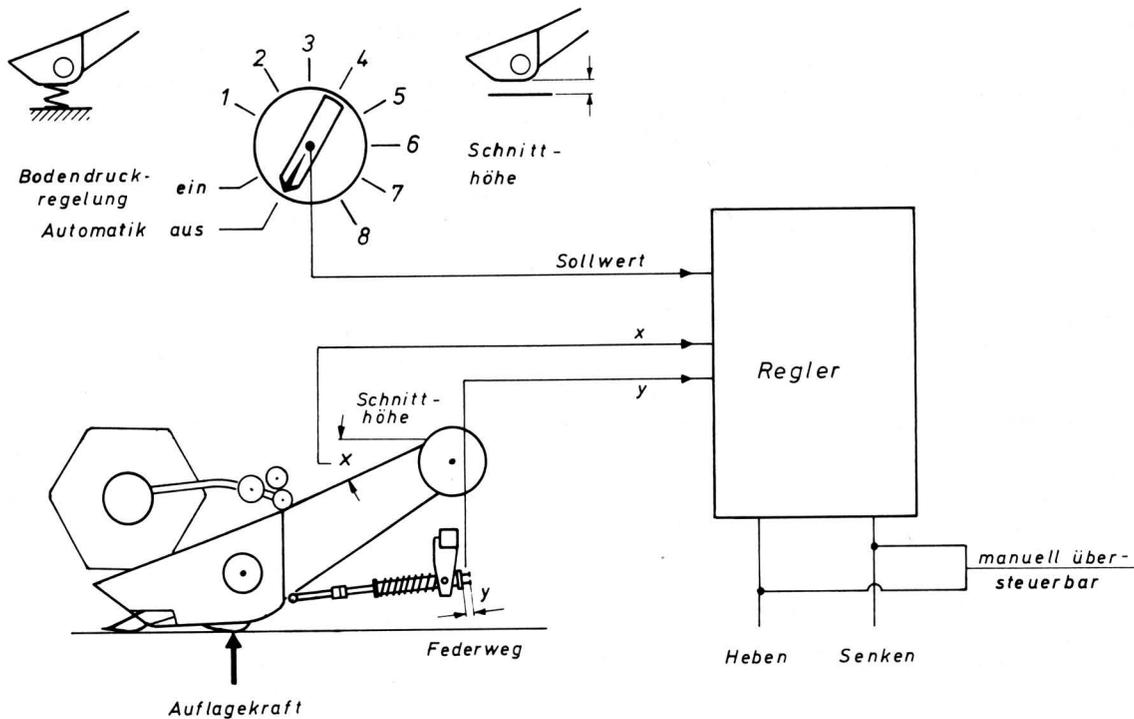
Es müssen daher andere Wege beschritten werden, um die Höhenregelung für das Schneidwerk zu stabilisieren. Eine besonders einfache Lösung, den Einfluß der Federung auszuschalten, ist die Regelung nach einer indirekten Meßgröße. Statt mit einem Taster die Bodenkontur abzutasten, kann z.B. die Ausfahrlänge des Zylinders  $x$  geregelt werden. Im Blockschaltbild in Bild 4 ist zu sehen, wie sich damit der Regelkreis verkürzt, die durch die Feder bedingte lange Totzeit liegt jetzt aber außerhalb des geschlossenen Kreises. Höhere Bodenwellen werden nicht mehr von der Hydraulik, sondern von der Feder ausgeglichen.



**Bild 4.** Regelung der Schnitthöhe über die Ausfahrlänge des Hydraulikzylinders als indirekte Meßgröße für die Schnitthöhe.

Wird zusätzlich die Auflagekraft (Bodendruck), gemessen durch den Federweg  $y$  in Bild 5, mit im Regler verarbeitet, so kann man eine optimale Arbeitsgüte erzielen. Weil das Schneidwerk bei Bodenaufgabe nicht aufschwingt, läßt sich die Federspannung sehr feinfühlig regeln. Wenn das Schneidwerk über dem Boden schwebt, ist eine Regelung der Auflagekraft nicht mehr notwendig, sondern es reicht eine Vorwahl der Stoppelhöhe.

Für eine solche Mehrgrößenregelung ist aber wichtig, daß die Bedienung überschaubar bleibt. Immerhin sind jetzt 2 Sollwerte einzustellen, und es ist die Auswahl zu treffen, welche Größe jeweils zu regeln ist. Oben links im Bild ist ein Vorschlag dargestellt, wie alle Informationen über einen einzigen Drehschalter einzugeben sind. Dieser hat die 3 Bereiche Automatik aus (manuelle Regelung), Bodendruckregelung und Regelung stufenlos ansteigender Schnitthöhen. Der Regler wird aktiviert und übersteuert mit Hilfe der vorhandenen Tippkontakte für Senken bzw. Heben im Fahrhebel.



**Bild 5.** Mehrgrößen-Regelung für die Schnitthöhe; Regelung nach der Auflagekraft am Boden (Bodendruck) oder nach der Lage des Schneidwerks gegenüber dem Mährescherkörper.

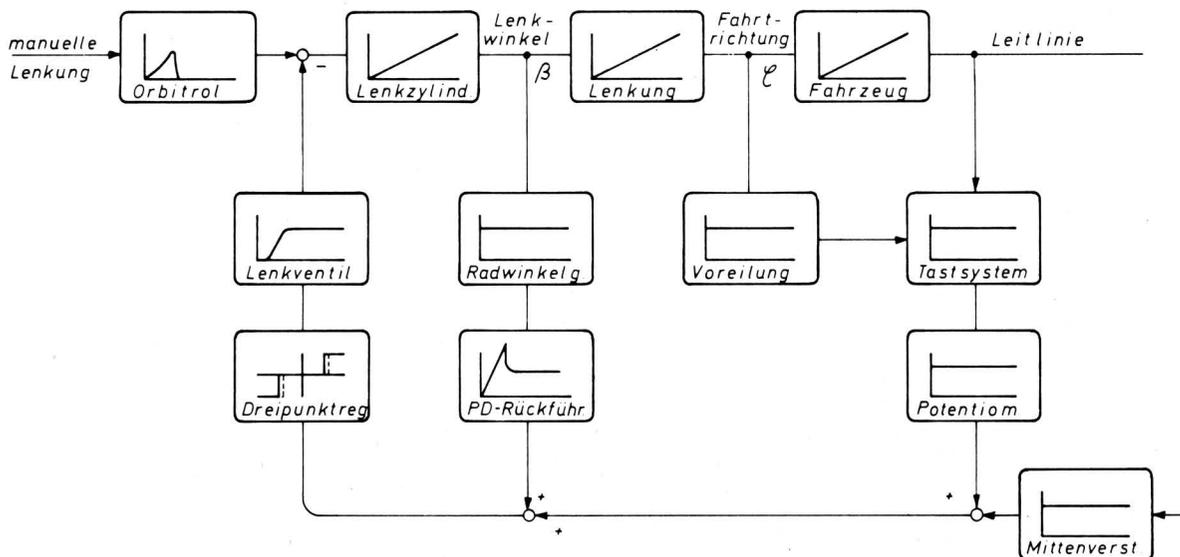
## 2.2 Automatische Lenkung

Gegenüber dem verhältnismäßig einfachen Beispiel der Schnitthöhenverstellung stellt die automatische Lenkung einen anspruchsvolleren Regelvorgang dar.

Bei einem modernen Großmährescher beispielsweise mit einem 12reihigen Maispflücker erfordert das Lenken auf ca. 10 cm genau an einer Maisreihe entlang mehr als die Hälfte der Aufmerksamkeit des Fahrers. Bei Lagermais und Dunkelheit ist wegen schlechter Sicht eine Ernte oft nur noch mit einem Lenkautomat möglich. Dazu kommt noch, daß das Lenken an den Hinterrädern immer eine gewisse Vorhaltezeit benötigt, weil das Fahrzeugheck für eine Spuränderung erst größere Schwenkbewegungen machen muß.

In **Bild 6** ist das Blockschaltbild für den Regelkreis des Lenkautomaten dargestellt. Der obere Pfad im Bild verdeutlicht die Steuerstrecke für eine normale hydrostatische Lenkhilfe. Wenn man den unteren Teil des Bildes außer acht läßt, erkennt man gleich, daß in der Regelstrecke mehrere Blöcke mit integrierender Wirkung enthalten sind. Ein konstanter Ölstrom in den Lenkzylinder führt zu einem linear mit der Zeit größer werdenden Lenkwinkel. Ein konstanter Lenkwinkel ändert – linear mit der Zeit wachsend – die Fahrtrichtung und eine falsche Fahrtrichtung führt zu mit der Zeit linear zunehmenden Abweichungen von der Leitlinie. Es ist klar, daß ein solches System von Natur aus sehr träge ist.

Eine Regelung, die als Rückführung nur die Tastergebnisse an der Leitlinie verarbeitet, würde nur bei sehr kleinen Fahrgeschwindigkeiten befriedigende Ergebnisse liefern. Indem man den Taster aber sehr weit voraus an der Maschine anbringt, erhält man zusätzlich vom gleichen Geber ein Signal für die Fahrtrichtung, weil die Schwenkbewegung des Mähreschers auch zu einem Tasterauschlag führt. Ein solches Signal verkürzt die Reaktion im Regelkreis und wirkt stabilisierend.



**Bild 6.** Lenkregelkreis für hinterachsgelenkte Fahrzeuge.

Zusätzlich verarbeitet der Regler mit einer PD-Rückführung des Lenkwinkels mit Proportional- und Differential-Anteil noch die Information, wie die Lenkräder stehen und wie schnell sie sich bewegen. In den Regelkreis wirkt außerdem der Mittenversteller, rechts unten in Bild 6. Er sorgt dafür, daß das Tastersignal z.B. beim Fahren am Hang korrigiert wird.

Der bereits vor 10 Jahren entwickelte Lenkautomat für Mais, Bild 7, erlaubt Fahrgeschwindigkeiten bis zu 10 km/h. Er besteht aus den Komponenten:

- Taster vorn in den Teilerspitzen a
- einem Geber für die Stellung der Lenkräder b
- dem elektronischen Regler c
- dem Magnetventil d und
- den Ein-, Aus-Schaltern e und f.

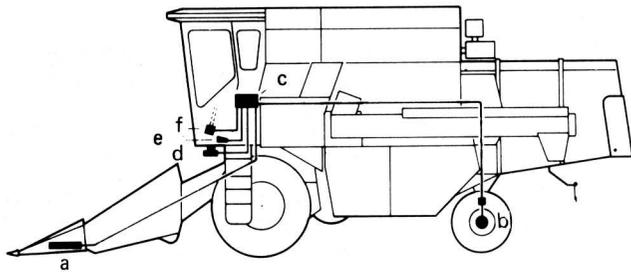


Bild 7. Komponenten des Claas-Lenkautomaten für die Maiseernte.

Zum Ertasten der Pflanzenreihe dienen 2 Fühlstäbe, die von beiden Seiten in den Einzugsbereich ragen, Bild 8. Dadurch wird sowohl beim Fehlen einiger Maispflanzen als auch bei stark verunkrauteten Beständen, wenn beide Taster ausgelenkt werden, ein Geradeausignal erzeugt.

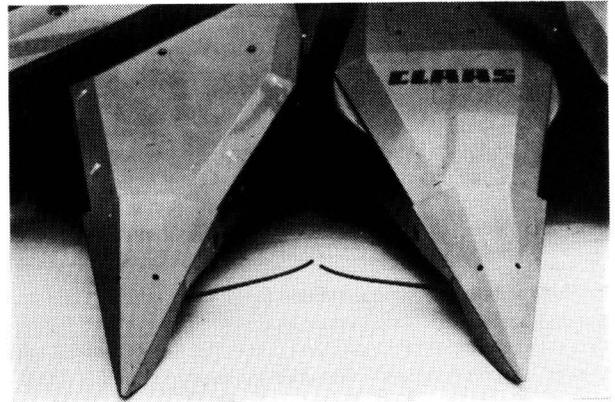


Bild 8. Tastersystem für die automatische Lenkung bei der Maiseernte.

### 2.3 Regelung von Durchsatz und Fahrgeschwindigkeit

Eine dritte Funktion, die sinnvoll zu automatisieren ist, ist die Regelung der Fahrgeschwindigkeit, Bild 9.

Die Geschwindigkeit wird bisher manuell vom Fahrer am Fahrhebel entweder konstant vorgewählt oder jeweils entsprechend der Anzeige für Körnerverluste variiert.

Die Regelstrecke besteht aus dem hydrostatischen Fahrtrieb, der Erntegutaufnahme und dem Abscheidesystem. Als Störgröße wirkt die Bestandsdichte auf die Abscheidequalität ein.

Ein Regelkreis, in dem ausschließlich die Größe der Verluste auf den Regler für die Fahrgeschwindigkeit einwirkt, arbeitet zu träge. Allein die Durchlaufzeit des Materials durch die Maschine ruft Totzeiten von etwa 8 s hervor. Es kann auch hier wieder nur durch kürzere zusätzliche Rückführungen der Regelkreis stabilisiert werden.

Als das früheste Signal für die Bestandsdichte wird das Drehmoment an der Einzugschnecke verwendet. Damit wird der Einfluß der großen Totzeit des Abscheidesystems ausgeschaltet. Eine zusätzliche Rückführung der bereits erreichten Geschwindigkeit wirkt noch weiter stabilisierend.

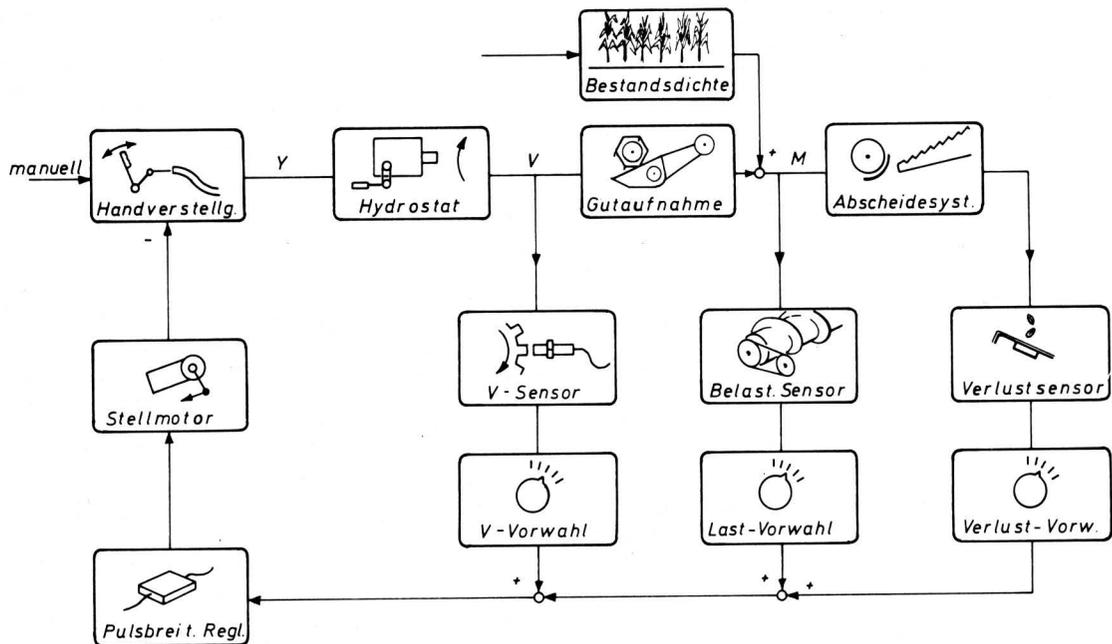


Bild 9. Regelung der Mähdrescher-Fahrgeschwindigkeit nach dem Durchsatz und Korn-Verlustanteil.

Das Funktionsschema in Bild 10 zeigt das Zusammenwirken der einzelnen Baugruppen des Fahrgeschwindigkeits- bzw. Durchsatzreglers. Die Handverstellung der Geschwindigkeit wirkt mit dem Handhebel über den Bowdenzug mittelbar über einen Zwischenhebel auf die Hydrostatpumpe. Befindet sich der Handhebel in Nullstellung, so ist auch die Hydrostatpumpe, wie hier im Bild, unabhängig vom Reglerausgang auf Null gestellt. Das ist die erste Sicherheitsforderung für eine mechanische Übersteuerung. Der Regler erhält als Eingangsgrößen den Sollwert, die Verlustsignale sowie die Geschwindigkeit und das Drehmoment an der Einzugschnecke. Der Ausgang verstellt die Hebelübersetzung zur Geschwindigkeitsverstellung, d.h. wenn der Fahrhebel ausgelenkt ist, verstellt er mittelbar die Geschwindigkeit.

Mittlerweile sind auch elektrisch angesteuerte Hydrostaten verfügbar, so daß auch die Betätigung über den Bowdenzug entfallen kann. Der Nutzen des Durchsatzreglers liegt auf der Hand. Der Fahrer kann näher an der Leistungsgrenze fahren, weil einer plötzlichen Überlastung des Mähdeschers durch den selbsttätig ablaufenden Regelvorgang vorgebeugt ist. Trotz einer im Durchschnitt merklich höheren Arbeitsgeschwindigkeit wird der Fahrer entlastet, weil ihm die ständige Überwachung der Einflußgrößen (Bestandsdichte, Fahrgeschwindigkeit, Verluste) abgenommen ist und er trotzdem keine Angst haben muß, die Maschine zu verstopfen.

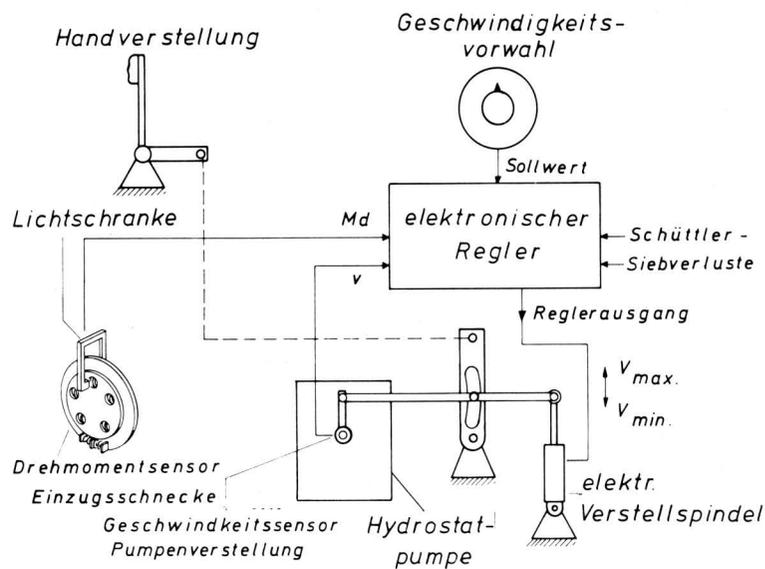


Bild 10. Funktionsschema der Fahrgeschwindigkeitsregelung.

### 3. Einsatz der Mikroelektronik

Bei der Automatisierung spielt heute die Mikroelektronik eine besondere Rolle. Vielfältige und fast beliebig komplexe Steuerungsfunktionen können mit dieser Technik bewältigt werden, wenigstens so weit das die Informationsverarbeitung betrifft.

Es gibt eine Reihe von interessanten Aufgaben in der Landtechnik, bei denen man sich die Verarbeitungsleistung eines Mikroprozessors wünscht. Bislang scheiterte seine Einführung in Erntemaschinen noch daran, daß das System um den Mikroprozessor herum fehlt.

Die Meßwertaufnehmer (Sensoren), Anzeigen und Stellglieder (Aktuatoren) sind vielfach noch nicht ausreichend vorhanden. Das wird sich aber bald ändern, wenn man nur an die Entwicklung der Sensortechnik in Konsumgütern und Kraftfahrzeugen denkt.

### 3.1 Einführung der Mikroelektronik in Erntemaschinen

Bild 11 zeigt Beispiele von Anwendungen, für die ein Einsatz der Mikroelektronik in Erntemaschinen in absehbarer Zeit zu erwarten ist. Das gilt zunächst für die Anzeige von verschiedenen, vorher zu berechnenden Größen. Wenn z.B. eine Geschwindigkeit einmal in km/h und ein anderes Mal in miles per hour angezeigt werden soll und für verschiedene Reifengrößen mehrere Umrechnungsfaktoren zu programmieren sind, dann kann sich — je nach Stückzahl — bereits heute ein Mikroprozessor dafür eignen.

Ist ein Mikroprozessor und eine Anzeige erst einmal vorhanden, dann wird man ihn auch zur Berechnung weiterer Funktionen benutzen wollen. Mit Eingabe einer Arbeitsbreite können über Wegstrecken und Geschwindigkeiten Arbeitsflächen und Flächenleistungen berechnet werden. Damit ist der Mikroprozessor aber nicht ausgelastet, und es hängt nur davon ab, ob weitere Sensoren für sinnvolle Größen verfügbar sind, um den Arbeitsbereich dieses "Bordcomputers" zu erweitern.

Neben der Informationsbereitstellung könnte mit dem Mikroprozessor auch ein intelligenteres System der Maschinenüberwachung gesteuert werden. Die Überwachung des Schmieröldrucks kann z.B. drehzahlabhängig erfolgen. In Erweiterung eines Betriebsstundenzählers können Warnhinweise gegeben werden usw.

Besonders einleuchtend erscheint der Einsatz des Mikroprozessors für die verschiedensten Regelprozesse. Aus verschiedenen Gründen wird sich die technisch durchaus mögliche Verknüpfung mehrerer Regelvorgänge in einem zentralen Steuerungsrechner kaum verwirklichen lassen. Vorteilhaft sind modulare Anwendungen, bei denen für jede Regelung ein eigener Mikroprozessor eingesetzt wird.

Anzeige von berechneten Größen	Maschinenüberwachung	selbst. Steuerung von Einzelfunktionen
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geschwindigkeit</li> <li>- Wegstrecke</li> <li>- Flächenleistung</li> <li>- Erntemengen</li> <li>- Ernteleistung</li> <li>- Flächenerträge</li> <li>- Siebwind</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Drehzahlabfall</li> <li>- Reinigungsverluste</li> <li>- Abscheideverluste</li> <li>- Füllstand</li> <li>- Temperaturen</li> <li>- Öldruck</li> <li>- Wartungsintervalle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorfahrtregelung</li> <li>- Drehzahlregelung (z.B. Haspel)</li> <li>- Signalübertragungen</li> <li>- Ablaufsteuerungen</li> <li>- Getriebschaltungen</li> <li>- Wendemanöver</li> <li>- programmierte Einstellungen</li> </ul>

Bild 11. Aufgaben für die Mikroelektronik in Erntemaschinen.

Wegen der geringen Stückzahlen im Landmaschinenbau müßte es das Ziel sein, auf einer einheitlichen Hardware jeweils mit veränderten Programmen die Regler für verschiedene Einzelfunktionen zu realisieren, also gleiche Hardwaremodule einzusetzen, die per Software den jeweiligen Anforderungen angepaßt werden. Das bedeutet eine konsequente Weiterentwicklung der Modulbauweise, die bei der konventionellen Elektronik, Bild 12, hinsichtlich der Gehäuse und Steckeranschlüsse zum Teil schon verwirklicht ist. Das Bild zeigt einen solchen Elektronikträger eines Feldhäckslers und soll die Modulbauweise verdeutlichen, wobei hier noch keine Mikroprozessoren enthalten sind.

In Zukunft könnten aber standardisierte Regelprozessoren, jeweils mit einem unterschiedlichen Programm bestückt, die eben angesprochenen Funktionen wie Drehzahlregelung, Getriebschaltungen und Ablaufsteuerungen übernehmen.

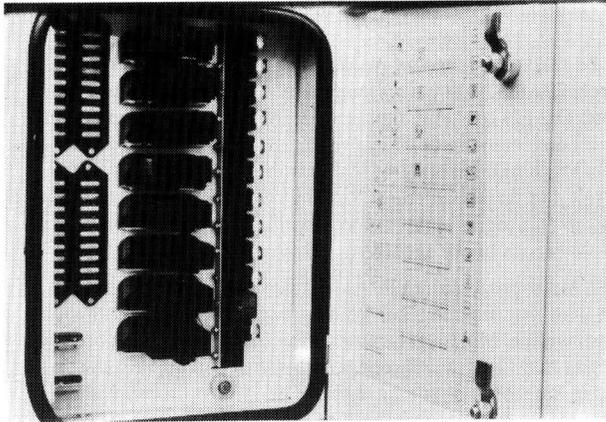


Bild 12. Beispiel der Modulbauweise mit konventioneller Elektronik.

### 3.2 Bordcomputer

Zur Zeit konzentriert sich die Entwicklung der Bordinformationssysteme darauf, Informationen für den Fahrer aufzubereiten und ihm damit weitere Informationen zu geben.

Den grundsätzlichen Hardwareaufbau eines solchen Bordinformationssystems zeigt Bild 13.

Auf einer Platine, etwa unter der Tastatur und der Anzeige untergebracht, befinden sich alle Bauteile eines kompletten Mikrocomputers.

Dazu gehören:

- der Mikroprozessor selbst, das ist der wichtigste Baustein, der jedoch von den Kosten mittlerweile nur einen kleinen Teil beansprucht,
- eine Dekodierlogik, welche die Daten für den Mikroprozessor aufbereitet,
- ein Speicherbereich für veränderliche Daten (RAM), der unabhängig vom Bordnetz mit einer Batterie zu versorgen ist,
- ein Speicherbereich, der nicht im Gerät gelöscht werden kann (EPROM), und
- eine Uhrenfunktion für Zählvorgänge (TIMER).

All diese Bausteine kommunizieren miteinander über verschiedene Gruppen von Leitungen, den sogenannten Bus für Daten, Adreß- und Steuerinformationen.

Mit dem Bus ebenfalls verbunden ist die PIO (Peripherie-Input-Output-Einheit). Sie sorgt für die Verbindung des Computers zur Außenwelt, z.B. steuert sie den Controller für die LCD-Anzeige an (LCD = Liquid Cristal Display). Aber auch alle Verbindungen zur Tastatur und zu den Sensoren und Aktuatoren laufen über eine solche PIO.

In Bild 14 ist die ausgeführte Platine des besprochenen Bordcomputers dargestellt. Sie enthält alle elektronischen Bauelemente, wie die Flüssigkristall-Anzeige und die Träger für die integrierten Schaltkreise. Diese Hardware für einen Bordcomputer ist im Prinzip universell einsetzbar, sie mußte jedoch zunächst für die Anforderungen auf den landwirtschaftlichen Fahrzeugen neu entwickelt werden.

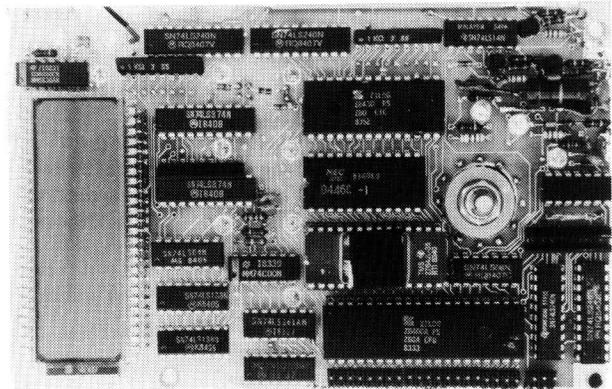
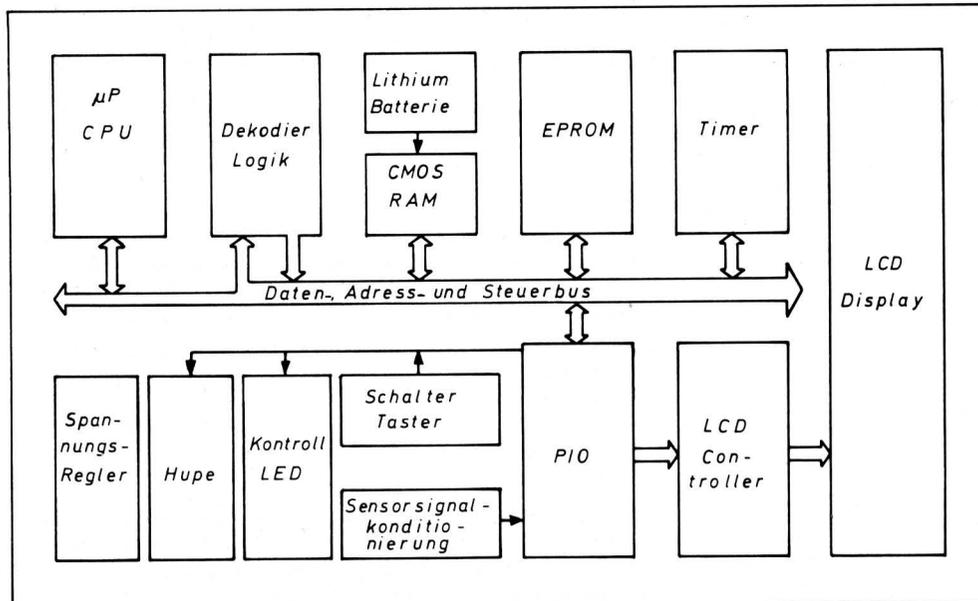


Bild 14. Bestückung der Platine für ein Bordinformationssystem.

Der Entwicklung von Programmen und dem Test der Hardware dienen entsprechend eingerichtete Arbeitsplätze, Bild 15. Dieses Entwicklungssystem ist ein eigener Computer mit Tastatur, Bildschirm und Diskettenspeichern. Hier kann das Programm für den zu entwerfenden Rechner, z.B. für den besprochenen Bordcomputer, eingegeben, verändert und abgespeichert werden. Rechts neben der Tastatur befindet sich das Gerät zum Übertragen der Programme in ein Speicher-IC. Ein derartiger Speicherbaustein, ein sog. EPROM, läßt sich durch ultraviolettes Licht löschen und mit diesem Gerät wieder neu beschreiben. Der so mit einem neuen Programm versehene Speicherbaustein kann dann dem Sockel rechts am Gerät entnommen und in den entsprechenden Sockel z.B. des Bordinformationssystems gesteckt werden.



Der hier vorgestellte Bordcomputer ist auf die Anforderungen von Lohnunternehmern zugeschnitten.

Bild 13. Hardwareaufbau eines Bordinformationssystems.

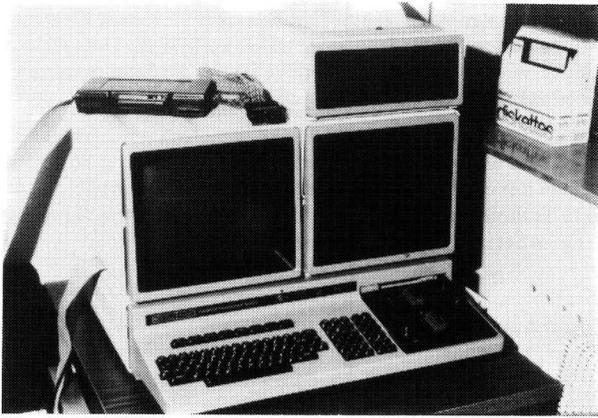


Bild 15. Entwicklungsplatz für Mikroelektronik.

### 3.3 Bestimmung der Kornmenge (Quantimeter)

Beim Mähdrescher ist eine zentrale Größe, die der Landwirt wissen möchte, die Menge des geernteten Getreides. Für die Erfassung dieser Größe wurde ein Sensor entwickelt, der kontinuierlich den in den Korntank gelangenden Körnerstrom erfaßt. Prinzipiell ist ja eine exakte Massenbestimmung auf einem fahrenden Mähdrescher sehr schwierig: Durchlaufwaagen oder Prallplattensysteme sind problematisch wegen der auftretenden Fahrzeugschwingungen, Zellenradschleusen sind sehr aufwendig und können zu erheblichen Störungen des Materialflusses führen.

Die in Bild 16 dargestellte Volumenmessung mittels einer Lichtschranke im Kornelevator stört den Materialfluß nicht und ist besonders einfach aufgebaut. Im oberen Teil des Elevators mit Elevatorkette und -paddel, die das Getreide nach oben in den Korntank fördern, ist eine Lichtschranke angeordnet, deren Strahlen quer durch den Elevator fallen. Damit wird die Höhe des auf dem Elevatorpaddel liegenden Getreides in einen zeitlichen Impuls umgeformt. Das Verhältnis von Hell- und Dunkelzeit, kombiniert mit einer theoretischen Fördermenge, wird mit Hilfe des Mikrorechners nach einer Eichkurve bewertet und angezeigt, z.B. in t/h.

Ein zweiter Sensor zählt die Radumdrehungen und erfaßt so die zurückgelegte Wegstrecke. Mit diesen beiden Größen Weg und Erntevolumen läßt sich eine Fülle von Erntedaten ermitteln.

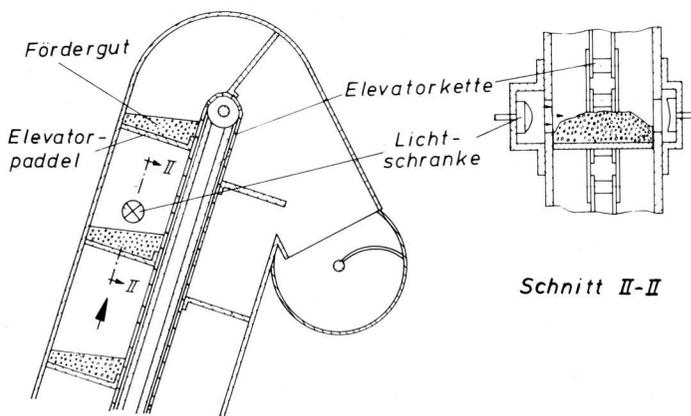


Bild 16. Sensor zur Erfassung des Körnerstroms im Elevator des Mähdreschers.

Bild 17 zeigt einen vorhandenen Standardmikrorechner, der für diese Zwecke umprogrammiert wurde. Dieses Versuchsmodell hat eine 4stellige Digitalanzeige und einen Drehknopf zum Einstellen der verschiedenen Funktionen.

Damit läßt sich einmal die geerntete Gesamtmenge abrufen, die nur mit einer besonderen Vorrichtung gelöscht werden kann. Eine zweite Schaltstellung wäre für eine Teilmenge nützlich, z.B. für den Erntetag. Mit der von dem zweiten Sensor erfaßten Wegstrecke können die Fahrgeschwindigkeit und die Erntefläche berechnet werden. Aus Fläche und geernteter Menge läßt sich der flächenbezogene Ertrag in t/ha ableiten. Diesen könnte man ausgeben als Momentanwert und als Durchschnittswert. Mit dem Momentanwert kann man somit während der Ernte an jeder Stelle des Feldes feststellen, wie sich unterschiedliche Bodenbeschaffenheit und Düngung auf den Ertrag ausgewirkt haben.

Die Nutzung des Mikroprozessors als sinnvolles Hilfsmittel zur Bereitstellung von wichtigen Ernteinformationen hängt sehr stark davon ab, ob derartige Sensoren, wie der vorgestellte Sensor für die Kornmenge, verfügbar sind.

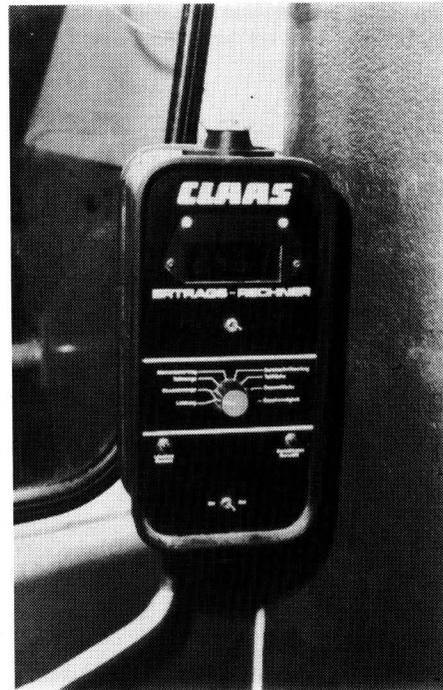


Bild 17. Computer zur Auswertung des Signals für die geerntete Körnermenge; z.B. Ermittlung der in verschiedenen Zeitabschnitten geernteten Kornmasse und des flächenbezogenen Ertrages.

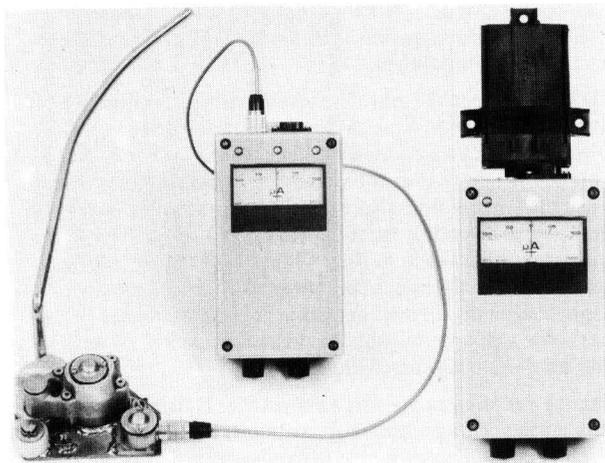
## 4. Service

Neben dem Fehlen entsprechender Meßwertaufnehmer und Stellglieder ist ein zweiter Grund, weshalb nicht kurzfristig alle Elektronik in Mikroelektronik umgestellt werden wird, in der Betriebssicherheit und dem Service draußen auf dem Feld zu sehen.

Zur Zeit sammelt man mit dieser neuen Technologie Erfahrungen in Hinsicht auf:

- Handhabung
- Schutz vor schädlichen Einflüssen, z.B. aus dem Bordnetz
- Wartungsprobleme, wie Prüfbarkeit der Funktionen und Schulung der Kundendienstmitarbeiter.

Die Problematik ist klar, denn die Einführung der herkömmlichen Elektronik im Landmaschinenbau liegt noch nicht sehr weit zurück. Schon damals war der Kundendienst mit geeigneten Prüf- und Meßgeräten auszurüsten.



**Bild 18.** Meßgerät für den Test von Komponenten; links bei der Prüfung eines Tasters, rechts bei der Prüfung eines Drehzahlschalters.

Bild 18 zeigt ein Universalmeßgerät für mehrere Elektronikkomponenten, an das sich über Adapterkabel z.B. die Taster für die Lenkautomatik anschließen lassen (links im Bild). Über einen wei-

teren Normstecker lassen sich mit dem gleichen Testgerät Elektronikmodule prüfen. Beispielsweise ist rechts im Bild ein Drehzahlwächter zu sehen, für den z.B. zu prüfen ist, ob die Schalterpunkte für die einzelnen Drehzahlen richtig eingestellt sind.

Wie gut eine neue Technologie im Markt akzeptiert wird, hängt sehr stark von der Schulung der Kundendienstmitarbeiter ab. Selbst eine mit einem enormen Entwicklungsaufwand erreichte perfekte Technik kann scheitern, wenn eine ausreichende Unterstützung im Service nicht gegeben ist.

## 5. Zusammenfassung

Dieser Beitrag kann nur die Schwerpunkte der Automatisierung am Mährescher aufzeigen. Ein großer Teil der Elektrikkomponenten für Anzeige, Überwachungs- und Warninstrumente bleibt unerwähnt. Trotzdem wird ein Eindruck vermittelt, welchen Umfang die Elektronik und die Automatisierung an Mähreschern mittlerweile einnimmt. All diese Entwicklungen sind bekanntlich in den letzten 12 Jahren entstanden. Es werden einerseits laufend weitere Aufgaben mit Hilfe der Elektronik gelöst, und andererseits werden bekannte Anwendungen, die zunächst nur wenigen Topmodellen vorbehalten waren, auf immer mehr Typen übertragen.

Dies erklärt den stark wachsenden Anteil der Elektronik im Mährescher. Dabei kann die Elektronik aber eine einfache und robuste konstruktive Lösung niemals ersetzen, sondern sie muß diese in sinnvoller Weise ergänzen.

# Darstellung der an rotierenden Bodenbearbeitungswerkzeugen mit horizontalen Drehachsen wirkenden Kräfte und Drehmomente

Von Wolf-Dieter Kalk und Otto Bosse, Müncheberg\*)

DK 631.31:531.2

Zu den Kräften und Drehmomenten, die bei der Verdichtung und Zerkleinerung des Bodens mit rotierenden Werkzeugen wirken, fehlte eine allgemeingültige Aussage. Für rotierende Werkzeuge mit horizontalen Drehachsen werden die vom Werkzeugschlupf abhängigen Antriebsarten und Wirkungsarten definiert und allgemeingültige Gleichungen abgeleitet, die für die Berechnung zu ermittelnder Kräfte und Drehmomente anhand meßbarer und bekannter Größen geeignet sind. Wegen der — verglichen mit Rädern — veränderten Kräfte zwischen Werkzeug und Boden wird die Umfangskraft durch die Stützkraft, der Rollwiderstand durch die Widerstandskraft ersetzt. Die Größe der Stützkraft und der Widerstandskraft ist bei rotierenden Werkzeugen mit horizontalen Drehachsen kleiner als bei äquivalenten Rädern.

\*) Dr.-Ing. W.-D. Kalk und Dr. agr. O. Bosse sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg (Direktor: Prof. Dr. sc. P. Kundler) der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR.

## 1. Einleitung

Das Schrifttum bietet zahlreiche Abhandlungen über die Energieumsetzung bei rotierenden Werkzeugen mit horizontalen Drehachsen [z.B. 1 bis 5]. Ergebnis der Arbeiten ist in der Regel der Nachweis eines besseren Wirkungsgrades der Energieübertragung zwischen Schleppermotor und Bodenbearbeitungswerkzeug bei den mittels Zapfwelle angetriebenen rotierenden Werkzeugen gegenüber gezogenen Werkzeugen.

Eine erweiterte Aussage ist in der Arbeit von *Konzack* [6] enthalten. Er behandelt die Änderung der Energiebilanz rotierender Werkzeuge zur Verdichtung und Zerkleinerung des Bodens in Abhängigkeit vom Schlupf und bezieht sowohl den Bereich negativen als auch den Bereich positiven Schlupfes ein, **Bild 1**. Grundlage der von ihm gefundenen Beziehungen ist die Veränderung der am Werkzeug wirkenden Kräfte sowie des Drehmomentes in Abhängigkeit vom Schlupf. Dazu aber liegen im Schrifttum widersprüchliche Ergebnisse vor [7, 8].

Ziel der Untersuchungen war deshalb, eine eindeutige Darstellung der bei unterschiedlichem Werkzeugschlupf an rotierenden Werkzeugen zur Verdichtung und Zerkleinerung des Bodens wirkenden Kräfte und Drehmomente sowie der Angriffspunkte der Kräfte abzuleiten.