

Ein Bordcomputerkonzept für Schlepper und angekoppelte Geräte zur Optimierung landwirtschaftlicher Produktionsprozesse

Von Gerhard Jahns und Hermann Speckmann,
Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft,
Braunschweig-Völkenrode

DK 631.372:681.518

Zur Optimierung landwirtschaftlicher Produktionsprozesse finden zunehmend elektronische Hilfsmittel Verwendung. Diese — ein bekanntes Beispiel sind Verlustmonitore für das Mähreschen — werden zur Zeit als Einzweckgeräte für spezielle Arbeitsverfahren angeboten. Für die Optimierung der Funktionen von vielseitig einzusetzenden Maschinen wie z.B. dem Ackerschlepper mit unterschiedlichen Arbeitsgeräten ist ein universelles Bordcomputersystem mit der Möglichkeit zum Austausch von Meß- und Regelgrößen zwischen Schlepper und Gerät sowie zur Speicherung betriebswirtschaftlicher und betriebstechnischer Daten vorzuziehen. Ein solches universelles Informations-, Steuer- und Regelsystem vermeidet eine unnötige Mehrfachausrüstung mit Meßwertaufnehmern, Stellgliedern und Rechnerkapazität, da deren Funktionen für die verschiedenen Arbeitsverfahren einzusetzen sind. Im folgenden wird das Konzept für ein derartiges Bordcomputersystem vorgestellt.

1. Einleitung

Die sich ständig verschärfenden Rahmenbedingungen zwingen in der landwirtschaftlichen Produktion neben anderen Maßnahmen auch dazu, die Produktionsabläufe nach unterschiedlichen Gesichtspunkten zu optimieren. Allem voran die wirtschaftlichen Bedingungen machen es erforderlich, bei den gegebenen Verhältnissen den Aufwand u.a. für variable Produktionsmittel ertragsbezogen herabzusetzen.

In die gleiche Richtung zielen die Forderungen nach besserem Umweltschutz, wonach Pflanzenbehandlungs- und Düngemittel so sparsam wie möglich zu verwenden sind, um Belastungen von Luft, Wasser und Boden gering zu halten oder auszuschließen.

Auch aus der Energiebilanz der landwirtschaftlichen Produktion ist abzuleiten, daß der Aufwand an variablen Produktionsmitteln, die einen starken Einsatz von fossiler Energie beinhalten wie beispielsweise N-Dünger, Pflanzenbehandlungsmittel und Kraftstoffe, eingeschränkt bzw. optimiert werden sollte.

Andererseits wird aus Wettbewerbsgründen eine immer bessere Produktqualität angestrebt, und die erfordert eine entsprechende Verbesserung der Arbeitsverfahren und der Arbeitsausführung. Es sind mithin die verschiedensten Gründe, die eine Fortentwicklung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren veranlassen,

*) Dr.-Ing. G. Jahns und Dipl.-Ing. H. Speckmann sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

wobei der Bestimmung, Überwachung und Einstellung der jeweilig optimalen Produktionsbedingungen zunehmende Bedeutung zukommt. Hierfür sind mit steigender Komplexität und Arbeitsgeschwindigkeit immer vielfältigere Steuer-, Regel- und Überwachungsaufgaben zu bewältigen.

Da der Mensch für die Überwachung vieler Betriebsgrößen und Betriebsabläufe keine oder nur wenig geeignete Sinnesorgane hat und hinsichtlich der parallelen Kontrolle verschiedener Größen eingeschränkt ist, wird er zunehmend überfordert und somit zum begrenzenden Faktor. In ähnlichen Situationen werden heute im industriellen und privaten Bereich elektronische Hilfsmittel mit Erfolg eingesetzt. Ausschlaggebend dafür sind die Möglichkeiten der Elektronik, Informationen zu erfassen, zu speichern und mit großer Geschwindigkeit zu verarbeiten.

Das Vermögen, Informationen zu speichern, ständig verfügbar zu halten bzw. durch neue zu ersetzen oder zu ergänzen, eröffnet die Möglichkeit, Forschungsergebnisse und bisher nur spezialisierten Betrieben verfügbares Know-How in Form von Programmen auch in Klein- und Mittelbetriebe zu übertragen und für sie nutzbar zu machen.

Diese Möglichkeiten der Elektronik, verbunden mit geringen Kosten, steigender Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit ihrer Bauelemente, führen auch in der Landwirtschaft zu einem zunehmenden Einsatz der Elektronik, wenn es darum geht, Arbeitsprozesse durch eine verbesserte Informationsverarbeitung zu optimieren.

2. Elektronische Geräte in der Landwirtschaft

Die derzeit für die Landwirtschaft angebotenen elektronischen Geräte zur Regelung bzw. Optimierung sind i.a. Einzweckgeräte, d.h. für jeden Arbeitsprozeß wie beispielsweise Pflügen, Säen, Düngen, Pflanzenschutz usw. ist ein spezielles elektronisches Gerät vorgesehen. Da diese Geräte als selbständige Einheiten ausgeführt sind, sind sie nicht in der Lage, Daten und Informationen untereinander auszutauschen. Jedes dieser Geräte muß also alle für seinen Betrieb erforderlichen Meßgrößen selbst messen — unabhängig davon, ob ein oder sogar mehrere andere Geräte dieselbe Größe ebenfalls messen bzw. messen können. Die Folge sind unnötige Mehrfachausstattungen und Kosten. Dieser generelle Mangel ist sowohl bei elektronischen Geräten der Innenwirtschaft als auch bei denen der Außenwirtschaft zu beobachten.

Ackerschlepper sind Mehrzweckgeräte, die im Betriebsablauf in Kombination mit Anbau- und Anhängegeräten für sehr unterschiedliche Arbeiten eingesetzt werden. Nahezu für alle vorkommenden Tätigkeiten werden heute elektronische Hilfsmittel angeboten, die den Fahrer entlasten und einen optimalen Arbeiterfolg ermöglichen sollen. Dies können Monitore der verschiedensten Art sein, die es dem Fahrer erlauben, von seinem Arbeitsplatz aus Betriebsabläufe zu überwachen und in diese einzugreifen, oder es können Regler sein, die bestimmte Betriebsgrößen selbsttätig auf einem vom Fahrer vorgegebenen Sollwert halten.

Merkmal dieser Geräte ist, daß sie Einzeckgeräte mit einer eng begrenzten Funktion sind und daß sie nicht Bestandteil von Fahrzeug oder Gerät, sondern als Zubehör für diese ausgeführt sind. Das hat zwar den Vorteil, daß diese elektronischen Geräte unabhängig von der übrigen elektronischen Ausrüstung des Fahrzeuges eingesetzt werden können. Es hat aber den Nachteil, daß jedes dieser Einzeckgeräte mit eigenen Eingabelementen, Anzeigen, Meßwertaufnehmern, Stellgliedern und Stromversorgungen ausgerüstet und in einem eigenen Gehäuse untergebracht werden muß. Dies bedeutet unnötige Mehrfachausstattungen und vermeidbare Kosten.

Würde man auch nur einen Teil der für den Ackerschlepper und seine Geräte angebotenen elektronischen Hilfsmittel installieren, so würde die Sicht des Fahrers durch die Anzeige- und Eingabelemente unzumutbar behindert und er selbst wahrscheinlich kaum Platz in der Kabine finden. Die Fotomontage, Bild 1 links, zeigt maßstäblich einige der heute auf dem Markt befindlichen Geräte. Die zum Anschluß dieser Geräte erforderlichen und z.T. recht voluminösen Kabelbäume sind hier nicht wiedergegeben. Ein Ein- und Ausbau beim Wechsel der Arbeitsgeräte ist bei den meisten Geräten mit erheblichem Zeitaufwand verbunden oder vom Landwirt oft selbst nicht durchführbar.

Bei einem derartigen Cockpit auf Rädern kann von einer Entlastung des Fahrers durch elektronische Hilfsmittel keine Rede mehr sein. Seine Aufmerksamkeit für den jeweiligen Arbeitsvorgang wird durch die Vielzahl von Anzeigen, Schaltern und Einstellknöpfen eingeschränkt.

Es hat in der Vergangenheit auch in anderen Bereichen der Technik ähnliche Entwicklungen gegeben. Die Leitstände von Kraftwerken, chemotechnischen Großanlagen oder — besonders ausgeprägt — die Cockpits von Flugzeugen sind Beispiele dafür. Auch hier waren im Laufe der technischen Entwicklung immer mehr Teilsysteme

mit den dazugehörigen Meß- und Stellgliedern, Bedienelementen und Anzeigen eingebaut worden. Damit wurde das Gesamtsystem für den Benutzer immer unübersichtlicher, schwerer zu durchschauen und schließlich nur noch nach ausgiebiger Schulung zu betreiben.

Dieser Zustand änderte sich durch die Entwicklung der Prozeßrechner. Sie ermöglichten ein Zusammenfassen verschiedener Funktionen der bisher isolierten Einzelsysteme und eine ergonomische Systemgestaltung derart, daß dem Betreiber nur noch die für seine augenblickliche Aufgabe relevante Information dargestellt wurde.

Infolge der hohen Investitionskosten fanden die Prozeßrechner als universelle Meß- und Regelsysteme jedoch nur in großtechnischen Anlagen Eingang. Die Entwicklung der Mikroelektronik hat aber die Kosten für erforderliche Rechnerkapazität sowie für die Peripheriegeräte auf der Prozeß- und Benutzerseite erheblich reduziert, so daß mikrorechnergestützte Prozeßsteuerungen auch zunehmend in kleinen Anlagen und in einzelnen Maschinen wirtschaftlich eingesetzt werden können.

Im folgenden wird am Beispiel des Ackerschleppers dargestellt, wie durch ein die Mikroelektronik nutzendes universelles Informations- und Regelsystem, ein Bordcomputersystem, die Nachteile elektronischer Einzecksysteme vermieden werden können. Das vorgestellte System ist modular aufgebaut. Der Datenaustausch erfolgt über einen gemeinsamen Datenkanal. Der modulare Aufbau bietet den Vorteil, die elektronische Ausrüstung jeweils den Erfordernissen des Arbeitsprozesses, der Schlepper-Geräte-Konfiguration und den Wünschen des Landwirts anzupassen. Um die dafür konzipierten einzelnen Modulen jederzeit, also auch nachträglich, an das Informations- und Regelsystem an- und von diesem abkoppeln zu können, muß die Schnittstelle zu diesem Datenkanal kompatibel sein.

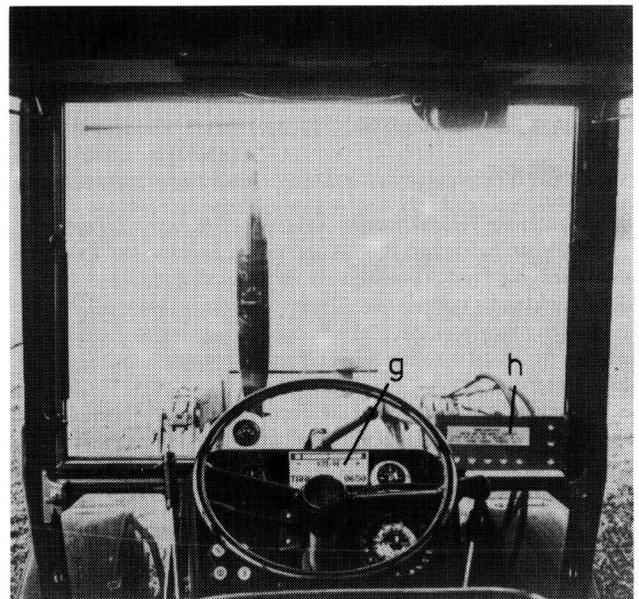
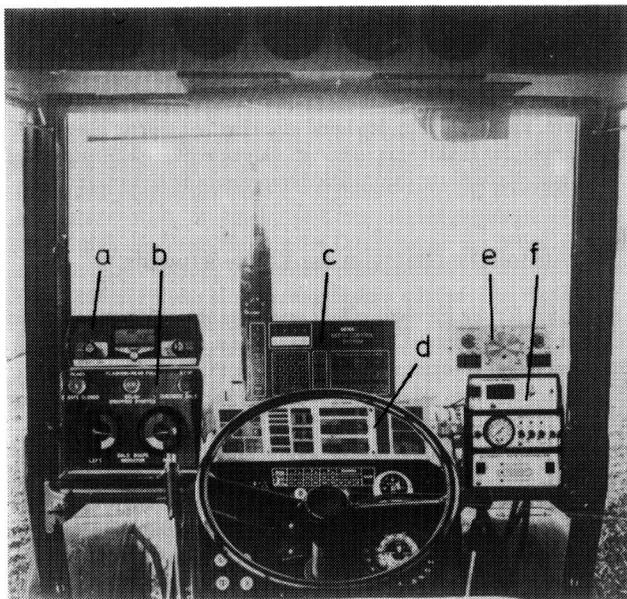


Bild 1. Elektronische Ausrüstung von Schleppern; links: mit herkömmlichen Einzeckgeräten, rechts: mit universellem Informations- und Regelsystem.

- a Fahrgeschwindigkeits- und Leistungsmonitor (Dickey John)
- b Großballenmonitor (John Deere)
- c Tiefenregelung für gezogene Geräte (Senstek)
- d Drill- und Saat-Monitor (Kirchberger)
- e Hubwerksregelung (Bosch)
- f Spritzregler und -monitor (SED)
- g Zentrale Anzeige, grafikfähiges Display
- h Dialogeinheit; Anzeige: 4 x 40 Zeichen, Eingabe: 3 Tasten und 5 Softkeys

3. Anforderungen an ein Informations- und Regelsystem für landwirtschaftliche Fahrzeuge

Die Möglichkeit der Mikroelektronik, Informationen zu erfassen, zu speichern und zu verarbeiten, bieten die Voraussetzung für eine optimale Prozessführung auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen bei gleichzeitiger Entlastung des Fahrers. Dabei wird man aufgrund der menschlichen Fähigkeiten vorzugsweise sehr schnelle Regelvorgänge automatisieren und solche, die eine ständige Überwachung erfordern, und diese auch dann, wenn eine Reaktion nur sehr selten notwendig wird. Seltene Ereignisse oder Grenzwerte, die die quantitative Erfassung komplexer physikalischer oder entfernt auftretender Betriebsparameter oder -vorgänge erfordern, sollten durch die Elektronik überwacht und nur bei Bedarf oder auf Abruf dem Fahrer angezeigt werden. Es ergeben sich somit zwei prinzipielle Lösungswege:

- Die automatische Ausführung bisher vom Fahrer durchgeführter Kontroll- und Regelaufgaben.
- Die Entlastung des Fahrers bei seinen Regel- und Kontrollaufgaben durch die Erfassung, Verarbeitung und geeignete Darstellung der für seine Entscheidungen wichtigen Betriebsparameter.

Welcher Lösungsweg im Einzelfall beschränkt wird, hängt außer von technischen Gesichtspunkten von einer Vielzahl anderer, vor allem ergonomischer Gesichtspunkte ab. Sicher wird ein integriertes Informations- und Regelsystem für Ackerschlepper sowohl den Fahrer durch entsprechend aufbereitete Informationen unterstützen als auch bestimmte Vorgänge automatisch erledigen müssen. Sollen dabei die Nachteile und Mängel der Einzweckgeräte vermieden werden, muß ein solches System folgende Merkmale aufweisen:

1. An die Stelle vieler Anzeigeeinstrumente tritt ein zentrales Anzeigenfeld, das dem Fahrer in Abhängigkeit von dem Arbeitsprozeß nur die jeweils relevanten Informationen nach entsprechender Datenreduktion darstellt.
2. An die Stelle der Vielzahl einzelner Hebel, Knöpfe und Tasten der elektronischen Meßeinrichtungen tritt eine universelle Ein-/Ausgabereinheit oder Dialogstation.
3. Der Austausch von Informationen und Daten im gesamten System wird durch einen standardisierten Datenkanal ermöglicht.

Durch die Standardisierung des Datenkanals werden Mehrfachausrüstungen mit Sensoren, elektronischen Schaltungen und Stellgliedern, wie sie bei einer Lösung mit Einzweckgeräten unumgänglich sind, vermieden. Einmal gemessene Betriebsgrößen stehen allen Systemen zur Verfügung. Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn der technische Aufwand für die Messung einer Betriebsgröße hoch ist, wie beispielsweise bei der Messung der Fahrgeschwindigkeit, die für die Optimierung vieler Arbeitsvorgänge als wichtigste Einflußgröße und bei den Verteilprozessen – insbesondere im Pflanzenschutz – als Leitgröße anzusehen ist.

Auch die Ansteuerung ein und desselben Stellgliedes wird so von unterschiedlichen elektronischen Geräten aus ohne aufwendige Umschaltung oder gar Umrüstung möglich. So könnte z.B. die Lage des Unterlenkers beim Pflügen durch das Pflugregelsystem und beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln zur Höhenregelung des Spritzbalkens durch den Spritzregler eingestellt werden. Auch Geräte (Feldspritzen, Rübenroder, Ladewagen usw.) unterschiedlicher Hersteller und Bauart ließen sich ohne Umrüstung anschließen. Außerdem wäre das System für Erweiterungen, wie z.B. für zukünftige noch nicht definierte Aufgaben und Geräte, offen.

4. Entwurf eines Informations- und Regelsystems

Das Blockschaltbild in Bild 2 zeigt das Schema eines den zuvor genannten Forderungen entsprechenden Informations- und Regelsystems. Der zentrale Rechner oder Bordcomputer kontrolliert das Gesamtsystem. An ihn sind die zentrale Anzeige und die Dialogstation zur Kommunikation mit dem Fahrer sowie verschiedene Untersysteme angeschlossen. Er kontrolliert auch den Datenverkehr auf dem standardisierten Datenkanal, der hier als "serieller Bus" bezeichnet ist.

Die zentrale Anzeige dient ausschließlich zur Darstellung der für den jeweiligen Arbeitsprozeß wesentlichen Informationen. Sie sollte daher auch im unmittelbaren Blickfeld des Fahrers angeordnet sein, beispielsweise wie g in Bild 1 rechts.

Alle Betriebsparameter, die der Fahrer nur sporadisch oder im Störfall kontrolliert, wie Öldruck, Kühlmitteltemperatur oder Tankfüllungen, werden nicht angezeigt, solange sie innerhalb vorgegebener Grenzwerte liegen. Erst wenn diese Grenzwerte überschritten werden und ungewollte oder gefährliche Betriebszustände eintreten, wird die entsprechende Information – u.U. mit zusätzlichen Handlungsanweisungen – in die zentrale Anzeige einblendend.

Dabei können besonders bei gefährlichen Betriebszuständen auch noch zusätzliche optische oder akustische Warnsignale vom Bordcomputer ausgelöst werden. Da die in der zentralen Anzeige darzustellenden Informationen sehr unterschiedlich sind, erscheint es zweckmäßig, ein grafikfähiges Display zu verwenden, mit dem sich alphanumerische Zeichen und grafische Darstellungen der verschiedensten Art und Größe einfach wiedergeben lassen.

Für den Dialog zwischen Benutzer und Rechner dient eine Dialogstation. Sie sollte im unmittelbaren Griff- und Sichtbereich des Fahrers liegen. Mit ihrer Hilfe kann der Fahrer vor allem vor Arbeitsantritt die für den jeweiligen Arbeitsablauf erforderlichen Grenz- und Sollwerte eingeben. Er kann aber auch wahlweise beliebige Betriebsparameter gezielt abfragen.

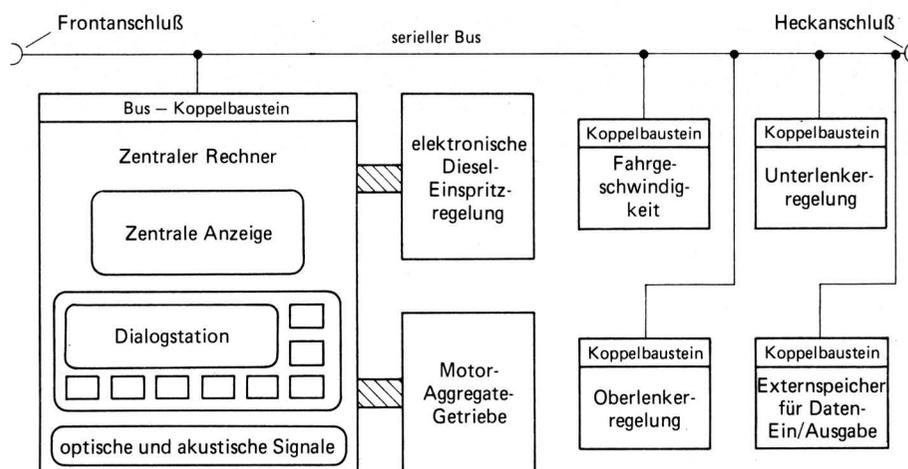


Bild 2. Schema eines universellen Informations- und Regelsystems.

Für die Datenausgabe der Dialogstation genügt eine kostengünstigere alphanumerische Anzeige. Um die Zahl der Eingabetasten gering zu halten, kann eine Mehrfachbelegung der Tasten nach dem Prinzip der Softkeys erfolgen. Hierbei wird die jeweilige Funktion der einzelnen Tasten durch das Programm, die Software, festgelegt und nach Bedarf geändert. Welche Bedeutung die einzelnen Tasten jeweils haben, wird auf einem Feld über jeder Taste angezeigt.

Der Dialog zwischen Mensch und Maschine kann durch eine sog. Menüführung vereinfacht werden. Hierbei gibt der Rechner dem Anwender Hinweise zur Eingabe von Daten und zur Fortführung des Programmes. Damit ist auch ein ungeübter Benutzer in der Lage, den Bordcomputer einzusetzen, ohne zuvor Handbücher und Bedienungsanleitungen studieren zu müssen.

Bild 2 läßt erkennen, daß an den Bordcomputer außerdem zwei Arten von elektrischen Untersystemen angeschlossen sind. Nämlich solche, die fester Bestandteil des Schleppers sind, und solche, die wahlweise angeschlossen werden. So ist beispielhaft unterstellt, daß die elektronische Dieseleinspritzregelung und die Meßwertaufnehmer und Signalgeber zur Überwachung von Motor, Getriebe und anderen Aggregaten direkt an den Bordcomputer angeschlossen sind. Bei diesen Baugruppen, die Bestandteile des Schleppers sind, sollte es dem jeweiligen Hersteller überlassen bleiben, wie er diese Baugruppen datentechnisch untereinander verbindet.

Anders ist dies bei elektronischen Baugruppen, die wahlweise anschließbar sind, nachgerüstet werden sollen oder sich auf den Anbaugeräten befinden. Da diese von unterschiedlichen Herstellern des internationalen Landmaschinenmarktes stammen können, ist für ihren problemlosen Anschluß an den Bordcomputer ein standardisierter Datenkanal mit einer definierten kompatiblen Schnittstelle erforderlich. In Bild 2 ist dieser Datenkanal als serieller Bus bezeichnet, und an ihn sind beispielhaft eine Baugruppe zur Messung der Fahrgeschwindigkeit sowie je eine Regeleinheit für den Ober- und den Unterlenker und ein Speicher zur Protokollierung der Betriebsdaten angeschlossen.

In diesem Speicher können Betriebsdaten wie z.B. die Flächenleistung, Betriebs- und Arbeitszeiten, Betriebsmittelverbrauch usw. protokolliert werden. Diese Daten lassen sich dann zu einem späteren Zeitpunkt in einen stationären Rechner des landwirtschaftlichen Betriebes eingeben. Wenn dieser Speicher z.B. in Form einer Magnetkarte ausgeführt ist, kann er nach Abschluß der Arbeiten entnommen und vom stationären Rechner gelesen werden.

Konsequenter wäre es, den stationären Rechner an den für die Arbeitsgeräte vorgesehenen Datenanschluß anzuschließen und so einen direkten Datenaustausch mit dem Bordcomputer zu ermöglichen.

Die Verbindung von Bordcomputer und stationärem Rechner eröffnet auch die Möglichkeit der automatischen Wartung und Fehlerdiagnose von Schlepper und Gerät, und sie kann dazu benutzt werden, vor Arbeitsbeginn Betriebsparameter und Sollwerte für den Schlepper, aber auch Nachrichten für den Schlepperfahrer in den Bordcomputer zu übertragen, die dort gespeichert werden.

An diesen seriellen Bus werden über den Heck- und Frontanschluß auch die Meß- und Regelsysteme (Gerätecomputer) der Anbau- und Anhängegeräte wie Feldspritzen, Rübenroder, Ladewagen oder, wie bereits erwähnt, der stationäre Rechner angeschlossen. Auf die Topologie des Datenkanals und die Art der Datenübertragung, die von dem Bordcomputer überwacht und gesteuert wird, soll im folgenden noch näher eingegangen werden.

Den Aufbau eines Gerätecomputers zeigt **Bild 3**. Neben dem Koppelbaustein besitzt er eigene gerätespezifische Sensoren, die Größen auf dem Arbeitsgerät messen. Diese Meßwerte können an den Bordcomputer des Schleppers gesandt und dort weiterverarbeitet oder angezeigt werden. Sie können aber auch mit anderen vom Bordcomputer gelieferten Daten im Gerätecomputer weiterverarbeitet und für die Regelung von Arbeitsabläufen des Gerätes verwendet werden. Dabei haben sich zur Verminderung von Störungen potentialtrennende Ausgabeelemente für den rückwirkungsfreien Anschluß der Stellglieder bewährt.

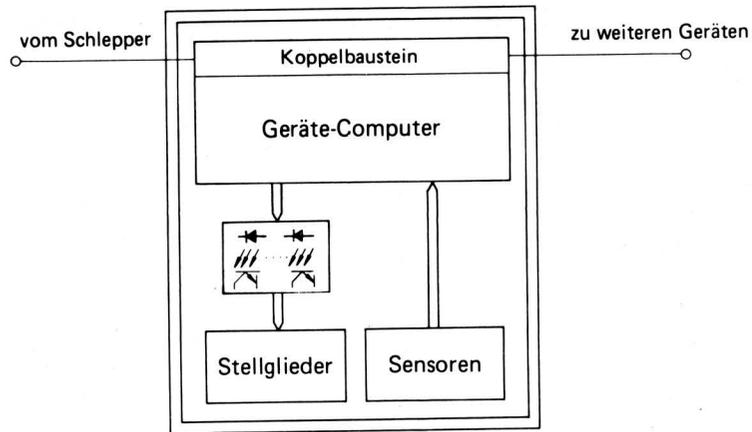


Bild 3. Schematischer Aufbau eines Gerätecomputers mit kompatibler Schnittstelle für den Anschluß an ein universelles Informations- und Regelsystem eines Schleppers und für den Anschluß weiterer Geräte.

5. Möglichkeiten der digitalen Informationsübertragung

Als Bus wird in der Datenverarbeitung allgemein eine Verbindung zwischen zwei oder mehr Systemkomponenten bezeichnet, über die Daten und Informationen in definierter Weise ausgetauscht werden. Die Definition erstreckt sich dabei auf die Hardware und die Software.

Die Hardware umfaßt die mechanische und elektrische Ausführung, d.h. Art und Form der Steckverbinder, die Steckerbelegung, die elektrischen Signalpegel sowie die zeitlichen Spezifikationen der Signale.

Die Software umfaßt den Informationsgehalt hinsichtlich der Codierung der Daten, der Übertragungsprozedur und den Aufbau der Datentelegramme.

Es ist leicht zu erkennen, daß sich aufgrund der großen Zahl dieser Merkmale eine Vielzahl unterschiedlich spezifizierter Bussysteme ableiten läßt. Je nachdem, ob die Daten parallel oder seriell übertragen werden, unterscheidet man parallele oder serielle Bussysteme.

Parallele Konfigurationen werden bevorzugt verwendet für kurze Entfernungen, z.B. innerhalb eines Gerätes. Die Daten, die z.B. aus einem Byte, das entspricht 8 Bit¹⁾, bestehen, werden dabei bitparallel übertragen. Betrachtet man z.B. den Systembus eines Mikrorechners, so umfaßt dieser etwa 30–50 parallele Leitungen.

In dem in **Bild 4** dargestellten Beispiel lassen sich mit 16 Adreßleitungen $2^{16} = 65\,536$ Speicherelemente auswählen. Über die 13 Steuerleitungen werden die einzelnen Systembausteine oder -baugruppen angesprochen. Über den eigentlichen Datenbus mit 8 parallelen Leitungen werden die Nutzinformationen gesendet und empfangen. 4 weitere Leitungen des Systembusses führen die Versorgungsspannungen für die Baugruppen des Mikrorechners.

Der Softwareaufwand für eine parallele Datenübertragung ist relativ gering. Der Vorteil liegt in der hohen Übertragungsgeschwindigkeit von mehreren Millionen Informationen je Sekunde. Diese Übertragungsgeschwindigkeit setzt aber kurze Leitungen voraus. Bereits bei Leitungslängen von nur wenigen Metern verringert sich die Übertragungsgeschwindigkeit erheblich. Außerdem wird für die sichere Übertragung der Daten zusätzlicher Schaltungsaufwand erforderlich. Ein wesentlicher Nachteil der parallelen Datenübertragung über größere Entfernungen ist neben diesem Schaltungsaufwand die große Zahl der erforderlichen Leitungen und Steckverbindungen.

¹⁾ 1 Bit ist die kleinste Informationseinheit in der Datenverarbeitung und stellt den Zustand Null oder Eins im dualen System dar.

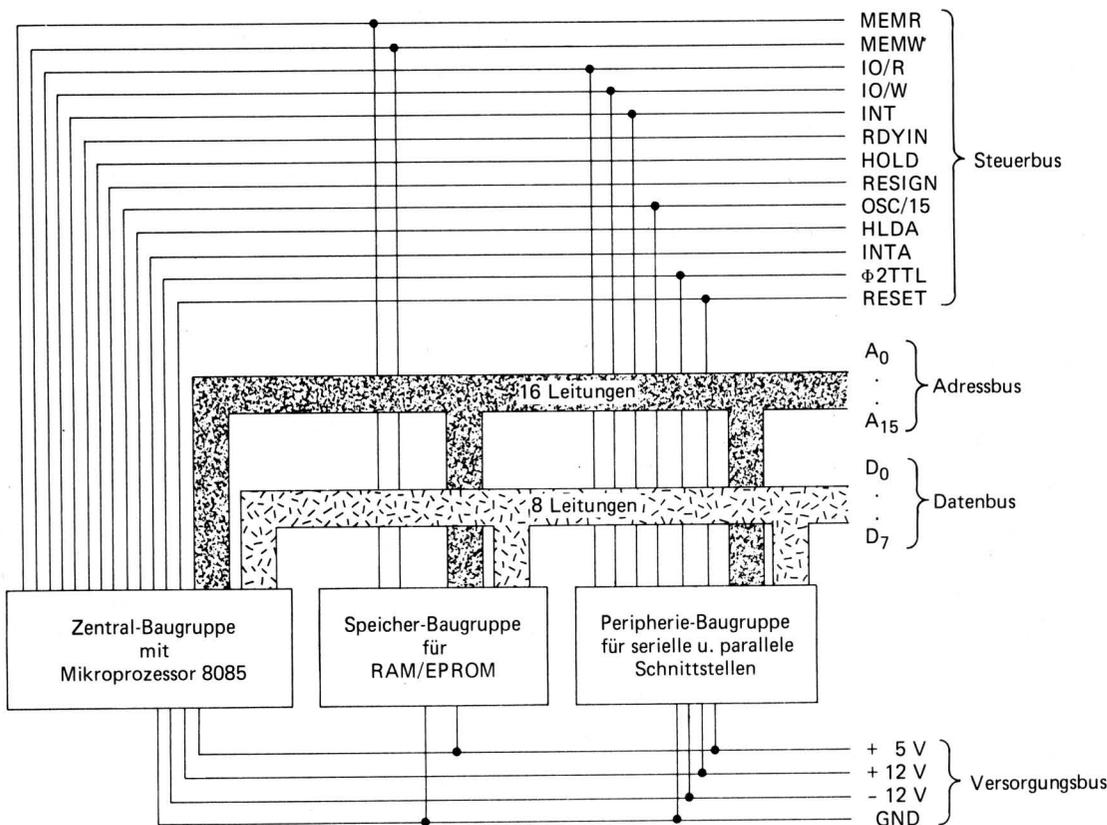


Bild 4. Parallele Datenübertragung eines Mikrorechners.

Für die Datenübertragung über größere Entfernungen bevorzugt man deshalb serielle Datenübertragungssysteme. Hierbei werden die einzelnen Bits und die Steuerzeichen einer Information zeitlich nacheinander seriell über eine Leitung gesendet. Dem höheren Zeitaufwand stehen der Vorteil der geringen Zahl der Datenleitungen und die daraus resultierenden niedrigen Kosten für Leitung und Steckverbindung gegenüber. Im einfachsten Fall werden nur zwei Leitungen, entsprechend der normalen Telefonleitung, benötigt.

Anwendungsbeispiele für eine serielle Datenübertragung sind der Anschluß von Datensichtgeräten an Datenverarbeitungsanlagen oder die Kopplung von Rechnern untereinander. Mit nur wenigen tausend Informationen pro Sekunde sind die herkömmlichen seriellen Datenübertragungen aber um etwa 3 Zehnerpotenzen langsamer als eine parallele Datenübertragung. Der Softwareaufwand zur Übertragung der Daten ist dabei wesentlich höher.

Ein wesentlicher Nachteil der bisherigen parallelen Bussysteme war, daß sie sich nur für eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung eigneten. Die gleichzeitige Anschaltung mehrerer Geräte an eine Schnittstelle war nicht möglich. Neuere serielle Bussysteme erlauben dagegen, mehrere Teilnehmer an den gleichen Bus anzuschließen und einen gezielten Datentransfer zwischen ihnen durchzuführen. Die Übertragungsgeschwindigkeit konnte auf nahezu eine Million Daten je Sekunde gesteigert werden. Allerdings sind hierfür zusätzliche Bauelemente, sogenannte Schnittstellenbausteine, erforderlich, die aber bereits als integrierte Schaltkreise (ICs) kostengünstig von der Elektroindustrie angeboten werden.

Außer den geschilderten parallelen und seriellen Bussystemen gibt es noch verschiedene Sonderformen, z.B. für die Kopplung von Geräten im Nahbereich, wo beispielsweise die Daten parallel übertragen werden und durch eine alternative Nutzung der Leitungen für Daten- und Steuerinformationen die Zahl der Verbindungen reduziert wird. Hierzu zählen Bussysteme wie der IEC-Bus (z.B. IEE488) zur Zusammenschaltung von Meßsystemen im Laborbereich.

6. Anforderungen an die Schnittstellen eines Informations- und Regelsystems für Ackerschlepper

Aus den besonderen Betriebsbedingungen des Datenaustausches eines Informations- und Regelsystems auf landwirtschaftlichen Ackerschleppern, bestehend aus dem zentralen Bordcomputer und den Satellitenrechnern auf den Arbeitsgeräten (Feldspritzen, Ballenpressen, Drillgeräte usw.), ergeben sich einige spezielle Anforderungen für das Bussystem und dessen Schnittstellen:

Da Anbau- und Anhängergeräte häufig an- und abgekoppelt werden und damit auch die elektrischen Verbindungen zu den Geräten häufig getrennt und zusammenschaltet werden, sind einfache Handhabung und Betriebssicherheit wichtige Forderungen. Die Logik des Systems muß den Wechsel elektrisch ausgerüsteter Arbeitsgeräte automatisch erkennen und berücksichtigen. Der Bus muß die Anschaltung mehrerer Teilnehmer erlauben. Die Leitungslängen müssen mehrere Meter betragen dürfen, wobei die Zahl der Leitungen und Steckverbindungen so gering wie möglich sein soll.

Diese Anforderungen legen die Verwendung einer seriellen Datenübertragung nahe, mit der Möglichkeit, mehrere Teilnehmer an den seriellen Bus anzuschließen. Da es sich bei den Vorgängen auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen und Geräten um mechanische Abläufe handelt, die im Vergleich mit elektrischen Vorgängen langsam sind, sind hinsichtlich der Übertragungsgeschwindigkeit bei einer seriellen Datenübertragung keine Probleme zu erwarten.

Bei den folgenden Überlegungen zur Gestaltung:

- der Hardware, der Leitungen und Steckverbindungen,
 - der Software für die Übertragungsprozedur der Daten, einschließlich der Softwarevereinbarungen über den Inhalt der Daten und die Codierung des Datentelegrammes
- wird daher von einer seriellen Datenübertragung ausgegangen.

6.1 Hardware

Die Gestaltung der Hardware wird im wesentlichen durch die rauen Einsatzbedingungen in der Landwirtschaft bestimmt. Diese, vor allem mechanische Belastungen, und weniger elektrische Gründe sind es auch, die vergleichsweise große Leitungsquerschnitte sowie Kabel mit ausreichender Isolierung und mechanischem Schutz erforderlich machen. Das gleiche gilt für die Steckverbindungen, für die nur robuste gekapselte und unverwechselbare Ausführungen mit möglichst geringer Polzahl in Betracht kommen. Sie müssen darüber hinaus zuverlässig arretierbar sein.

Da in dem Bordnetz von Fahrzeugen erhebliche Störungen durch die Verbraucher, vor allem die induktiven, und durch den Generator auftreten können, sind besondere Maßnahmen erforderlich, um einen hohen Störabstand und eine ausreichende Übertragungssicherheit der Daten zu gewährleisten. So sollte die Elektronik des Fahrzeuges und auch die der angekoppelten Arbeitsgeräte durch ein eigenes vom übrigen Bordnetz getrenntes und gefiltertes Netz gespeist werden. Der Signalpegel für die Datenübertragung sollte möglichst hoch sein.

Eine elektrische Entkopplung der Systemkomponenten durch eine galvanische Trennung der Datenleitungen – z.B. mit optischen Koppellementen – dient nicht nur der Verbesserung der Übertragungssicherheit, sondern vergrößert auch die konstruktive Freiheit der Gerätehersteller.

In bezug auf die Hardware sind somit zur Wahrung der Kompatibilität an der Schnittstelle die Art und Bewegung der Steckverbindungen, der Spannungspegel der Stromversorgung, der Signalpegel und die Übertragungsgeschwindigkeit festzulegen.

6.2 Software für die Übertragung der Daten

Die Übertragungsprozedur stellt sicher, daß die Daten zu dem jeweils richtigen Teilnehmer übertragen, von diesem empfangen und verstanden werden. Die Tatsache, daß aufgrund der Topologie des Busses mehrere Teilnehmer parallel an die gleiche Schnittstelle angeschlossen sind und die Übertragung der Daten seriell erfolgt, erfordert einen hohen Aufwand an Logik. Dieser kann entweder in Form von Software oder als Hardware durch entsprechende Baugruppen, sog. Koppelbausteine, realisiert werden. Die Steuerung des Datenverkehrs, vor allem die damit verbundene Überwachung, welche Teilnehmer angeschlossen sind, kann dem zentralen Rechner übertragen werden.

Wie die Prozedur für die Übertragung von Informationen von einem Teilnehmer zum Bordcomputer aussehen kann, zeigt der obere Teil von **Bild 5**. Im unteren Teil desselben Bildes ist die Übertragungsprozedur in umgekehrter Richtung wiedergegeben. (**Bild 5** stellt Übertragungsprozedur und Datentelegramm des später besprochenen, ausgeführten universellen Informations- und Regelsystems dar.)

Die Übertragung von Daten zum zentralen Rechner wird von dem Controler des Koppelbausteins durch Aussenden eines Steuersignals (EOT) eingeleitet. Auf dieses Signal hin wird jeglicher Datenverkehr auf den Bus eingestellt. Danach folgt die Sendeaufforderung (S) und die Adresse (Primäradresse), die den Teilnehmer spezifiziert, der Daten senden soll. Mit Hilfe der folgenden Sekundäradresse wird dem Teilnehmer eine Zusatzinformation über die Art der gewünschten Daten übergeben. Den Abschluß der Sendeaufforderung bildet die Quittierungsaufforderung (Qu!).

Danach wartet der Controler auf die Antwort des betreffenden Teilnehmers. Erfolgt diese nicht in einer vorbestimmten Zeit, so wird der Datenverkehr abgebrochen. Bei korrekter Bearbeitung beginnt der gerufene Partner sein Datentelegramm mit einer Startinformation (STX) und übergibt danach die Länge des Telegramms (Länge). Es folgen Nutzdaten, die die Art (Art), die Dimension (Dim.) und den Zahlenwert (Zahlenwert) angeben. Hier können weitere Sequenzen (Art, Dim., Zahlenwert) folgen. Das Ende der Nutzdaten bestimmt ein Abschlußzeichen (ETX), gefolgt von einer Kontrollinformation (K), mit der die empfangenen Daten überprüft werden. Daraufhin beendet der Controler den Datenverkehr durch eine Quittierung (Qu).

Bei Übertragung der Daten in der entgegengesetzten Richtung setzt der Controler eine Sequenz mit einer Empfangsaufforderung (ähnlich der Sendeaufforderung nur mit einem Steuersignal zum Empfang (E)) ab und wartet auf eine Quittierung (Qu) des gerufenen Teilnehmers. Hat sich dieser positiv gemeldet, so erfolgt die Übertragung des Datentelegramms, das genauso aufgebaut ist, wie zuvor für die Gegenrichtung beschrieben. Den korrekten Empfang quittiert der Partner am Bus mit einem Signal (Qu) und beendet damit den Datenverkehr. Für den Fehlerfall überwacht der Controler die Antwortzeichen und bricht gegebenenfalls den Datenverkehr ab.

Die Kompatibilität an der Schnittstelle setzt also für die Software voraus, daß sie die Übertragungsprozedur, den Aufbau des Datentelegramms und das Antwortverhalten festlegt. Dies geschieht in einer sogenannten Initialisierungsphase, in der alle Teilnehmer

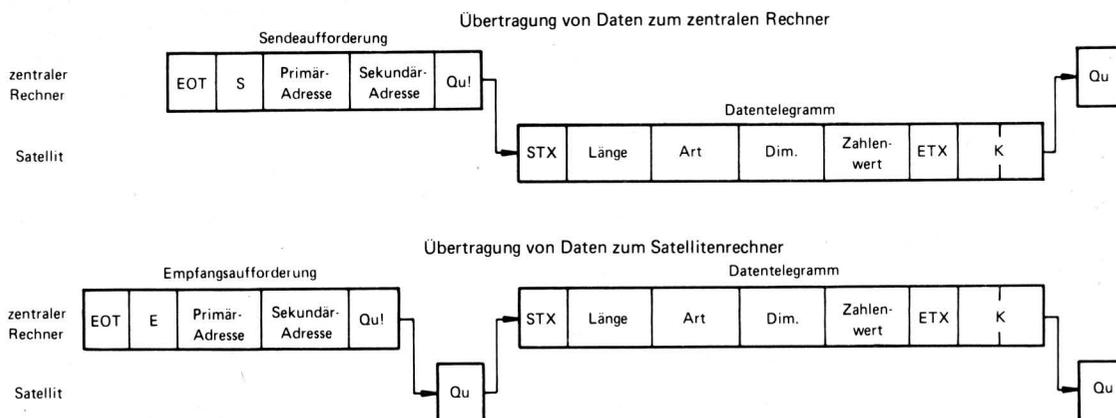


Bild 5. Übertragungsprozeduren und Datentelegramm der seriellen Datenübertragung des universellen Informations- und Regelsystems nach Bild 1 rechts und Bild 6.

EOT Aufforderung an alle Systemkomponenten, jeglichen Datenverkehr einzustellen
 STX Start des Textes
 ETX Ende des Textes

QU Quittierung
 Qu! Quittierungsaufforderung
 K Kontrollbits

vom Controller aufgerufen werden. Er trägt die sich meldenden Geräte in eine von ihm geführte Liste ein. Während der Initialisierungsphase – bzw. auch nach Erkennen neuer Teilnehmer während des Betriebes – ist außerdem vom System selbständig zu ermitteln und festzulegen, welche Daten (Meßwerte, Sollwerte, Stellwerte usw.) von den einzelnen Teilnehmern geliefert bzw. benötigt werden. Ebenfalls vereinbart werden muß, in welchen Zeitabständen die Daten auszutauschen sind. Zusätzlich hat der Controller während des gesamten Betriebes in bestimmten Zeitabständen zu überprüfen, ob neue Teilnehmer, also elektronisch ausgerüstete Arbeitsgeräte, an den Bus angekoppelt oder abgekoppelt wurden.

7. Beispiel eines ausgeführten Informations- und Regelsystems

Das Blockschaltbild eines ausgeführten Beispiels für ein universelles Informations- und Regelsystem, **Bild 6**, läßt den modularen Aufbau erkennen. Der zentrale Rechner (Bordcomputer) ist mit einer Dialogstation und einer zentralen Anzeige ausgerüstet (g bzw. h in Bild 1 rechts). Die zentrale Anzeige ist grafikfähig und hat eine Auflösung von 32 mal 84 Punkten. Es handelt sich dabei um eine Flüssigkristallanzeige, die wegen ihrer flachen Bauweise und ihrer guten Lesbarkeit auch bei hellem Sonnenlicht gewählt wurde.

Die relativ niedrige Auflösung entspricht dem Entwicklungsstand zum Zeitpunkt des Versuchsaufbaus. Heutige Displays haben eine größere Bildfläche und bis zu 128 mal 256 Bildpunkte, und dies bei noch akzeptablem Kontrast. In den Entwicklungslabors der Firmen wird aber bereits an wesentlich größeren, auch farbigen Flüssigkristallanzeigen mit beispielsweise 270 mal 540 Bildpunkten und wesentlich verbessertem Kontrast gearbeitet. Da diese Anzeigen als flache Bildschirme für Fernsehgeräte eingesetzt werden sollen, ist zu erwarten, daß sie kostengünstig sein werden.

Die Dialogstation ermöglicht den Datenaustausch zwischen Fahrer und System. Sie ist im Bild 6 unter der zentralen Anzeige wiedergegeben (h in Bild 1 rechts neben dem Lenkrad). Für die Anzeige der Dialogstation wurde eine vierzeilige Flüssigkristallanzeige mit 40 alphanumerischen Zeichen pro Zeile gewählt. Die fünf Tasten unterhalb der Anzeige sind die erwähnten Softkeys, deren jeweilige Bedeutung dem Fahrer in der untersten Zeile des Displays angezeigt wird.

Mit Hilfe von Sensoren erfaßt der Rechner Betriebswerte des Motors und Fahrzeugs, wie Kühlwassertemperatur, Öldrücke, Treibstoffvorrat usw., sowie Meßwerte aus der Umgebung (z.B. Windrichtung und -geschwindigkeit zur Berechnung des Anwenderrisikos bei der Applikation von Pflanzenbehandlungsmitteln u.ä.).

Um den Fahrer nicht mit unnötigen Informationen zu belasten, werden ihm diese Meßwerte nur auf Wunsch oder bei Überschreitung von vorgewählten Grenzwerten angezeigt. Im letzteren Fall

steuert der Bordcomputer zusätzlich optische und akustische Signalgeber an und blendet, besonders bei Gefahrenzuständen, entsprechende Hinweise an den Fahrer in die zentrale Anzeige ein.

Über die serielle Schnittstelle und die entsprechenden Koppelbausteine ist an den Bordcomputer zum einen ein auf dem Fahrzeug befindliches Radargeschwindigkeitsmeßgerät angeschlossen und zum anderen der Gerätecomputer einer Anbauspritze. Über den seriellen Bus erhält der Gerätecomputer die verfahrensspezifischen Einstell- und Sollwerte sowie die Daten der Fahrgeschwindigkeit, also alle Daten, nach denen er den Spritzdruck regelt.

Da der optimale Applikationserfolg nur bei einem bestimmten Spritzdruck erreicht wird, die Ausbringung andererseits aber von der Fahrgeschwindigkeit und dem Spritzdruck abhängt, wird dem Fahrer die tatsächliche Fahrgeschwindigkeit als Istwert und die für die optimale Ausbringung erforderliche Fahrgeschwindigkeit als Sollwert auf der zentralen Anzeige dargestellt, so wie in Bild 1 und 6 zu erkennen ist.

Während der Spritzdruck vom Regler der Anbauspritze in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit geregelt wird, ist die Fahrgeschwindigkeit derzeit durch den Fahrer zu regeln, wobei als Sollwert die Fahrgeschwindigkeit gilt, bei der der Spritzdruck den optimalen Wert annimmt. Bei Ausrüstung des Schleppers mit einer elektronischen Diesel-Einspritzregelung kann auch die Regelung der Fahrgeschwindigkeit automatisch erfolgen. Der Tankinhalt des Spritzbehälters wird dem Fahrer ebenfalls über die zentrale Anzeige laufend mitgeteilt.

Über die Dialogstation kann der Fahrer die Spritze jederzeit ein- oder ausschalten oder die Betriebsgrößen ändern. Im praktischen Einsatz erwies es sich als ausreichend, die Daten in Zeitintervallen von 250 ms, also viermal je Sekunde, über den seriellen Bus zu übertragen.

8. Universelle Ein-/Ausgabeeinheit für Schlepper ohne Bordcomputer

Weder heute noch in der Zukunft ist damit zu rechnen, daß alle landwirtschaftlichen Schlepper mit einem Bordcomputer ausgerüstet sind. Um dennoch die Vorteile der elektronisch ausgerüsteten Arbeitsgeräte im vollen Umfang nutzen zu können, benötigt der Fahrer am Fahrerplatz eine Anzeige- und Eingabemöglichkeit.

Es würde aber eine Rückkehr zu dem eingangs kritisierten Zustand der Einzecksysteme bedeuten, wollte man zu jedem elektronisch ausgerüsteten Arbeitsgerät die entsprechende Ein-/Ausgabeeinheit in der Kabine installieren. Konsequenter und kostengünstiger ist es, ein universelles Ein-/Ausgabegerät zu schaffen, das für alle elektronisch ausgerüsteten Anbau- und Anhängergeräte verwendbar ist. Die Voraussetzung dafür ist, wie beim Anschluß dieser Geräte an den Bordcomputer, eine kompatible Schnittstelle für die Datenübertragung.

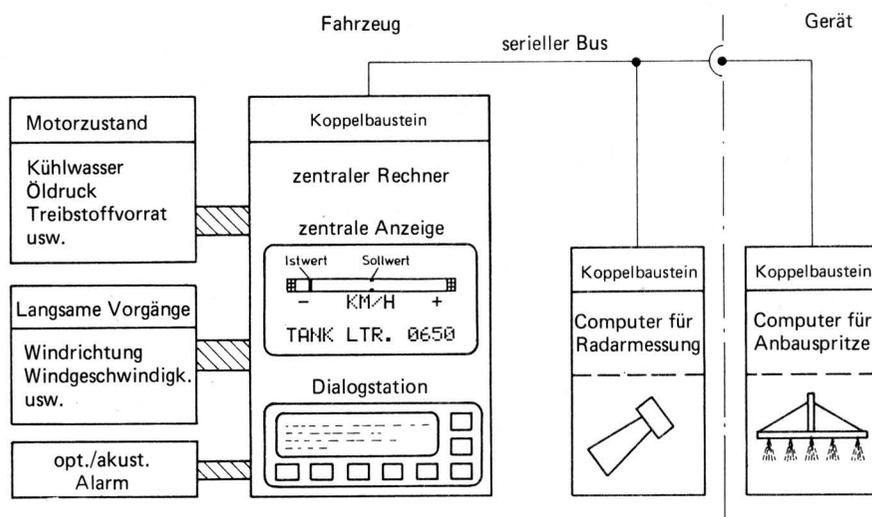


Bild 6. Schema der Funktionsgruppen und des Datenflusses eines universellen Informations- und Regelsystems (Bild 1 rechts) in Kombination mit einer elektronisch geregelten Feldspritze.

Bild 7 zeigt das ausgeführte Beispiel eines universellen Ein-/Ausgabesystems, das auf Schleppern ohne Bordcomputer eingesetzt werden kann. Dieses System ist nichts anderes als ein sehr vereinfachter Bordcomputer, von dem lediglich der Koppel- und Controllerbaustein zu dem seriellen Bus, eine grafikfähige Anzeige und die Eingabetasten übriggeblieben sind. Die zentrale Anzeige und die der Dialogstation wurden zusammengefaßt. Die Tasten unterhalb der Anzeige sind wieder als Softkeys ausgeführt, während rechts im Bild zur Eingabe von Sollwerten eine Zehnertastatur vorgesehen ist. Ob eine analoge Eingabe von Sollwerten erforderlich ist, wird der praktische Einsatz zeigen.

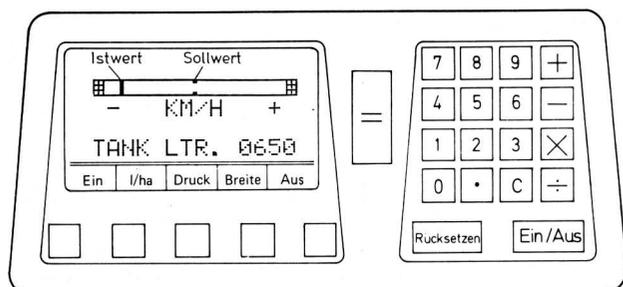


Bild 7. Beispiel einer universellen Ein-/Ausgabeeinheit mit kompatibler serieller Schnittstelle für den Anschluß elektronisch ausgerüsteter Anbau- und Anhängengeräte.

Wie eine solche universelle Ein-/Ausgabeeinheit mit einem Gerätecomputer zusammen eingesetzt werden kann, ist in **Bild 8** dargestellt. Das Anbau- oder Anhängengerät und seine elektronische Ausrüstung sollen dabei gleich dem sein, das beim Anschluß an den Bordcomputer verwendet wurde. Während beim Anschluß an den Bordcomputer dieser auch das Signal der Fahrgeschwindigkeit liefert, muß hier zur Messung der Fahrgeschwindigkeit ein zusätzlicher Sensor installiert werden. Dabei kann das gleiche Meßsystem verwendet werden, das auch auf dem Fahrzeug im Zusammenhang mit einem Bordcomputer eingesetzt wird, da es für das System unerheblich ist, wo der Anschluß an den seriellen Bus erfolgt, ob auf dem Fahrzeug oder auf dem Arbeitsgerät. Voraussetzung ist lediglich, daß die Schnittstellen kompatibel sind.

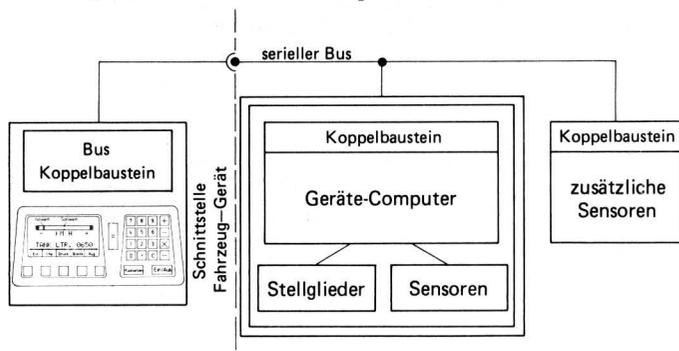


Bild 8. Schema für den Einsatz eines elektronisch ausgerüsteten Arbeitsgerätes in Verbindung mit einer universellen Ein-/Ausgabeeinheit auf Schleppern ohne Bordcomputer.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Für die Weiterentwicklung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren geben viele Gründe Anlaß: wirtschaftliche Gründe, Verbesserung des Umweltschutzes, sparsamerer Einsatz fossiler Energieträger und nicht zuletzt die Entlastung des Menschen im Arbeitsprozeß. Ziel der Entwicklung ist ein für die jeweiligen Bedingungen optimaler Produktionsablauf, wobei mit der Bestimmung, Überwachung und Einstellung der optimalen Produktionsbedingungen immer vielfältigere Steuer-, Regel- und Überwachungsaufgaben zu lösen sind. Aufgrund der Möglichkeit, Informationen zu

erfassen, zu speichern und mit großer Geschwindigkeit zu verarbeiten, werden für diese Aufgaben auch in der Landwirtschaft vermehrt elektronische Hilfsmittel eingesetzt.

Die derzeit auf dem Markt angebotenen elektronischen Geräte zur Regelung bzw. Optimierung landwirtschaftlicher Arbeitsverfahren sind Einzeckgeräte. Bei Mähreschern, aber auch bei Schleppern, die speziell für eine Arbeitsaufgabe eingesetzt werden, ergeben sich daraus keine wesentlichen Nachteile. Man kann es sogar als gewissen Vorteil ansehen, daß diese elektronischen Geräte in sich geschlossene selbständige Einheiten sind, die als Option auch nachträglich installiert werden können.

Anders ist die Situation, wenn der Schlepper als Universalgerät Verwendung findet, also mit wechselnden Anbau- und Anhängengeräten eingesetzt wird, oder wenn im Bereich der Innenwirtschaft verschiedene Teilbereiche mit elektronischen Einzeckgeräten ausgerüstet werden. In diesen Fällen bedeuten Einzeckgeräte unnötige Mehrfachausstattung mit Sensoren, Anzeigegeräten, Gehäusen usw., da diese Bauteile nur dem jeweiligen Gerät dienen und die Geräte untereinander keine Informationen und Daten austauschen können. Dadurch entstehen gegenüber universellen Systemen zusätzliche Kosten und in vielen Fällen auch der Nachteil, daß die potentiellen Möglichkeiten der Elektronik aufgrund beschränkter Kapazität als Folge mangelnder Möglichkeit zum Datenaustausch nicht ausgeschöpft werden können.

Der vorliegende Beitrag stellt ein universelles Informations- und Datensystem (Bordcomputersystem) als Alternative zu den heutigen elektronischen Einzeckgeräten zur Diskussion. Merkmal dieser Alternative sind der modulare Aufbau und ein kompatibler Daten- und Informationskanal.

Durch den modularen Aufbau ist die elektronische Ausrüstung von Schlepper und Arbeitsgerät stufenweise zu erweitern. Art und Umfang der elektronischen Hilfsmittel können den individuellen Erfordernissen des Betriebes und der jeweiligen Fahrzeug-Geräte-Konfiguration angepaßt werden. Der modulare Aufbau dient aber auch der Betriebssicherheit, da bei Störungen nicht das Gesamtsystem ausfällt und die Fehlerdiagnose erleichtert wird.

Der Informations- und Datenkanal mit kompatibler Schnittstelle ist primär Voraussetzung für den Anschluß der verschiedenen elektronisch gesteuerten Arbeitsgeräte als Heck- und Frontgeräte. Daneben eröffnet diese Konzeption aber ein weites Spektrum zusätzlicher Möglichkeiten. Beispielsweise können über diesen Anschluß betriebswirtschaftliche und betriebstechnische Daten zwischen dem Bordcomputer des Schleppers und einem stationären Rechner bzw. umgekehrt ausgetauscht werden. Oder der Anschluß wird für die Wartung und Fehlerdiagnose genutzt. Dabei kann auf einen speziellen Diagnosecomputer verzichtet werden, wenn der stationäre Rechner des Landwirts mit einem Wartungsprogramm ausgerüstet und an Fahrzeug oder Gerät angeschlossen wird.

Mit verbindlichen Festlegungen für eine derartige universelle kompatible Schnittstelle ist in nächster Zeit kaum zu rechnen. Der Grund hierfür ist weniger technischer Natur, sondern liegt vor allem in dem internationalen Charakter des Landmaschinenmarktes mit der Vielzahl der Hersteller und Interessengruppen. So ist zu erwarten, daß sich verschiedene mehr oder weniger große Gruppen von Herstellern und Interessenten zusammenfinden und sich auf jeweils eigene Standards für ihre Geräte einigen.

Natürlich ist es grundsätzlich möglich, auch Systeme mit unterschiedlich definierten Schnittstellen durch eine hardware- und softwaremäßige Anpassung zu koppeln und einzusetzen. Beispielsweise wäre die rein mechanische Kopplung über Adapter denkbar, während die Anpassung der Übertragungsprozedur, des Datentelegramms usw. durch entsprechende Schnittstellenumsetzer und Software erfolgen könnte. Der dafür erforderliche Aufwand und die damit verbundenen Kosten nehmen jedoch mit der Zahl der unterschiedlichen miteinander zu verbindenden Systemkomponenten überproportional zu. Ähnliches gilt für die Fehler- und Störanfälligkeit. Im Sinne des Verbrauchers, des Landwirts, der letztlich diese Systeme einsetzen und ihre Kosten tragen soll, ist daher eine einheitlich definierte Schnittstelle anzustreben.