

# Sensoren für die Landtechnik

Von Holger Bruns, Berlin\*)

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

DK 631.3:621.317:681.325

Zur Optimierung landwirtschaftlicher Fahrzeuge werden derzeit immer häufiger dem Anwender elektronische Informations- und Regeleinheiten an die Seite gestellt. Die steigende Komplexität der zu erfassenden Abläufe erfordert zum einen den Aufbau eines leistungsgerechten Rechnersystems und zum anderen den Einsatz für die Landtechnik spezifizierter Sensoren. Zweck dieser Arbeit ist es, anhand eines für die Landtechnik spezifizierten Ultraschallsensors die vorherrschende Sensorproblematik und daraus resultierende Rechnerstrukturen zu beschreiben.

## 1. Einleitung

In einem ständig komplexeren System, wie es z.B. der Traktor für sich selbst oder im Verbund mit einem Arbeitsgerät darstellt, muß je nach erwünschtem Optimierungsgrad eine Vielzahl von Prozeßgrößen dieses Systems ermittelt werden. Eine Vielzahl dieser Prozeßgrößen läßt sich bereits durch industrieerprobte Sensoren erfassen, wie z.B. Öldrücke, Temperaturen, Drehzahlen usw. Jedoch erfordern landwirtschaftliche Maschinen auch Sensoren anderer Art, die z.B. aus der Eingangsfunktion "Feld" Meßdaten ermitteln, die zur Berechnung der tatsächlichen Geschwindigkeit und des Abstandes eines Arbeitsgerätes erforderlich sind. Wegen der komplexen Störeinflüsse ist diese Aufgabe von den Sensoren derzeit allein kaum zu lösen, so daß nachfolgende Kontroll- und Steuereinheiten in ihrem Aufbau diesem Sachverhalt Rechnung tragen müssen. Diese Einheiten stellen sich in der Regel als digital arbeitende Rechner dar.

## 2. Sensoren

Jede Erfassung eines Prozesses bedingt den Einsatz von Sensoren, die eine physikalische Größe in eine äquivalente elektrische Spannung transformieren. Die Meß- und Umwandlungsgenauigkeit stellt somit ein entscheidendes Kriterium für die Güte des gesamten elektronischen Systems dar. Im Bereich der landwirtschaftlichen Fahrzeuge lassen sich grundsätzlich die Sensoren in zwei Klassen einteilen:

1. intern wirkende Sensoren
2. extern wirkende Sensoren.

\*) Dipl.-Ing. H. Bruns ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Maschinenkonstruktion, Bereich Landtechnik und Baumaschinen (Leiter: Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich) der Technischen Universität Berlin.

### 2.1 Intern wirkende Sensoren

Unter internen Sensoren sollen Sensoren innerhalb des Fahrzeuges oder des Arbeitsgerätes aufgefaßt werden. Sie erfassen z.B. Parameter wie die Motordrehzahl und Pumpendrucke und haben somit keinen Bezug zu der in der Landtechnik vorherrschenden Umwelt "Feld". Die hierfür eingesetzten Sensoren stammen in der Regel aus dem Bereich der Automobilindustrie und verfügen bereits über eine ausreichend hohe Zuverlässigkeit hinsichtlich Lebensdauer und Genauigkeit.

### 2.2 Extern wirkende Sensoren

Zur Positionierung von Feldspritzen, Pflügen etc. und zur Ermittlung der tatsächlichen Geschwindigkeit werden extern wirkende Sensoren benötigt, die mittels einer Abtastung des Feldes entsprechende Meßdaten liefern. Neben dem Radarsensor, der zur Erfassung der tatsächlichen Geschwindigkeit herangezogen wird, setzen sich dabei in letzter Zeit immer mehr berührungslos arbeitende Ultraschall-Sensoren durch, die mittels eines Laufzeitverfahrens Abstände zu messen gestatten.

Problematisch wirkt sich dabei die Ausbildung der Bodenfläche bzw. des Pflanzendaches aus. Beide Größen stellen für den Sensor eine stochastische Eingangsfunktion dar, deren Eigenschaften sich erheblich auf die anschließenden, von einem Rechner auszuführenden Verarbeitungsschritte auswirken. Radarsensoren können verfälschte Meßdaten liefern, indem die Nickbewegung des Schleppers oder eine Bewegung der Bestandsoberfläche im Wind unberücksichtigt bleiben.

Derzeitige Ultraschallsensoren, mit denen ein Abstand zur Applikationsfläche ermittelt werden kann, tasten diese Fläche im allgemeinen periodisch ab und ermitteln den Abstand in diskreter Form aus der Laufzeit, die ein ausgesendeter Schallimpuls benötigt, um die Strecke Sensor - Fläche und zurück zu durchlaufen, Bild 1.

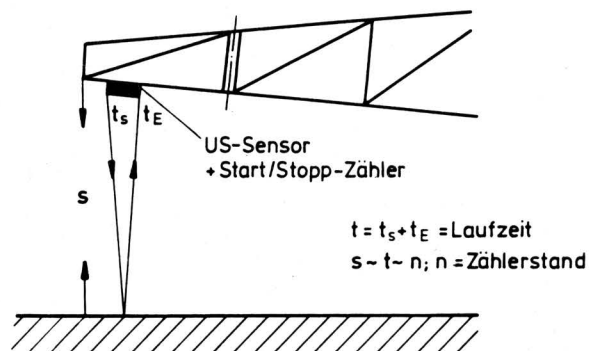


Bild 1. Prinzip einer Abstandsmessung mittels Ultraschall.

Wegen der vorliegenden stochastischen Eingangsfunktion ist somit eine Reproduzierung anhand der Abtastwerte nicht möglich, da das Abtasttheorem nicht erfüllt werden kann.

Weitere Störeinflüsse auf das Meßergebnis ergeben sich aus der Umgebungstemperatur, die jedoch kompensiert werden können, und der unabdingbaren Größe der Reflexionsfläche, die durch die Wellenausbreitung des Sendesignals an der Zielfläche entsteht.

Aus diesen Gründen kann eine Optimierung der Meßeigenschaften bzw. der Auswertbarkeit nur durch weiterentwickelte und auf die Bedürfnisse der Landtechnik ausgerichtete Sensoren oder durch geeignete Rechnerprogramme gewährleistet werden.

### 2.3 Untersuchung eines Ultraschall-Sensors auf Einsatztauglichkeit

Derzeit verfügbare Ultraschall-Sensoren arbeiten mit einer Abtastfrequenz von ca. 25 Hz. Ihr Auflösungsvermögen beträgt dabei zwischen 1 und 10 mm. In der Regel können Abstände bis zu 2 m erfaßt werden. Die Meßdatenausgabe findet generell in digitaler Form statt.

Zur Untersuchung der Frage, ob die genannten Sensoreigenschaften für die Abtastung einer Applikationsfläche – speziell eines Pflanzendaches – ausreichend sind, wurde mit Hilfe eines Schienenwagens ein repräsentativ ausgewählter Sensor in einem versuchs-technisch bedingten, mittleren Abstand von 0,7 m über einen künstlichen Pflanzenbestand geführt. Die Geschwindigkeit betrug 2 m/s. Die ermittelten Meßdaten wurden durch ein Computerprogramm mit einer Abtastfrequenz in Höhe des 6fachen der Sensorfrequenz eingelezen.

Nach dieser Erfassung der Rohmeßdaten gestattete das Programm eine Filterung durch eine nicht rekursive, gleitende Mittelwertbildung (integrierendes Verhalten) und durch eine Grenzwerterkennung, die unerwünschte Meßdaten unterdrückt, wie z.B. Meßdaten für den Bodenabstand bei der Messung zur Bestandsoberfläche während der Überfahrt über einen Bestand.

Wie aus Bild 2 ersichtlich, ergeben sich bei der Überfahrt Rohmeßdaten, die sowohl das Pflanzendach als auch die Bodenoberfläche repräsentieren. Bedingt durch die diffuse Reflexion entstehen zusätzliche irreguläre Werte.

Die Gründe hierfür liegen in der Gestalt der Schallkeule, die sich als Reflektionsfläche am Zielort auswirkt, und in der Abtastfrequenz, die wegen der Nichterfüllung des Abtasttheorems von vornherein eine Verfälschung verursacht. Die Verwendung höherer Abtastfrequenzen könnte hierbei deshalb genauere Meßdaten produzieren.

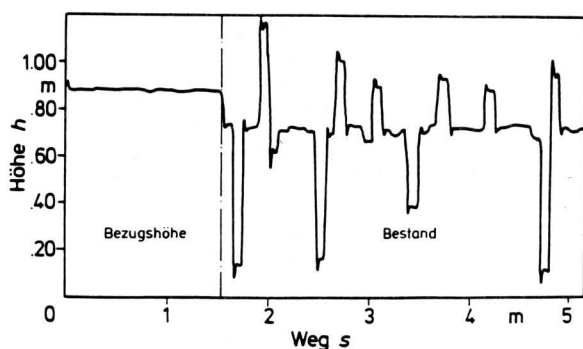


Bild 2. Filterlose Abtastung eines künstlichen Pflanzenbestandes und eines quaderförmigen Referenz-Hindernisses durch einen Ultraschallsensor.

Durch die Anwendung eines gleitenden Mittelwertfilters lassen sich bereits aufbereitete Meßdaten gewinnen, Bild 3, die für Informationssysteme oder langsame Regeleinrichtungen verwertbar sind. Untersuchungen haben dabei ergeben, daß jeweils eine Anzahl von ca. 20 Rohmeßdaten zur gleitenden Mittelwertbildung gerechnet werden muß, was allerdings die Verarbeitungsgeschwindigkeit eines dazu eingesetzten Rechners – bedingt durch die 20fache Addition – herabsetzen würde.

Eine Grenzwerterkennung hingegen eliminiert lediglich Werte, die nicht der erwünschten Zielfläche (z.B. Pflanzendach) zuzuordnen sind. Dabei kann, je nach vorgegebenem Toleranzbereich der Zielfläche, manchmal jedoch eine grundsätzliche Veränderung des Abstandes Sensor – Applikationsfläche (z.B. Änderung der Wuchshöhe) nicht oder nur unzureichend erkannt werden.

Abhilfe kann hier ein zeitlich zu modifizierender Grenzwert schaffen, der selbständig durch den Rechner zu ermitteln wäre.

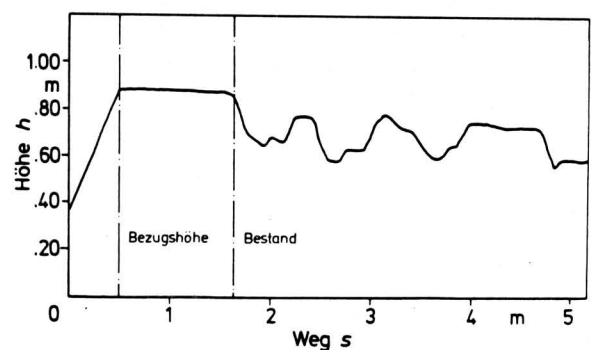


Bild 3. Filterung durch eine gleitende Mittelwertbildung der Kurve in Bild 2.

Um einen "weichen" Verlauf der als Kurve aufgetragenen Meßdaten zu erzielen, liegt es nahe, beide Filtertypen miteinander zu verbinden, Bild 4.

Die erhaltenen Ergebnisse sind als repräsentativ anzusehen. Verschiedene Geschwindigkeiten und vergleichbare Sensoren liefern gleichartig gestaltete Ergebnisse.

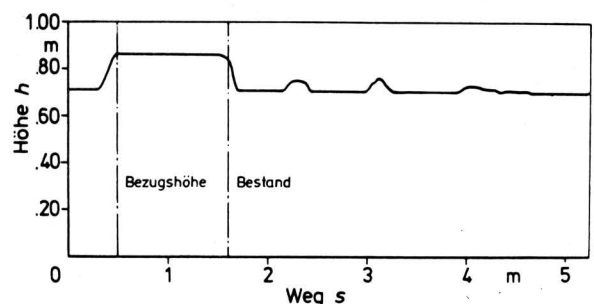


Bild 4. Filterung durch eine Grenzwerterkennung und eine gleitende Mittelwertbildung der Kurve in Bild 2.

### 3. Rechnersysteme

Die Verarbeitung der von den Sensoren erfaßten Rohmeßdaten bzw. der gefilterten Meßdaten zu einer anzeigetauglichen Information oder zu einer Stellgröße ist Aufgabe der eingesetzten Rechner. Derzeit werden zur Optimierung des jeweiligen Arbeitsprozesses separate Geräteeinheiten benutzt. Die steigende Komplexität der Abläufe erfordert jedoch eine leistungsgerechte und zugleich preisgünstigere Lösung.

Grundsätzlich sind hierfür zwei Konzepte denkbar, in denen sämtliche Rechenaufgaben entweder von einem zentralen Bordcomputer oder von einem verteilten Rechnersystem bewältigt werden. Bild 5 zeigt anhand eines Feldspritzgestänges den Anschluß verschiedener Sensoren an einen Rechner. Dieser kann entweder als zentraler Bordcomputer oder als ein dem Feldspritzgestänge zugeordneter sogenannter Jobrechner angesehen werden, wobei allerdings die auf dem Schlepper ermittelte Geschwindigkeit von einem weiteren Jobrechner ermittelt und übergeben werden muß.

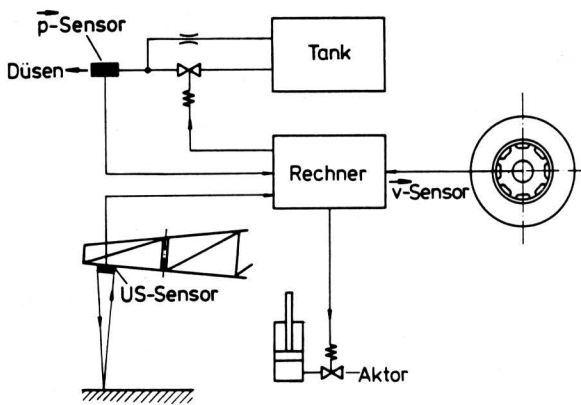


Bild 5. Beispiel eines Systems bestehend aus Sensoren, Aktoren und Rechner.

#### 3.1 Zentraler Bordcomputer

Bei dieser Konfiguration werden sämtliche Ein- und Ausgaben von einem zentral angeordneten Rechner bewältigt, Bild 6. Unter Berücksichtigung der vom Anwender eingegebenen Befehle werden sowohl fahrzeugseitige als auch geräteseitige Sensoren und/oder Aktoren durch das implementierte Programm bedient.

Als nachteilig ist an dieser Konfiguration der zentrale Rechner anzusehen. Eine Erfassung zeitkritischer Vorgänge (Abstand, Schlupf, etc.) erfordert eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit des eingesetzten

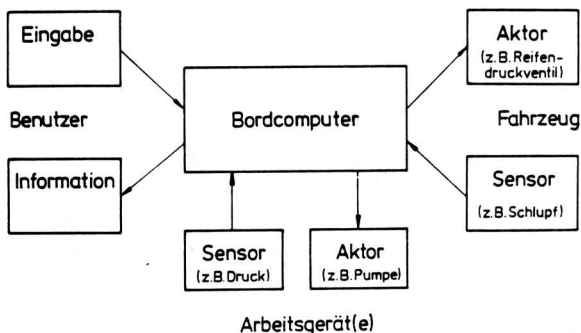


Bild 6. Zentraler Bordcomputer zur Steuerung und Information.

Rechners. Somit können einem weiteren Anschluß von Sensoren aufgrund der Leistungsfähigkeit des Rechners (Rechenoperationen pro Zeiteinheit) Grenzen gesetzt sein.

Aufwendig gestaltet sich des weiteren die Programmstruktur eines solchen Systems, da bei jeder Änderung des Systems Schlepper – Arbeitsgerät entsprechende Unterprogramme und gerätespezifische Parameter dem Bordcomputer zur Verfügung gestellt werden müssen.

Als Vorteil hingegen ist die geringe Anzahl der Komponenten mit der daraus resultierenden kleinen Zahl von Leitungen anzusehen.

#### 3.2 Dezentrales Rechnersystem

Bei diesem Konzept, Bild 7, wird jeweils eine Aufgabenstellung einem Rechner zugeordnet.

Da es unsinnig ist, einen mehrfach benötigten Parameter (z.B. Geschwindigkeit) mehrmals zu ermitteln, stehen die einzelnen Rechner über einen Bus miteinander in Verbindung.

Gegenüber einem zentralen Bordcomputer kann jeder Rechner auf die ihm zugedachte Aufgabe speziell ausgelegt werden. So ist die Kommunikation mit dem Benutzer durch einen eigens vorgesehenen Bordcomputer (dezentral) realisiert, der nur noch die Verwaltung der untergeordneten Rechner aufgrund der Eingaben übernimmt.

Die untergeordneten Rechner arbeiten als Jobrechner und sind dem Benutzer unmittelbar nicht zugänglich. Die diese Rechner betreffenden Eingaben werden ebenso wie bei einem zentralen Bordcomputer über dessen Tastatur übermittelt.

Die problemorientiert programmierten Mikrorechner besitzen den Vorteil, daß sie eine feste Einheit mit dem Arbeitsgerät oder dem Schlepper bilden und somit eine aufwendige Parametereingabe des Anwenders entfällt, da diese bereits vom Hersteller vorgenommen wurde.

Ebenso ist ein modularer Ausbau durch Anschluß weiterer Rechner leichter zu bewerkstelligen als bei einem zentralen System, da lediglich deren Adressierung zwecks Austausch zeitunkritischer Daten eingefügt werden muß.

Nachteilig wirkt sich die größere Anzahl an einzelnen Einheiten und an Leitungen aus. Derzeit existiert auch weiterhin keine Normung der Schnittstelle, über die die einzelnen Rechner miteinander verbunden werden sollen, so daß eine Kompatibilität zwischen Geräten unterschiedlicher Hersteller nicht gewährleistet ist.

Gerade die Erfüllung dieses Punktes ist aber im Gegensatz zur Normung der Schnittstelle Sensor – Rechner, die gegebenenfalls herstellereinspezifisch sein kann, eine entscheidende Voraussetzung für die Universalität dieses Konzeptes.

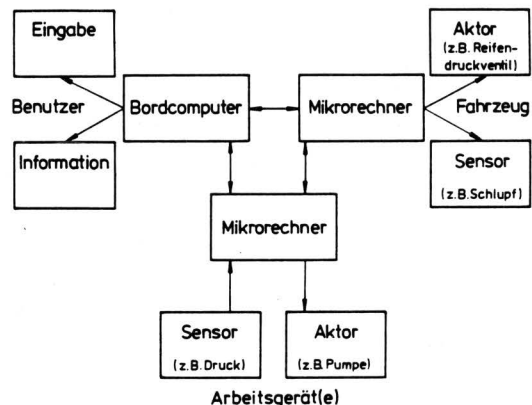


Bild 7. Dezentrales Rechnersystem zur Steuerung und Information.

#### 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.