

4. Zusammenfassung

Eine Optimierung des Systems Schlepper – Arbeitsgerät kann durch die Erfassung der jeweiligen physikalischen Größen über Sensoren erzielt werden. Die Meßgenauigkeit der Sensoren stellt dabei einen entscheidenden Faktor dar.

Speziell sind Sensoren für die Erfassung der tatsächlichen Geschwindigkeit und des Abstandes zur Zielfläche hin je nach Anwendungsfall verbesserungswürdig, zumindest aber die Meßgrößen mit einer anschließenden besonderen Verarbeitungsroutine entsprechend aufzubereiten.

Diese Sachverhalte begründen den Einsatz von Mikrorechnern. Je nach der angestrebten Leistungssteigerung ergibt sich die Forderung nach einem System von Sensoren, Aktoren und Mikrorechnern, die das mechanische System Schlepper – Arbeitsgerät optimieren oder entsprechende Informationen dem Anwender zuführen.

Schrifttum

- [1] Mertins, K.-H. u. H. Göhlich: Fahrgeschwindigkeitsmessung an landwirtschaftlichen Fahrzeugen. Grundl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 14/20.
- [2] Fleischer, H.S.: Einsatzmöglichkeiten der Elektronik im Fahrzeug. Automobil-Industrie Bd. 30 (1985) Nr. 3, S. 289/94.
- [3] Anonym: Ultrasonic Ranging System. Polaroid Corporation.
- [4] Neher, A.: Wegmessung mittels Ultraschall-Doppler-Verschiebung. Diss. Fachbereich Verfahrenstechnik, TU Berlin, 1983.
- [5] Bruns, H.: Entwurf und Aufbau eines Meßwerterfassungssystems mittels Ultraschallsensoren unter Aufzeigung verschiedener Lösungsmöglichkeiten. Dipl.-Arbeit am Inst. f. Elektrische Maschinen, TU Berlin, 1983.
- [6] Jahns, G. u. H. Speckmann: Ein Bordcomputerkonzept für Schlepper und angekoppelte Geräte zur Optimierung landwirtschaftlicher Produktionsprozesse. Grundl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 2, S. 47/54.
- [7] Taggesell, M.: Wie systemfähig ist ein IEC-Bus-Gerät? Messen + Prüfen/Automatik Bd. 16 (1980) Nr. 10, S. 704/709.
- [8] Anonym: Bus-Systeme für Mikrocomputer. Elektronik-Entwicklung Bd. 15 (1980) Nr. 7/8, S. 64/70.

Flexibles Mikrocomputerkonzept für den rauen mobilen Einsatz

Von Egon Bergmann und Johann-Carsten Kipp, Berlin*)

Professor Dr.-Ing. Horst Göhlich zum 60. Geburtstag

DK 631.372:681.518:621.3.049.77

Zur Ausnutzung des großen Optimierungspotentials, das der Einsatz der Mikroelektronik in landwirtschaftlichen Fahrzeugen bietet, ist umfangreiches Datenmaterial über deren Einsatz erforderlich. Für den Laborbetrieb oder den Bereich der Automobiltechnik entwickelte Datenerfassungsgeräte sind jedoch nicht für den längeren Betrieb unter den Bedingungen der Landtechnik geeignet. Auch die Entwicklung und Erprobung von Regelalgorithmen im Feldeinsatz erfordert besondere Werkzeuge.

1. Einleitung

Im Rahmen des an der TU Berlin durchgeführten und von der DFG geförderten Projektes "Leistungsoptimierung im System Ackerschlepper/Gerät" werden Regel- und Optimierungskonzepte zur Produktivitätssteigerung der Arbeitsmaschinen entwickelt. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung elektronischer Bedienhilfen und der Automatisierung von Teilsystemen zur Steigerung der Flächenleistung oder Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs. Ein weiterer Aspekt dieser Untersuchungen ist die Entwicklung, Adaption und Felderprobung von Sensoren, die zur Bestimmung der Betriebsparameter des zu optimierenden Systems benötigt werden.

Diese Arbeit wurde aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

*) Dipl.-Phys. E. Bergmann und Dipl.-Ing. J.-C. Kipp sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut für Maschinenkonstruktion, Fachgebiet Landtechnik und Baumaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich) der TU Berlin.

Um die Leistungsfähigkeit einer Schaltanzeige und deren Akzeptanz durch den Fahrer einer ernsthaften meßtechnischen Überprüfung zu unterziehen, sind Einsatzzeiten von mehreren Wochen erforderlich, für die Überprüfung der Standfestigkeit von Sensoren im Feldeinsatz sogar mehrere Monate.

Die Lösung dieser Meßaufgabe mit der bisher in der Landtechnik üblichen Meßausrüstung wie Schreiber, Telemetrie- und Bandgerät bei anschließender Laborauswertung ist aufgrund der langen Meßperiode und nicht zuletzt wegen der großen Einbauvolumina sinnvoll nicht möglich.

Auch bei der Implementierung von Regel- und Steueralgorithmen auf Fahrzeugen herrschen in der Landtechnik besondere Bedingungen, die z.B. ein einfaches Übertragen der in der Automobiltechnik üblichen Entwicklungsmethoden nicht ermöglicht. Kofferraum, Rück- und Beifahrersitz stehen nicht zur geschützten Unterbringung der Entwicklungshilfsmittel zur Verfügung. Die geringen Stückzahlen landwirtschaftlicher Arbeitsgeräte rechtfertigen in der Regel auch nicht den Bau spezieller Prüfstände zur Simulation im Labor. Ein Teil der Softwareentwicklung hat daher in Fahrversuchen oder sogar im Ernteeinsatz zu erfolgen.

Für die Realisierung von Meß- und Regelungsaufgaben im Laborbereich ist eine Fülle von Mikrorechnersystemen und Entwicklungshilfsmitteln verfügbar. Ein Langzeiteinsatz dieser Systeme unter den rauen Umgebungsbedingungen des landtechnischen Einsatzes ist jedoch wegen der erforderlichen schmutz- und erschütterungsempfindlichen Peripheriegeräte nicht möglich.

Diese Situation und der Wunsch, dem Entwicklungsingenieur ein einfaches Werkzeug für Langzeitmeßaufgaben oder Mikrorechneranwendungen im Feldeinsatz zu schaffen, führten zur Entwicklung des im folgenden beschriebenen Rechnerkonzeptes.

2. Rechneranwendungen in der Fahrzeugtechnik

Mit der Verfügbarkeit preisgünstiger Mikrorechner wurde auch in der Fahrzeugtechnik versucht, dieses Werkzeug zur Erfassung von Fahrzeugbetriebs- und Prozeßdaten einzusetzen. Die Anwendung dieser für andere Einsatzbereiche konzipierten Rechner mußte sich jedoch auf den gezielten Einsatz unter definierten Versuchsbedingungen beschränken.

Für den nordamerikanischen Raum geben *Green* u.a. [1] eine ausführliche Übersicht über Datenerfassungssysteme auf Mikroprozessorbasis. Wesentliche, den Arbeiten auch des deutschen Sprachraumes zugrundeliegende Konzepte werden im folgenden referiert.

Bodyl u.a. [2], *Stange* u.a. [3] und *Clark* u.a. [4] verwendeten kommerzielle, für den Laborbetrieb konzipierte Aufbauten. Während im Pkw-Bereich kaum Platzprobleme zur Unterbringung des Meßaufbaues zu beklagen sind [2], zwangen *Clark* u.a. die bei Ackerschleppern begrenzten Platzverhältnisse, das Bedien- und Steuergerät auf der Motorhaube zu installieren. Für diese in der Programmiersprache BASIC programmierbaren Systeme sind Abstraten von 1/6 Hz typisch [2].

Grogan u.a. [5] und *Hoyer* [6] gestalteten durch Rückgriff auf kommerzielle Steckkartensysteme Mikrorechner, die wesentlichen Bedingungen des landtechnischen Einsatzes genügten.

Die notwendigen Steckverbindungen erwiesen sich jedoch als schwächste Stelle [6]. Der hohe Stromverbrauch der verwendeten NMOS-Bauelemente und deren Wärmeleistung in der Größenordnung von 100 W machen jedoch geschlossene Gehäuse mit Zwangsbeltung notwendig. Wegen des ohne zusätzliche externe Massenspeicher geringen Programmspeichers ist eine Programmentwicklung nur im Labor mit einem Entwicklungssystem möglich. Im Feld können nur vorgedachte Programmaktivitäten über ein Handterminal eingeleitet werden. Der von *Grogan* u.a. [5] verwendete Bubble-Speicher ermöglicht in Verbindung mit blockweiser Datenkompression auf statistische Mittelwerte einen bedienfreien Meßeinsatz über mehrere Tage.

Sonderentwicklungen für den mobilen Einsatz führten auch *Hohenberger* u.a. [7], *Biller* [8] und *Ismail* u.a. [9] durch. Während das von *Hohenberger* entwickelte Erfassungssystem die über Standardeinschübe (DMS, F-U, PT 100 . . .) aufbereiteten Daten mit Hilfe eines festen Programms nach Zeitanteilen klassiert auf einen Drucker ausgibt, ermöglicht das Master-Slave-Konzept von *Ismail* u.a. die Mittelwertbildung von 12 Analog- und 6 Zählerkanälen über eine festlegbare Mittelungszeit. Nach Ablauf der Meßzeit werden die Einzeldaten dem Master zur weiteren Verarbeitung übergeben. In Verbindung mit einer Telemetrieanlage ist die Übertragung höherer Datenraten und deren Speicherung auf dem Diskettenlaufwerk eines Tischrechners im begleitenden Meßwagen möglich.

Biller stellte ein Datenerfassungssystem vor, das im wesentlichen aus einem Datenlogger mit digitaler Datenspeicherung besteht. Obwohl ursprünglich auch für den Dauereinsatz auf landwirtschaftlichen Betrieben konzipiert, erwies sich jedoch die notwendige Bedienung durch den Schlepperfahrer und die Vibrationsempfindlichkeit des Bandgerätes als problematisch. *Biller* resümiert: "Es zeigte sich, daß Systeme dieser Art noch nicht sicher genug sind, um im Dauereinsatz auf landwirtschaftlichen Betrieben genutzt zu werden" [8].

Von Mikrorechnersystemen, die nicht nur die Datenerfassung, sondern auch Steuer- oder Informationsaufgaben erledigen, ist im Bereich der Landtechnik wenig im Schrifttum zu finden. Kennzeichnend für solche Rechner ist [5], daß auch hier die Entwicklungsverfahren für Laborgeräte übernommen wurden, d.h. es wurden herkömmliche Entwicklungssysteme benutzt und, um preisgünstige 8 Bit-Prozessoren verwenden zu können, in Assembler programmiert.

Das an der TU Berlin entwickelte System, das bis jetzt zur Leistungsoptimierung von Ackerschleppern [10, 11], zur Einsatzdaten-Messung im Dauereinsatz auf einem landwirtschaftlichen Betrieb sowie zu weiteren Steuerungsaufgaben im Bereich der Land-

technik verwendet wurde, verwirklicht ein grundlegend anderes Konzept.

Die Anforderungsdefinition ist aus eigenen sowie den Erfahrungen der zuvor genannten Autoren entstanden.

3. Anforderungsdefinition

Die Anforderungen an ein Meßdatenerfassungs- und Entwicklungssystem sind:

1. Lösbarkeit der Meß- und Regelungsprobleme in der Landtechnik
2. Prototypauglichkeit der Programme
3. Hardware: kompakt, mechanisch stabil, spritzwassergeschützt, temperaturunempfindlich
4. Entwicklungs- und Testmodus:
 - von Nichtexperten benutzbare Programmierumgebung mit Entwicklungshilfen zur Lösung von Echtzeitproblemen und Standardsoftware zur On-Line-Datenreduktion/Regelung
 - Programmänderung und Überprüfbarkeit der Sensor- und Steuerfunktionen im Feld
 - Transparenz des Meß- und Regelungsprozesses
5. Datenerfassungs- und Betriebsmodus:
 - wartungs- und bedienfreier Betrieb über mehrere Monate
 - Datenentnahme und Protokollierung auch ohne Systemkenntnis.

Die einzelnen Punkte sollen im folgenden diskutiert werden.

Zu 1:

Die grundlegende Forderung – Lösbarkeit der Meß- und Regelungsprobleme – führt zu einer Analyse der in der zukünftigen Landtechnik möglichen Meß- und Regelungsaufgaben. Diese erstrecken sich von einfachen Zählaufgaben zur Bestimmung von Einschalthäufigkeiten und Einschalt Dauern, die im Rhythmus von 1–10 s abgearbeitet werden können, bis hin zu aktiv geregelten Vorderachsen, die Zykluszeiten von 10 ms erfordern. Preisgünstige 8 Bit-Prozessoren oder Ein-Chip-Mikrokontroller sind von ihrer potentiellen Rechenkapazität her voll in der Lage, diese Anforderungen zu erfüllen, sofern entsprechende Programmierwerkzeuge benutzt werden. Bekannte Interpretersprachen wie BASIC sind jedoch aufgrund ihrer schlechten Laufzeiteigenschaften nur für den Bereich niedriger Anforderungen geeignet.

Zu 2:

Die Forderung der Prototypauglichkeit der entwickelten Programme ist unter dem Aspekt der Entwicklung von Prozeßsteuerungen zu betrachten. Hier sollte der Schritt von einem im Versuch funktionsfähigen Algorithmus bis zu dessen Realisierung als Prototyp möglichst gering sein.

Zu 3:

Eine kompakte Hardware bietet für die Unterbringung des Rechners auf dem Versuchsfahrzeug deutliche Vorteile. Für den langfristigen Einsatz ist sie jedoch zwingend erforderlich, um den Einsatz des Schleppers ohne Einschränkungen für den Fahrer zu gewährleisten. Ein System, das die Forderungen nach mechanischer Stabilität, Spritzwasserschutz und Temperaturunempfindlichkeit nicht erfüllt, wird sicherlich nur wenige Tage seine Aufgabe erfüllen können.

Zu 4 und 5:

Diese beiden Punkte beinhalten die funktionellen Anforderungen.

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Betriebsarten:

1. Den Entwicklungs- und Testmodus zum Erstellen und Testen der Programme und zur Systemintegration. In diesem Stadium sind eine Tastatur, ein Display, ein Massenspeicher zur Programmverwaltung und ein Drucker zur Dokumentation zwingend erforderlich.

- Den eigentlichen Betriebsmodus. Hier sind die Peripheriegeräte eher störend; sie werden erst nach Abschluß eines Meßzeitraumes zur Datenentnahme und Protokollierung benötigt.

Im Entwicklungs- und Testmodus sollte eine Programmierumgebung zur Verfügung stehen, die es auch dem Nichtexperten erlaubt, sein Meßproblem zu formulieren und seine Programme auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Diese Probleme sind in der Regel Echtzeitprobleme, d.h. der Rechner muß innerhalb einer festgesetzten Zeit auf ein äußeres Ereignis reagieren können. So erfordert das Messen einer Drehzahl einen Zähler, der in festen Zeitabständen von z.B. 1 s ausgelesen, zurückgesetzt und neu gestartet werden muß. Zeitfehler beim Auslesen der Impulszahl gehen direkt in die Bestimmung der Drehzahl ein. Bekannte BASIC-Interpreter oder Betriebssysteme sind in der Regel nicht echtzeitfähig, da die Ausführungszeit nahezu aller Operationen von ihren Parametern abhängt. Es ist also nicht vorher zu bestimmen, zu welcher Zeit eine Programmzeile ausgeführt wird.

Entwicklungshilfen für die Programmentwicklung auf Stationärrechnern stehen in großer Fülle zur Verfügung. Sie können hier über Massenspeicher wie Floppy-Disks oder Kassetten in das System geladen werden. Die Forderung nach Testhilfen bekommt erst durch die Rahmenbedingung "Verwendbarkeit im Feld auf einem Minimalsystem" Gewicht.

Bei der Erfassung und Verarbeitung von Meßdaten gibt es grundsätzlich die Möglichkeiten der Off- oder On-Line-Auswertung. Bei der Off-Line-Auswertung wird periodisch gemessen, und die Ergebnisse werden in Form einer Liste abgespeichert. Die eigentliche statistische Auswertung erfolgt erst nach Abschluß der Messung. Diese Methode hat den Vorteil, daß der zeitliche Zusammenhang der Daten erhalten bleibt, besondere Zeitabschnitte können gegebenenfalls einer genaueren Untersuchung unterzogen werden. Die Auswertmethode und ihre Parameter können an die Daten angepaßt werden. Nachteil dieser Methode ist das benötigte große Speichervolumen und der zusätzliche zeitliche Aufwand zur Auswertung der Daten.

Diese Nachteile werden bei einer On-Line-Auswertung vermieden. Hier erfolgt das Messen und Verarbeiten, d.h. die Datenreduktion auf statistische Kennwerte, quasi parallel zum eigentlichen Meßprozeß. Den geringen Speicherbedarf erkauft man sich durch den Verlust der Zeitinformation. Die Auswertmethode liegt von Beginn der Messung an fest, das Ergebnis ist jedoch zu jedem Zeitpunkt direkt abrufbar.

Bei der Langzeitdatenerfassung interessieren im wesentlichen die Stichprobenparameter von als normalverteilt angenommenen Meßdaten, also Mittelwert und Standardabweichung, die Extremwerte und ein- sowie zweidimensionale Häufigkeitsverteilungen. Die zweidimensionale zeitliche Klassierung von Motordrehzahl und -drehmoment gibt z.B. Aufschluß über die Häufigkeitsverteilung der gefahrenen Betriebspunkte. Von geringerer Wichtigkeit sind Listendaten, ihre Speicherung sollte jedoch in eingeschränkter Form möglich sein.

Da auch bei sorgfältigster Vorbereitung nicht alle Aspekte des realen Einsatzes berücksichtigt werden können, muß die Möglichkeit der Programmadaptation ebenso wie die interaktive Überprüfung der Sensor- und Steuerfunktionen im Feld gefordert werden.

Unter der Forderung nach Transparenz verstehen wir die Eigenschaft, während des Meß- und Regelungsprozesses Zustands- oder Systemparameter zu erfragen, zu protokollieren oder auch Systemparameter zu verändern.

Im Datenerfassungs- und Betriebsmodus verlangen wir einen wartungs- und bedienfreien Betrieb mit Datenerhaltung über einen Zeitraum von mehreren Monaten. Die Abwesenheit des Versuchsingenieurs und ein kompakter Meßaufbau, der es den Fahrer vergessen läßt, ein Meßfahrzeug zu fahren, scheinen uns wichtige Voraussetzungen zu sein, um z.B. objektive Daten über die Effizienz und Akzeptanz elektronischer Bedienhilfen zu erhalten.

Eine Datenentnahme auch ohne größere Systemkenntnis wird gefordert, um sie auch weniger geschulten Personen zu ermöglichen.

4. Konzept

4.1 Meß- und Datenerfassungssystem MDES

Zur Erfüllung der diskutierten Anforderungen wurde von uns ein Zwei-Rechner-Konzept entwickelt. Es soll im folgenden als Beispiel des Rechners dargestellt werden, der für die Realisierung und Langzeituntersuchung einer Schaltanzeige für einen 125 kW-Schlepper benutzt wurde [11, 12].

Bild 1 zeigt den Meß- und Steuerrechner zusammen mit dem Kommunikationsrechner. Der Datenerfassungsrechner wird mit Zündschlüsselbetätigung ein- und ausgeschaltet. Für den Anschluß der Sensoren stehen drei 7polige Buchsen zur Verfügung. Eine weitere Buchse wird zum Anschluß eines batteriebetriebenen Bedienrechners benötigt.

Der Meßrechner wird auf dem Fahrzeug fest installiert und stellt die eigentliche Programmierumgebung zur Verfügung. Nach dem Start der Messung wird der Bedienrechner bis zum Auslesen der Daten nicht mehr benötigt. Der eingebaute Minidrucker erlaubt die Ausgabe der statistisch aufbereiteten Meßdaten, aber auch eine Protokollierung aktueller Werte während der Meßfahrt. Dies ist z.B. für die Überprüfung der Sensorfunktionen hilfreich.

Die Mikrokassette dient zur Speicherung verschiedener Meßprogramme und der gemessenen Daten. Der Kommunikationsrechner besitzt ferner Anschlußmöglichkeiten für weitere Peripheriegeräte wie Drucker, Plotter, Video-Monitor und Floppy-Disk, so daß eine weitere Aufbereitung der Daten, wie Summation über mehrere Meßzeiträume und graphische Darstellung, im Labor möglich ist. Durch die Benutzung der Funktionstasten kann die alphanumerische Eingabe von Befehlen auf die Betätigung von Tasten reduziert werden.

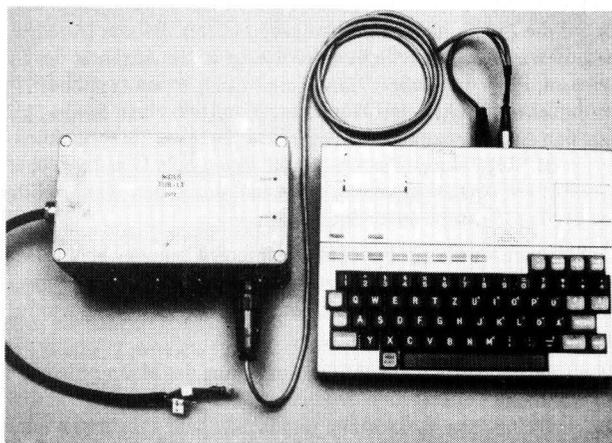


Bild 1. Meßdatenerfassungssystem MDES mit Kommunikationsrechner.

Die Einzelheiten des Meßrechners veranschaulicht Bild 2. Die einzelnen Komponenten sind Netzteil, Sensoraufbereitung und Einkartenrechner mit gepuffertem Datenspeicher. Bei dieser Version sind zwei Eingänge für die Signalaufbereitung induktiver Drehzahlsensoren sowie acht Optokoppler-Eingänge vorhanden, mit denen beliebige digitale Eingangssignale angepaßt werden können. Eine weitere Stufe wandelt das 50 mV-Signal eines Nadelhubsensors in ein Einspritzzeit- und in ein Motordrehzahlsignal um.

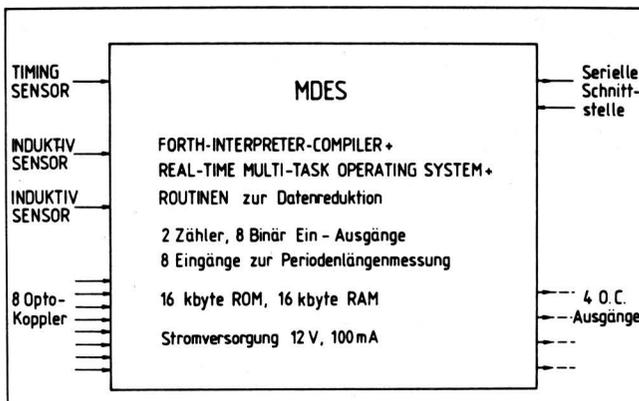


Bild 2. Konfiguration des Meßdatenerfassungssystems MDES1.

Der Einkartenrechner besitzt eine serielle Schnittstelle, die den Anschluß eines Terminals oder des Kommunikationsrechners ermöglicht. Von den 2 Zählern wird einer zur Erzeugung des Systemtaktes für das Betriebssystem, der andere zur Bestimmung der Einspritzzeit verwendet. Jeweils 8 digitale Eingänge können für Periodenlängenmessungen bzw. zur Abfrage von Zuständen oder Ereignissen verwendet werden. 4 Ausgänge stehen zur Ansteuerung einer Schaltanzeige zur Verfügung. Die Hardware ist so gestaltet, daß sie im Rahmen ihrer Grenzen durch Umlöten von Brücken an verschiedene Sensorsignale und Potentiale angepaßt werden kann.

2 Kontrolllampen ermöglichen es, die Funktionsfähigkeit des Systems im Datenerfassungs- und Betriebsmodus auch ohne Kommunikationsrechner zu erkennen. Die rote "Error"-Lampe leuchtet beim Einschalten auf und wird dann nach einer Überprüfung des Datenspeichers programmgesteuert ausgeschaltet. Dies kommt einer Überprüfung der wesentlichen Hardwarefunktionen gleich. Die grüne "Ready"-Lampe leuchtet immer dann, wenn der Prozessor auf die Zuteilung weiterer Aufgaben wartet. Bei der Durchführung dieser Aufgaben erlischt sie und zeigt so die Aktivität des Systems an. Für jedes Meßprogramm ergibt sich so ein typisches rhythmisches Blinken. Die Auszeiten vermitteln einen Eindruck über den Auslastungsgrad des Prozessors. Defekte Sensoren können in der Regel durch Plausibilitätsabfragen oder Grenzwertüberschreitungen vom Programm erkannt und durch periodisches Blinken der Error-Lampe angezeigt werden.

Als Software wurde ein FORTH-Interpreter/Compiler benutzt, der zur Verwendung auf Einkartenrechnern modifiziert und um ein einfaches Echtzeit-Multitask-Betriebssystem erweitert wurde [12].

Dieses Betriebssystem erlaubt die Aufteilung des Meßproblems in übersichtliche Teilaufgaben, sogenannte Tasks, die separat testbar sind. Die einzelnen Tasks haben unterschiedliche Prioritäten und in der Regel unterschiedliche Ausführungsfrequenzen. Das Echtzeitbetriebssystem sorgt für die zeitliche Synchronisation und Koordination.

Die Programmiersprache FORTH wurde gewählt, weil sie schnell und der erzeugte Code sehr kompakt ist. So enthält der Festwertspeicher, ein 16 kbyte EPROM, den vollen FORTH-Wortschatz, das zusätzliche Betriebssystem, einen Assembler, einen Editor, Testhilfen sowie sämtliche für die Datenerfassung und -reduktion benötigten Routinen. Hierzu wurde von der Erweiterbarkeit der Programmiersprache Gebrauch gemacht, die es erlaubt, dem Benutzer die für den jeweiligen Aufgabenbereich benötigten Routinen als Erweiterung des Sprachkerns zur Verfügung zu stellen. Begrifflich schwierige oder nur dem Fachmann verständliche Programmsequenzen können so als einfache Sprachelemente mit definierten Ein- und Ausgabeparametern verstanden werden.

Bild 3 gibt einen Einblick in das Innere des Datenerfassungssystems mit den drei Einheiten Netzteil, Sensorinterface und Mikrorechner. Das Betriebsprogramm wurde in zwei Festwertspeicher (ROM je 8 kbyte) untergebracht. Für das eigentliche Meßprogramm und die gesammelten Daten sind zwei Schreiblesespeicher (RAM je 8 kbyte) ausreichend. Durch Verwendung anderer Bauelemente sind Speichergrößen bis zu 32 kbyte ROM und 96 kbyte RAM möglich.

Das gesamte Datenerfassungssystem wurde unter Verwendung von CMOS-Bauelementen ausgeführt. Diese Bauelemente zeichnen sich durch geringen Stromverbrauch und einen erweiterten Temperaturbereich von üblicherweise - 40 bis + 85 °C aus. Die Gesamtverlustleistung des Systems beträgt daher nur ca. 1,2 W, so daß das System bis zu Außentemperaturen von ca. 75 °C funktionsfähig ist.

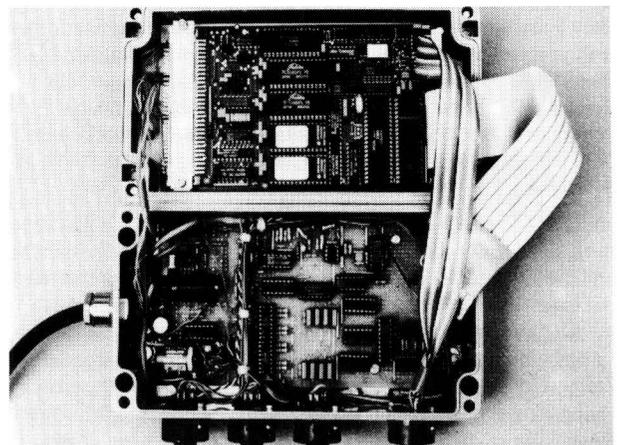


Bild 3. Blick in eine Prototyphardware mit den Einheiten Einplatinencomputer, Netzteil und Sensor-Interface.

4.2 Weiterentwicklung MDES 2

Im praktischen Einsatz erwies sich das Software-Konzept als für den mobilen Einsatz sehr geeignet. Von anfänglichen Schwierigkeiten abgesehen, bereitete die Hardware aufgrund ihrer Robustheit auch nach 14monatigem Dauereinsatz – im Außenbereich eines Schleppers montiert – keinerlei Probleme. Für Meßaufgaben allgemeiner Natur wurde das Hardwarekonzept um bis zu 8 Analog-Eingänge mit 12 Bit-Auflösung, weitere Zähler und softwareprogrammierbare Vorteileiler für die Periodenlängenmessung erweitert. Ein Steckplatz mit Buszugriff und drei weitere zur Anpassung von Sensorsignalen erlauben eine schnelle Anpassung an verschiedene Meßaufgaben. Das Blockschaltbild dieses Datenerfassungssystems zeigt Bild 4. Der Hard- und Softwareumfang ist im folgenden zusammengestellt.

Softwareumfang

Datenerfassungssystem, selbständig funktionsfähig, über V 24-Schnittstelle programmierbar mit internem Editor; mit FORTH-Interpreter/Compiler, Assembler, Editor, Routinen zur Echtzeitdatenerfassung und Verarbeitung, Echtzeitbetriebssystem. 32 kbyte ROM, 24 kbyte RAM, erweiterbar auf bis zu 96 kbyte.

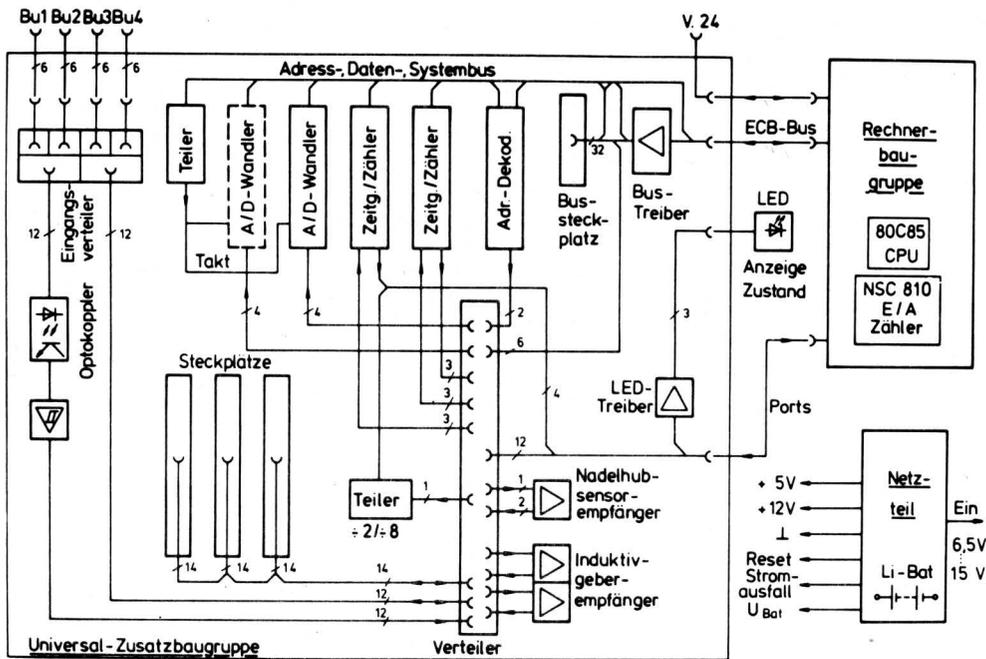


Bild 4. Blockschaltbild des weiterentwickelten Datenerfassungssystems MDES 2.

Hardwareumfang der Proessoreinheit

- 4 Eingänge zur Periodenlängenmessung mit programmierbarem
- 16 Bit-Vorteiler, Auflösung der Zeitmessung 1 ms
- 3 16 Bit-Zählereingänge
- 1 16 Bit-Zähler mit Toreingang (z.B. für Nadelhubsensor)
- 8 Status-Eingänge
- 8 Analog-Eingänge 0 ... 5 V, 12 Bit, Wandlungszeit 100 μ s
- 1 Steckplatz (35 mm x 100 mm) mit vollem Buszugriff.

Hardwareumfang der Interface-Einheit

- 12 Optokoppler: 4 nach Masse schaltend, 4 an Spannung schaltend, 4 wahlweise an Masse oder Spannung schaltend
- 2 Induktivsensoreingänge
- 1 Eingang für Wolff-Nadelhubsensor
- 3 Steckplätze (35 mm x 100 mm) für Sensoranpassungen (Thermoelement, DMS, weitere Induktivsensoren, ...)
- 1 serielle Schnittstelle V 24/RS 232 zum Anschluß eines Terminals oder Kommunikationsrechners.

5. Anwendungen in der Langzeitmeßdatenerfassung

Um den Anwendungsbereich dieses Rechnerkonzepts innerhalb der mobilen Meßdatenerfassung zu verdeutlichen, sollen beispielhaft einige durchgeführte Projekte vorgestellt werden.

5.1 Messung des Beanspruchungsprofils

Die abschließende Erprobung neu entwickelter Komponenten oder neuer Schlepperprototypen hat immer im Feldeinsatz zu erfolgen. Jedem Schlepperhersteller stehen hierzu entsprechende landwirtschaftliche Betriebe zur Verfügung, in denen versucht wird, den Versuchsschlepper weitestgehend in den normalen Arbeitsablauf einzugliedern. Die Meßausrüstung ist also so zu gestalten, daß sie für den Einsatz des Schleppers keinerlei Einschränkung darstellt. Auf eine Bedienung seitens des Schlepperfahrers sollte verzichtet werden.

Wegen der hohen Entwicklungs-, Herstellungs- und Erprobungskosten erscheint es jedoch sinnvoll, ein Maximum an Information über die tatsächlich bei der Erprobung aufgetretene Beanspruchung zu sammeln. Von den Fahrern geführte Protokolle und mechanische Zähler zur Bestimmung von Einschalt Dauern, Häufigkeiten und Betriebsparametern bieten sicherlich nur ein Minimum an sicheren Daten.

Für die Ausrüstung eines solchen Versuchsschleppers mit MDES galt es, mit Hilfe möglichst weniger, erprobter Meßstellen möglichst viele den Einsatz beschreibende Ergebnisse zu bekommen. Die benutzten Meßstellen und die hiermit erzielten Ergebnisse sind:

Meßstellen

- Zustand
 - Fahrkupplung
 - Zapfwellenkupplung
 - Lastschaltkupplung
- Drehzahlen
 - Motor
 - Vorderrad
 - Zapfwelle
- Kraftstoffverbrauch

Meßergebnisse

Einschaltdauer
Traktor, Zapfwelle (10 s)

Betätigungen
Fahr-, Lastschalt- und Zapfwellenkupplung

Häufigkeitsverteilungen
Fahrgang, Kraftstoffverbrauch, Motordrehzahl (10 s)
Schlupf, Zapfwellenkupplung (1 s)
Fahrkupplungsbetätigungszeit (0,1 s)
Motorbetriebspunkt, gangweise (10 s)

Der Zustand der Fahr- und Zapfwellenkupplung wurde mit Hilfe von Öldruckschaltern bestimmt, der Status der Lastschaltstufe war direkt aus der Fahrzeugelektrik abzugreifen. Die Motor-, Vorderrad- und Zapfwelldrehzahl wurde mit serientauglichen Induktiv- oder Hallensensoren ermittelt, der Kraftstoffverbrauch mit einem üblichen Durchflußmeßgerät. Parallel zur Messung von Einschalt dauern und Betätigungen wurde alle 10 s der gefahrene Gang aus der Motor- und Getriebeausgangsdrehzahl bestimmt und ebenso wie der mittlere Kraftstoffverbrauch und die mittlere Drehzahl in eine Häufigkeitsverteilung eingetragen.

Zur Ermittlung möglicher Schlupfzustände der Zapfwellenkupplung wurde das prozentuale Verhältnis der Kupplungs-Ein- und Ausgangsdrehzahl sekundenweise klassiert. Aus der Fahrkupplungsbetätigungszeit während der Schaltvorgänge soll auf die Synchronisationszeit, und damit auf die fahrerabhängige Beanspruchung, geschlossen werden. Durch die zweidimensionale Klassierung von Motormoment und -drehzahl separat für jeden Gang erhält man das tatsächliche Belastungsprofil für Getriebe und Motor.

Die Messungen erfolgen ohne Bedieneingriff. Nach Anschluß des Kommunikationsrechners und Einschalten beider Geräte kann das Protokoll der Messung durch Betätigung einer Funktionstaste ausgegeben werden.

5.2 Erprobung einer Schaltanzeige

Als weiteren Fall der Einsatzdatenerfassung soll die in unserem Projekt "Leistungsoptimierung von Traktoren" verwendete Versuchsausrüstung vorgestellt werden.

Zur Erprobung unserer Schaltanzeige wurde ein 125 kW-Schlepper mit lastschaltbarem Getriebe eingesetzt. Die notwendigen Meßstellen sind in Bild 5 schematisch dargestellt. Die Getriebe-Ein- und Ausgangsdrehzahl konnte mit Hilfe der im Serienfahrzeug vorhandenen Sensoren ermittelt werden. Der Motorbetriebspunkt wird sowohl mit Hilfe eines Nadelhubsensors als auch eines Kraftstoffverbrauchsmeßgerätes bestimmt. Durch Vergleich mit dieser bewährten Methode sollte das Langzeitverhalten des Nadelhubsensors überprüft werden. Ein Radarsensor lieferte das Signal für die wahre Fahrgeschwindigkeit, welches als Eingangsgröße für den Optimierungsalgorithmus der Schaltanzeige dient. Neben den Aufgaben der Meßwerterfassung und -verarbeitung versah der Rechner hier auch die Ansteuerung der Schaltanzeige.

Das Betriebsprogramm war in 3 Tasks aufgeteilt, das Meßwerterfassungs-, das Meßwertverarbeitungs- und das Optimierungstask. Meßwertverarbeitungs- und Optimierungstask greifen beide auf die vom Erfassungstask gemessenen, skalierten und in globalen Variablen gespeicherten Werte zurück.

Zur Überprüfung des Optimierungstasks ist ein Deaktivieren der beiden anderen Tasks und die manuelle Eingabe von "Meßwerten" möglich. Dies erlaubt den Algorithmus auch außerhalb von Versuchsfahrten und ohne zusätzlichen Aufwand über eine Simulation der Sensorsignale zu testen.

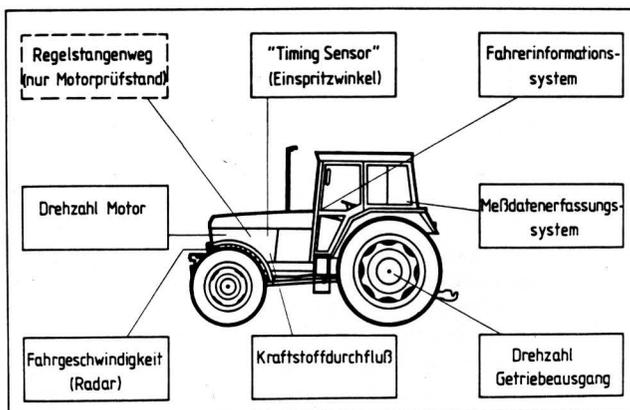


Bild 5. Versuchsausrüstung eines 125 kW-Schleppers mit Lastschaltgetriebe zur Erprobung einer Schaltanzeige.

Wie Bild 6 zeigt, wurde MDES im Fußraum der Kabine eingebaut, wo es für den Fahrer keinerlei Behinderung darstellte.

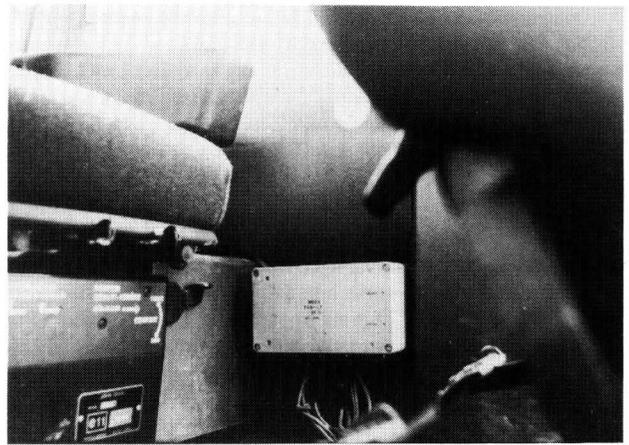


Bild 6. Datenerfassungs- und Steuerungssystem MDES im Fußraum des 125 kW-Versuchsschleppers.

Bei ersten Versuchen wurde der Zeitverlauf der Geschwindigkeits-, Drehzahl- und Drehmomentsignale sowie der eingelegte Gang aufgezeichnet. In diesem Betriebsmodus sind jedoch bei dieser Ausführung von MDES nur Meßzeiten von wenigen Stunden bis zum Auslesen der Daten möglich.

Nach Abschluß der Vorversuche wurden wieder die für die Beurteilung der Schaltanzeige und der Sensoren nötigen Meßwerte der On-Line-Auswertung unterzogen. Die Häufigkeitsverteilung der Betriebspunkte nach einem Pflugeinsatz von 10 Tagen Dauer zeigt Bild 7. Sie ist aus der Summation der für jeden Gang separat bestimmten Verteilung entstanden. Auffallend ist der hohe Zeitanteil im unteren Lastbereich bei niedriger Motordrehzahl aufgrund von Wendemanövern, Leerlauf, etc. Der Erfolg der Schaltanzeige wird an der Häufung der Betriebspunkte im Bereich der Motor-drückung deutlich. Bei Versuchen ohne Schaltanzeige oder beim konventionellen Vergleichsschlepper ist der Schwerpunkt der Verteilung in den Bereich der Abregelkennlinie verschoben.

5.3 Einsatzdatenerfassung mit Minimalausrüstung

Für vergleichende Untersuchungen zur Funktion und Akzeptanz der Schaltanzeige wurde der Schlepper (97 kW Allradsschlepper) eines interessierten Landwirts mit einer Versuchsausrüstung ausgestattet. Die notwendigen Eingriffe ins Fahrzeug sollten dabei auf ein Minimum reduziert werden. MDES wurde daher außerhalb der Fahrerkabine am hinteren Kotflügel montiert, Bild 8. Ein Nadelhubsensor und ein Näherungsschalter für die Raddrehzahl reichten aus, um Motordrehmoment, Motordrehzahl, theoretische Fahrgeschwindigkeit, den eingelegten Gang sowie daraus abgeleitete Größen zu bestimmen und wie beschrieben statistisch zu analysieren.

Nach Abschluß der Untersuchungen zur Schaltanzeige im September 1985 dient das Erfassungssystem jetzt dazu, den Nadelhubsensor im Dauereinsatz zu testen und ein Einsatzspektrum des Schleppers zu bestimmen. Neben den oben angeführten Größen wird Datum, Betriebsdauer, mittlere Motordrehzahl und mittlere Motorleistung für jeden Einsatz gespeichert. Die Datenentnahme erfolgt alle 1 bis 2 Monate.

5.4 8-Kanal-Klassier- und Effektivwertmeßgerät

Bei herkömmlichen Meßverfahren zur Untersuchung der Fahrdynamik werden die Beschleunigungssignale der Sensoren auf dem Fahrzeug verstärkt, über eine Telemetriestrecke zu einem Meßwagen übertragen und dort auf einem Bandgerät gespeichert. Die eigentliche Auswertung der Signale hinsichtlich ihrer Effektivwerte

und der spektralen Leistungsdichte erfolgt wegen der benötigten Rechnerkapazitäten im Labor. Bei Optimierungsaufgaben, wie z.B. bei einer gefederten Vorderachse [13], bei der die beste Kombination aus Feder- und Dämpferkonstanten ermittelt werden muß, ist dieser Weg nicht gangbar.

In wenigen Stunden wurde ein mit Analog/Digital-Wandlern bestücktes Datenerfassungssystem so programmiert, daß es zu einem Klassier- und Effektivwertmeßgerät wurde.

Acht Analogsignale von Beschleunigungs- und Wegsensoren werden mit jeweils 100 Hz abgetastet, klassiert und für die Effektivwertbestimmung aufbereitet. Im Anschluß an die Meßfahrt stehen dem Versuchsingenieur diese Werte sofort zur Verfügung, so daß eine Optimierung des Schwingungsverhaltens effizient durchführbar ist.

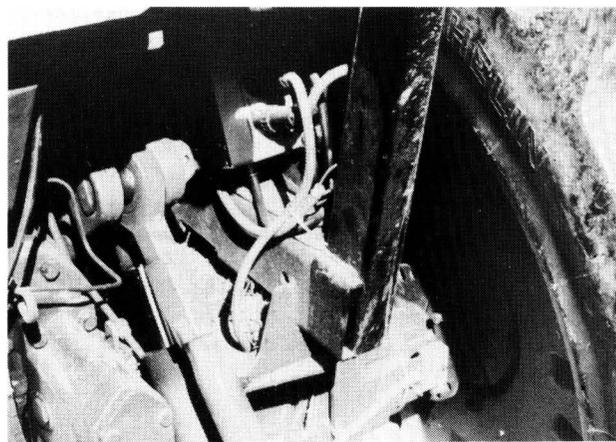


Bild 8. Datenerfassungssystem MDES außerhalb der Fahrerkabine montiert an einem 97 kW-Standardschlepper.

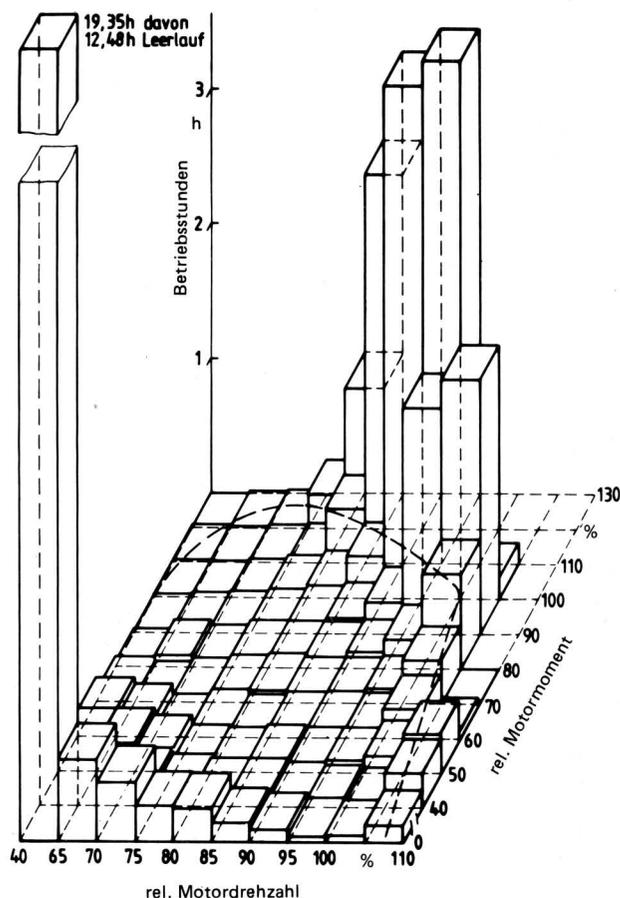


Bild 7. Verteilung der Nutzungsdauer von Motordrehzahl und -moment eines voll lastschaltbaren 125 kW-Schleppers mit Schaltanzeige bei 10tägigem Pflugeinsatz

Schlepper: JD 4450 – 125 kW, LS-Getriebe
 Gerät: 5 Schar-Drehpflug + Packer u. Krümmler
 Boden: lehmiger Ton
 Zeit: 14.9.85 – 26.9.85 – 49 h
 ----- Kennfeldbegrenzung

5.5 Prototypentwicklung von Steuerungen

Die geringen Losgrößen landwirtschaftlicher Fahrzeuge rechtfertigen in der Regel nicht die Herstellungs- und Entwicklungskosten für Steuerungen auf der Basis von Ein-Chip-Microcontrollern. Für die Regelung von Pflanzenschutzgeräten, für Hektarzähler oder Bordinformatoren werden daher gängige 8 Bit-Prozessoren (meistens Z80) verwendet.

Das beschriebene FORTH-Echtzeitbetriebssystem wurde daher auf einem Z80-Ein-Platinen-Computer mit Wrapfeld für Hardwareerweiterungen implementiert. Während der Entwicklungsphase kann mit Hilfe einer Zusatzkarte die Softwareentwicklung auch im Feldeinsatz direkt auf der Zielhardware erfolgen. Die entwickelte Software ist nach einer eventuellen Anpassung der Variablenbereiche direkt ROM-fähig.

6. Zusammenfassung

Es wurde ein flexibles Mikrocomputerkonzept vorgestellt, das aufgrund seiner robusten und kompakten Ausführung besonders für den Langzeiteinsatz in der Fahrzeugtechnik geeignet ist. Eine an diese Aufgaben angepaßte Programmiersprache erlaubt die einfache und schnelle Formulierung von Standardmeßaufgaben. Die Durchführung der Messungen erfordert dann nur die Betätigung weniger Funktionstasten eines handlichen Kommunikationsrechners zum Laden des Programms bzw. Auslesen der Daten.

Zur effizienten Prototyp-Entwicklung von Steuerungen steht ein erweiterbarer 1/2-Europaplattencomputer zur Verfügung, der auf dem gleichen Softwarekonzept beruht.

Schrifttum

- [1] Green, M.K., B.A. Stout u. S.W. Searcy: Instrumentation package for monitoring tractor performance. ASAE-Paper No. 83-1562, ASAE, St. Joseph, Michigan, 1983.
- [2] Bodyl, B., F. Schröder u. D. Schürmann: Rechnerunterstützte Fahrleistungs- und Verbrauchsmessung. Automobil-Industrie Bd. 30 (1985) Nr. 1, S. 23/30.
- [3] Stange, K., L.L. Christianson, B. Thoreson, R. Alcock u. B. Vik: Microcomputer goes to the field to gather tractor test data. Agric. Engineering Bd. 65 (1984) Nr. 1, S. 21/25.
- [4] Clark, R.L. u. A.H. Adsit: Microcomputer based instrumentation system to measure tractor field performance. Trans. ASAE Bd. 28 (1985) Nr. 2, S. 393/96.
- [5] Grogan, J., D.A. Morris, S.W. Searcy, H.T. Wiedemann u. B.A. Stout: Microcomputer-based information feedback system for improving tractor efficiency. ASAE-Paper No. 84-1594, ASAE, St. Joseph, Michigan, 1984.
- [6] Hoyer, H.: Einsatzerfahrungen mit einem Mikrorechner auf mobilen Landmaschinen. Agrartechnik (Berlin) Bd. 35 (1985) Nr. 8, S. 371/73.

- [7] *Hohenberger, J.G. u. P.G. Alexander:* Microprocessor based data acquisition system for mobile equipment. ASAE-Paper No. 81-1569, ASAE, St. Joseph, Michigan, 1981.
- [8] *Biller, R.H.:* Aufbau und Einsatz eines Datenerfassungssystems für Ackerschlepper. Grundl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 4, S. 97/104.
- [9] *Ismail, S., O. Balcarek u. R. Burkhardt:* Meßwertfassungs- und Verarbeitungssysteme für den mobilen Feldeinsatz. Grundl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 4, S. 104/10.
- [10] *Kipp, J.-C. u. E. Bergmann:* Schaltanzeigen für Traktoren – Strategien, Aufbau, Feldversuch. Grundl. Landtechnik Bd. 36 (1986) Nr. 1, S. 22/30.
- [11] *Bergmann, E., J.-C. Kipp u. H. Göhlich:* Experiences on optimization algorithms for heavy tractor operations. Proc. Agrimation 2, Chicago, 3./5. März 1986.
- [12] *Bergmann, E. u. K. Gottschalk:* Ein einfaches Hochsprachen-Echtzeitbetriebssystem für Minimalsysteme. Elektronik Bd. 35 (1986) Nr. 22, S. 121/30.
- [13] *Weigelt, H.:* Vorderachsfederung für landwirtschaftliche Schlepper. Grundl. Landtechnik Bd. 36 (1986) Nr. 2, S. 54/59.

Betrachtungen zur Elektronik-Anwendung bei Traktoren

Von Karl-Heinz Mertins und Alfred Gerhards, Köln*)

Professor Dr.-Ing. Horst Göhlich zum 60. Geburtstag

DK 631.372:681.518:621.3.049.77

Aus einer herstellerbezogenen Sicht werden Möglichkeiten und Randbedingungen diskutiert, die für die Elektronik-Anwendung von Bedeutung sind.

Dabei stehen naturgemäß kurzfristig umsetzbare technische Lösungen mit überschaubarem Entwicklungsrisiko im Vordergrund. Derartige, vom rein wissenschaftlich-technischen Standpunkt nicht immer voll befriedigende Teillösungen können sich gleichwohl bei evolutionärer Weiterentwicklung als über längere Zeit marktgerecht erweisen.

Die angeführten Bewertungshilfsmittel, die sich auch auf angrenzende Arbeitsgebiete übertragen lassen, ermöglichen den Nachweis der aus gezielter Elektronik-Anwendung resultierenden Nützlichkeit.

1. Die Marktsituation bei landwirtschaftlichen Traktoren

Die Analyse der Marktsituation und das Erkennen der gegenwärtigen Phase im "Lebenszyklus" eines Produktes – hier: landwirtschaftlicher Traktoren – sind wesentliche Voraussetzungen, um sinnvolle innovative Weiterentwicklungen durchsetzen zu können. Der Traktorenbestand in der Bundesrepublik Deutschland – und in weiteren Staaten mit hochentwickelter Landwirtschaft – strebt einer Sättigungsgrenze zu, Bild 1, Kurve a. Gleiches gilt für den flächenbezogenen Treibstoffverbrauch, der ein Maß für die Intensität des Einsatzes von Mechanisierungsmitteln ist (Kurve b), und den flächenbezogenen Stickstoffaufwand beim Maisanbau (USA), der ein weiteres Maß für die Intensität des Einsatzes von Produktionsmitteln darstellt.

*) Dr.-Ing. K.-H. Mertins ist Projektleiter Elektronik, Dipl.-Ing. A. Gerhards Leiter der Hauptabteilung Versuch in der Traktorenentwicklung der Klöckner-Humboldt-Deutz AG, Entwicklungswerk Porz.

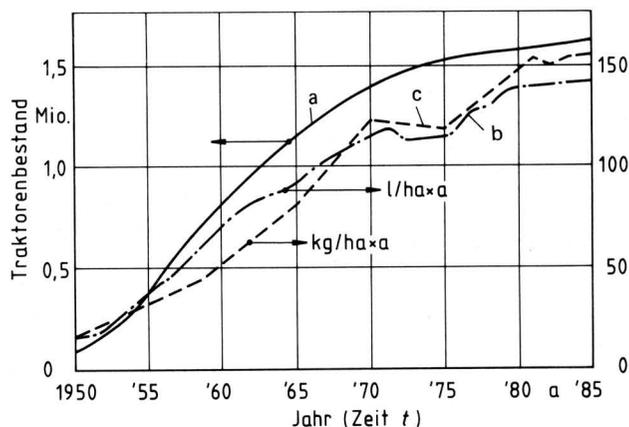


Bild 1. Beispiele von Entwicklungstendenzen in der Landwirtschaft.

- a Traktorbestand in der Bundesrepublik Deutschland, nach *Söhne u. Renius* [1]
 b flächenbezogener, jährlicher Treibstoffverbrauch in der bundesdeutschen Landwirtschaft, nach [2]
 c flächenbezogene, jährliche Stickstoffgabe beim Maisanbau in den USA [3]

Bei Traktoren müssen daher für die Zukunft tendenziell weiter sinkende Absatzzahlen (d.h. auch Produktions-Stückzahlen) angenommen werden. Einhergehend mit der Tendenz zu weniger, aber größeren landwirtschaftlichen Betrieben, wird sich ein Teil des Traktorenbedarfs zu leistungsstärkeren Einheiten verschieben. Deren Einsatz erfolgt intensiv und professionell wie bei industriellen Investitionsgütern üblich.

Die Gesetzmäßigkeiten des Marktes dürften zunehmend von der Käuferseite bestimmt werden. Verstärkte Forderungen nach anwenderspezifischen technischen Lösungen werden zu einer Steigerung der Variantenvielfalt führen.