

- [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 Datenerfassungssysteme 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.

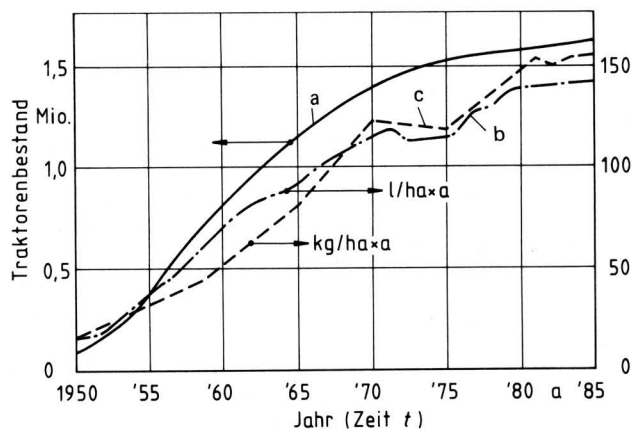


Bild 1. Beispiele von Entwicklungstendenzen in der Landwirtschaft.

- 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.

Wirtschaftspolitische Maßnahmen, wie etwa die Subventionierung einer nationalen Traktorenindustrie, können nicht wieder zu rapidem Wachstum zurückführen, da die augenscheinliche Nachfrage-Stagnation sachlich begründet ist.

In den Hochlohnländern dürfte die Zukunft der Traktorenindustrie in dem Maße gesichert sein, wie es gelingt, eine stetige Innovation im Sinne einer evolutionären Produktverfeinerung und Anpassung an sich wandelnde Agrarstrukturen zu realisieren. Dabei kommt – wie in anderen Wirtschaftszweigen auch – der Anwendung der Mikroelektronik eine wesentliche Bedeutung im Wettbewerb der Anbieter zu [4].

2. Akzeptanz technischer Neuentwicklungen

Je schneller eine technische Entwicklung verläuft, desto spürbarer können auch Widerstände der beteiligten oder betroffenen Personen und Institutionen zutage treten. Über den Erfolg der Anwendung einer neuen Technik entscheiden nicht nur technische Machbarkeit und wirtschaftliche Möglichkeiten –, ebenso wichtig ist die Hürde der Akzeptanz. Darunter ist die Bereitschaft zu verstehen, mit der ein Wirtschaftszweig neue Techniken fördert, zulässt und schließlich anwendet.

Akzeptanz hängt in hohem Maße von der Einstellung der Menschen ab. Unvertrautheit und Unbehagen vor Neuem können nicht allein durch verstärkte sachliche Information abgebaut werden. Tiefsitzende Skepsis wird nur langsam und durch eigene positive Erfahrungen im Umgang mit einer neuen Technik verdrängt. Somit kommt der Wahl des Innovationstempos große Bedeutung zu.

Dies gilt naturgemäß auch für den Traktorenbau, der – obwohl vornehmlich von mehr klassischen Disziplinen des Maschinenbaus geprägt – doch beachtliche Wandlungen erfahren hat [5].

2.1 Die MAYA-Schwelle

Der Wunsch und Drang des Ingenieurs nach Neuem stößt auf eine Grenze, die fließend und für unterschiedliche Produktbereiche unterschiedlich ausgeprägt ist. In der Konsum- und Unterhaltungselektronik werden Neuerungen fast vorbehaltlos akzeptiert. Zurückhaltender ist der Kunde z.B. beim Autokauf, und ausgesprochen konservativ wird bei der Auswahl von Investitionsgütern vorgegangen.

Der Grenzstreifen oder fließende Bereich, welcher die begeisterte Aufnahme eines neuen Produkts von einer abrupten Ablehnung trennt, wurde von R. Loewy als "Schockzone" bezeichnet. Sie stellt für den Innovationsgehalt einer technischen Lösung die Grenze dar, deren Überschreitung auch bei funktionalen, wirtschaftlichen und logisch richtigen Argumenten für das Produkt tödlich sein kann, Bild 2.

Die Grenze innerhalb der allgemeinen Schockzone, die für das entsprechende Einzelprodukt Gültigkeit hat, wird – ebenfalls nach Loewy – als MAYA-Schwelle bezeichnet (MAYA = most advanced yet acceptable) [6]. Sie ist eine Erfahrungsgröße und metrisch in der Entwicklungsphase allenfalls durch Hinzuziehen eines repräsentativen Kollektivs potentieller Kunden in sog. clinic tests zu erfassen.

Ein Unternehmen, das als erstes eine bestimmte Produktneuheit herausbringt, trägt ein erhöhtes Risiko, die MAYA-Schwelle zu überschreiten und damit wirtschaftliche Verluste in Kauf nehmen oder den Markt "missionieren" zu müssen.

2.1.1 Innovationsgrad

Schockzone und MAYA-Schwelle verschieben sich in überschaubaren Zeiträumen durch Gewöhnungs- und Konditionierungseffekte kontinuierlich nach oben.

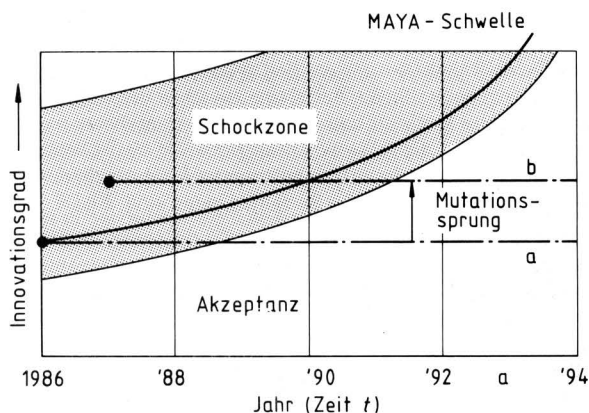


Bild 2. Schockzone und MAYA-Schwelle (most advanced yet acceptable) nach Loewy [6] als Grenzen zwischen qualitativ zulässigen, d.h. vom Anwender akzeptierten technischen Lösungen und den zum gleichen Zeitpunkt von breiten Käuferschichten abgelehnten (zu fortschrittlichen) technischen Lösungen; a und b stellen zeitlich aufeinander folgende Lösungen unterschiedlichen Innovationsgrades dar.

Die Entwicklung eines neuen elektronischen Anzeige- oder Steuergeräts erfordert einschließlich Lastenhefterstellung bis zum Serienbeginn typisch mindestens zweieinhalb Jahre, Bild 3. Daher darf der Innovationsgrad einer Neuentwicklung bei Erteilung des Entwicklungsauftrags nicht zu niedrig angesetzt werden. Er sollte im Idealfall deutlich über der momentanen MAYA-Schwelle liegen, um bei Produktionsbeginn noch dem Anspruch einer Neuerung genügen zu können.

Bei Weiterentwicklungen ist es wichtig, die richtige Mutations-schrittweite zu finden. Gemäß dem Rechenbergschen Mutations-Selektions-Verfahren zur Optimierung technischer Apparate, das der biologischen Evolution nachempfunden ist, spielt das sog. Evolutionsfenster eine wichtige Rolle [7]. Danach tragen Änderungen (Mutations-sprünge) nur dann zum gedeihlichen Fortschritt bei, wenn sie in einem eng begrenzten Schrittweitenband liegen, Bild 2.

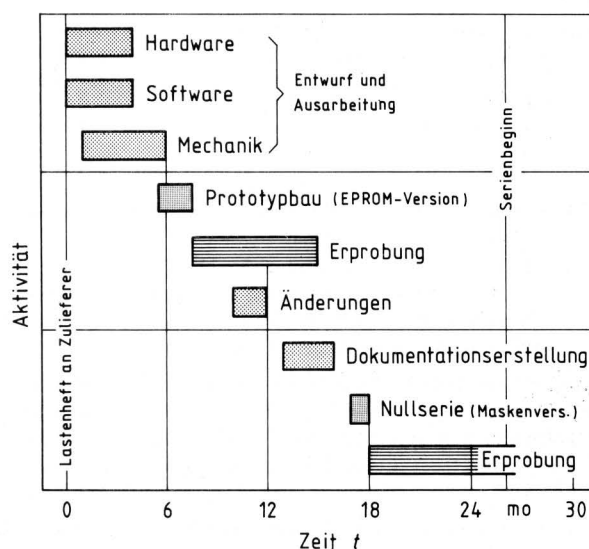


Bild 3. Zeitlicher Grobbauplan der Entwicklung elektronischer Geräte, dargestellt am Beispiel einer digitalen Anzeigeeinheit für landwirtschaftliche Traktoren.

2.1.2 Innovationsumfang

Wesentliche Einflußfaktoren auf den zulässigen Innovationsumfang sind angebotsseitig die Beziehung zwischen der technischen Wertigkeit eines Produkts und dessen Produktionskosten (wirtschaftliche Wertigkeit [8]) sowie nachfrageseitig die Beziehung zwischen dem Anwendernutzen bestimmter Leistungsmerkmale und dem Preis, den Anwender zu zahlen bereit sind, Bild 4.

Um die Akzeptanz eines Preis/Leistungs-Verhältnisses bestimmen zu können, muß der Anwendernutzen der jeweiligen technischen Lösung untersucht und bewertet werden. Hierzu werden zunehmend Systemsimulationen mit Hilfe eines Digitalrechners vorgenommen. Die mit einer bestimmten Leistungserhöhung verbundene Preiserhöhung wird von der Mehrzahl potentieller Anwender nicht mehr akzeptiert. Wenn die Nachfragefunktion deutlich flacher verläuft als die Angebotsfunktion, ergibt sich ein Bereich, der als Innovationsfalle bezeichnet wird [9]. Hochwertige technische Lösungen, die in diesem Bereich liegen, sind trotz höchsten Anwendernutzens aus Preisgründen nicht vermarktbare.

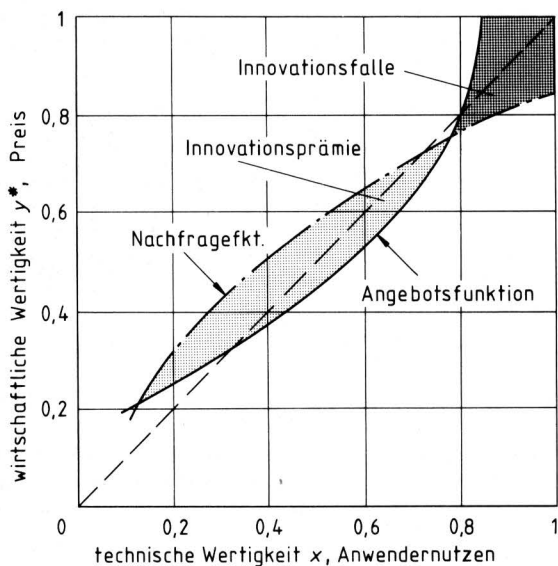


Bild 4. Technische Lösungen unterschiedlicher "Stärke" (auf der Angebotsfunktion), in Anlehnung an das s-Diagramm nach VDI 2225 [8], mit Zuordnung zur käufer-induzierten Nachfragefunktion; Kurvenverläufe sind fiktiv, jedoch typisch auch für den landtechnischen Bereich.

Aus heutiger Sicht können als Beispiele für überhöhten Innovationsumfang (und -grad) angeführt werden:

- der fahrerlose, fremdgesteuerte Traktor [10]
- ein integriertes Computer Aided Farming (CAF) System, z.B. nach Bild 5, mit Einbindung des Traktors über Schnittstellen in eine betriebseigene Gesamt-EDV.

Damit ist jedoch eine spätere kommerzielle Realisierung derartiger Lösungen unter veränderten technisch-ökonomischen Randbedingungen nicht in Abrede gestellt. Vielmehr können solche Utopien von heute als Zielprojektion im Tagesgeschäft der Entwicklung äußerst nützlich sein.

In diesem, am kurzfristigen unternehmerischen Erfolg orientierten Tagesgeschäft müssen die für den Bereich der Innovationsprämie, Bild 4, optimalen Lösungen erarbeitet werden. In diesem Bereich sind die Nachfrager bereit, höhere Preise für verschiedene Leistungsniveaus oder Produktmerkmale zu zahlen, als - im günstigsten Fall - anbieterseitig erforderlich wäre oder dem Kostenverursachungsprinzip entspricht [9].

stationärer Teil, Hof

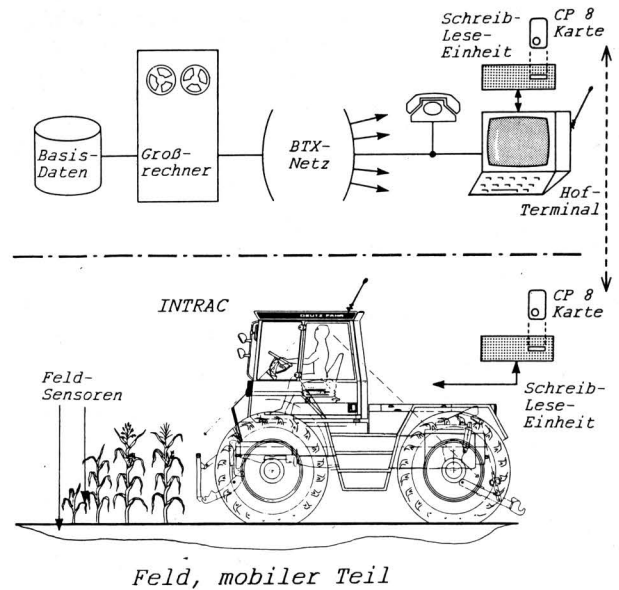


Bild 5. Kopplung der ortsgebundenen EDV mit mobilen landtechnischen Einheiten als Möglichkeit eines zukünftigen integrierten Computer-Aided-Farming (CAF)-Systems zur optimalen Führung leistungsfähiger landwirtschaftlicher Betriebe.

3. Ansätze zur Funktionsverbesserung des Systems Traktor/Gerät durch elektronische Hilfsmittel

Auf den professionellen Traktoreinsatz - z.B. durch Lohnunternehmer - bezogen, läßt sich anhand der Einflußmächtigkeit ökonomischer und betriebstechnischer Faktoren auf das Betriebseinkommen eine Rangliste bedeutsamer Entwicklungsziele ableiten, Bild 6. Demnach kommt der Steigerung der Schlagkraft und der Verfügbarkeit des Fahrzeugs eine überragende Bedeutung zu.

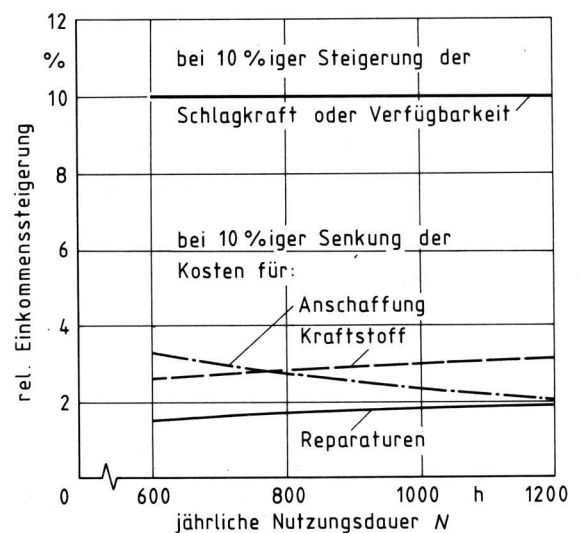


Bild 6. Relative Einkommenssteigerung in Abhängigkeit von der jährlichen Nutzungsdauer bei Wirksamwerden verschiedener ökonomischer und betriebstechnischer Faktoren (Betriebseinkommen eines Lohnunternehmers bei Einsatz eines 110 kW-Schleppers); Zahlenwerte abgeleitet nach Riemann [11].

Bedingt durch gestiegenes Energiebewußtsein, ist in den vergangenen Jahren der Kraftstoffverbrauch der Traktoren häufig in den Mittelpunkt des Interesses gerückt, was aber eher emotional verständlich denn durch Kostenrechnung belegbar gerechtfertigt ist. Mit steigender jährlicher Nutzungsdauer verliert auch die Höhe des Anschaffungspreises an Bedeutung, und Reparaturen müssen lediglich im Hinblick auf eine Minderung der Verfügbarkeit des Fahrzeugs kritisch betrachtet werden.

3.1 Fahrerinformationssysteme

Die optimale Auslastung einer Traktor/Geräte-Kombination ist häufiger und in hohem Maße durch die physische und psychische Wahrnehmungs- und Leistungsfähigkeit des Fahrers als durch rein technische Parameter begrenzt [12, 13, 14]. Steigerungen der Schlagkraft und damit der Wirtschaftlichkeit sind folglich möglich, wenn es gelingt, die durch menschliche Unzulänglichkeit gegebenen Systemreserven auszuschöpfen. Ein naheliegendes Hilfsmittel dazu können Fahrerinformationssysteme mit – gegenüber dem herkömmlichen Traktormeter – verbesserter Darstellungsform und erweitertem Informationsgehalt sein [15, 16, 17], Bild 7.

Beim Einsatz des Traktors mit Geräten ohne eigene Regelfunktionen, z.B. schwere Bodenbearbeitungsgeräte, kann bereits mit einer deutlich ablesbaren und präzisen digitalen Geschwindigkeitsanzeige eine Schlagkraftoptimierung erreicht werden. Ohne motorische Daten erfassen zu müssen, genügt es, hierzu unter allen noch sinnvollen Boden- und Witterungsbedingungen die theoretische oder die wahre Fahrgeschwindigkeit auf den maximalen Wert einzustellen. Mit der Anzeigefunktion "Flächenleistung" kann auf bequeme Weise auch der Einfluß veränderter Gerätearbeitsbreiten während der Fahrt beurteilt werden.

Weiter dürften Fahrzeugdiagnosesysteme ("Check control") zur Erkennung des Wartungszustands an Bedeutung gewinnen [18]. Mit Hilfe solcher Systeme könnten einerseits die heute üblicherweise nur an festen Betriebsstundenintervallen orientierten Wartungs- und Pflegemaßnahmen bedarfsgerechter und kostengünstiger durchgeführt werden. Noch wichtiger erscheint es, aus einer meßtechnischen Überwachung an Verschleiß- und Leistungsteilen Entscheidungen zum rechtzeitigen Austausch abzuleiten, bevor es zu einem Schadensfall während des Einsatzes kommt. So ließe sich eine erhöhte Verfügbarkeit bei gleichzeitig verringertem Ausfallrisiko erreichen.

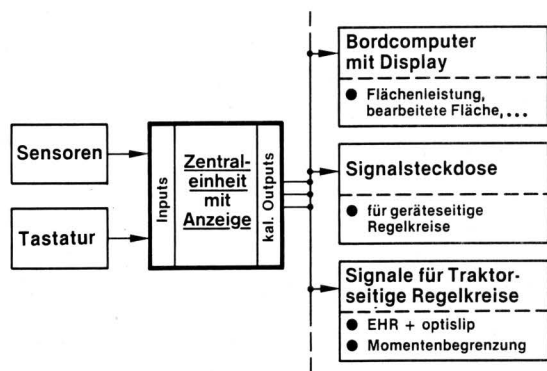


Bild 7. Vereinfachte Blockdarstellung eines modularen Fahrerinformationssystems für Traktoren (DEUTZ FAHR Agrotronic); Anzeige und Ausgangssignale (Outputs) sind zur Anpassung an unterschiedliche Bereifungen, Achslasten und Bodenbedingungen durch den Benutzer kalibrierbar.

3.2 Regeleinrichtungen

Darüber hinaus ist eine weitere Steigerung der Arbeitsproduktivität möglich, wenn technologische Prozesse oder zumindest Teilfunktionen mit verringerter oder ohne direkte menschliche Hilfe, d.h. unter Einsatz selbsttätiger Steuerungen oder Regelungen geführt werden.

Solange dabei nur vorhandene und bewährte mechanische oder mechanisch/hydraulische Systeme durch elektronische Ausführungsformen ersetzt werden (Beispiel: Hubwerksregelungen), kann sich ein besonderer Nutzen der Mikroelektronik nur schwerlich offenbaren. Werden jedoch neuartige Zusatzfunktionen, wie eine Geschwindigkeitsrückführung [19] oder eine Schlupfaufschaltung [20] beim Bearbeiten stark inhomogener Böden, Bild 8, oder eine aktive Schwingungsdämpfung für höhere Lenksicherheit bei Transportfahrten [21], integriert, dann kann die neue Technik ihre spezifischen Vorzüge hinsichtlich intelligenter Signalverarbeitung zur vollen Geltung bringen.

Die Mehrfachnutzung einmal erfaßter Meßsignale an verschiedenen Stellen vermag durch Synergieeffekte den Nutzwert deutlich zu steigern. Geht man davon aus, daß die traktorseitigen Drehzahlen und Geschwindigkeiten zum Zweck der Anzeige ohnehin gemessen werden, so ist es nur konsequent, diese Informationen auch in traktorseitigen Regelkreisen zu verwenden.

Ebenso liegt es nahe, insbesondere Fahrgeschwindigkeitssignale an einer Signalsteckdose, Bild 7, auch den Geräteherstellern z.B. für Dosierregelungen verfügbar zu machen, wobei die Wahl einer frequenzanalogen Signalform favorisiert wird. Bei allen Verteilarbeiten ist durch eine exakte Dosierregelung und verminderten Betriebsmittelaufwand nicht nur ein erhebliches finanzielles Einsparpotential gegeben, gleichzeitig wird auch eine mögliche Umweltbelastung durch Agrarchemikalien reduzierbar und kontrollierbar.

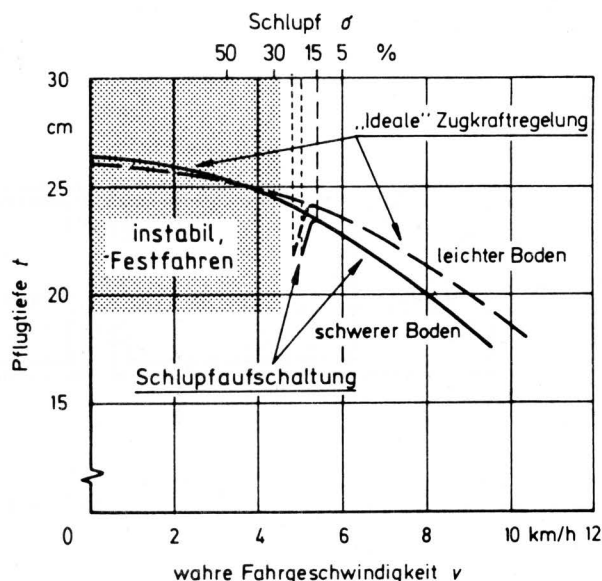


Bild 8. Pflugtiefe als Funktion der wahren Fahrgeschwindigkeit; Schlupfaufschaltung bei der elektronischen Hubwerksregelung zur Vermeidung von instabilen Fahrzuständen bei Regelung nach der Zugkraft, zur Verbesserung der Motorauslastung sowie zur Entlastung des Fahrers.

Damit der Traktor nun neben seinen bisherigen Schnittstellenfunktionen, die vornehmlich der Kraft- und Leistungsübertragung dienen, auch die Funktion einer Signalquelle erfüllen kann, Bild 9, ist es erforderlich, bezüglich der elektrischen und mechanischen Eigenschaften sowie der Informationsinhalte an der Signalsteckdose Vereinbarungen zu treffen. Diese sollten für möglichst viele beteiligte

Firmen akzeptabel sein und schließlich Normencharakter annehmen. Dem Anwender, ob Einzellandwirt oder Lohnunternehmer, böte eine allgemein kompatible, firmenübergreifende Lösung letztlich nur Vorteile.

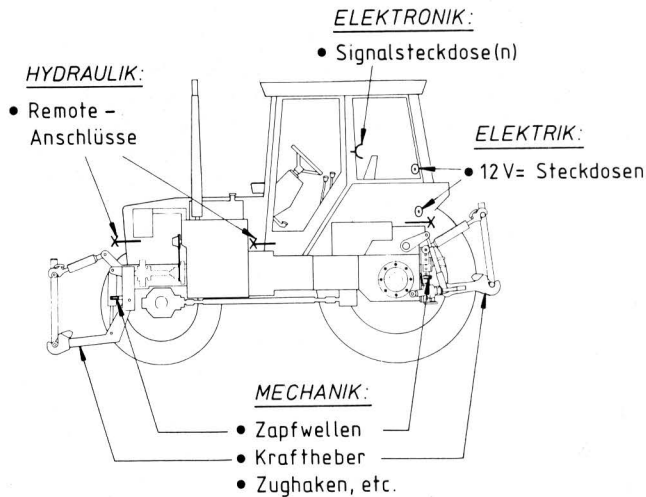


Bild 9. Erweiterung der Schnittstellen eines modernen Traktors um eine elektronische Signalsteckdose.

Daß bei zapfwellengetriebenen Geräten und Maschinen auch innerhalb des Antriebsstrangs eine signalverarbeitende und ggf. -erzeugende Einheit zukünftig Verwendung finden könnte, soll Bild 10 verdeutlichen. Eine "intelligente" Überlastkupplung könnte sowohl mit der Leistungssenke als auch mit der Leistungsquelle kommunizieren und in Regelvorgänge einbezogen sein.

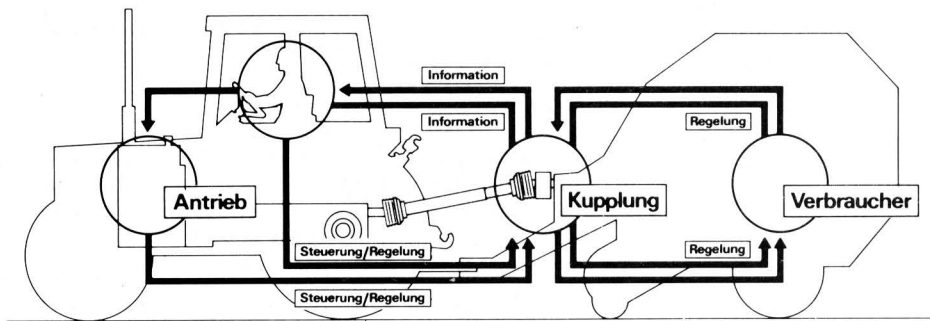


Bild 10. "Drive Line Control" unter Einbeziehung einer "intelligenten" Überlastkupplung zwischen Traktor und Gerät (Werkbild: Walterscheid).

4. Wirtschaftliche und technische Randbedingungen bei der Realisierung elektronischer Hilfsmittel

4.1 Entwicklungs- und Werkzeugkosten

Die Herstellung elektronischer Systeme kann je nach Aufgabenstellung sehrentwicklungsaufwendig sein. Angesichts der zu erwartenden kleinen bis mittleren Stückzahlen stellt sich im Bereich der Landtechnik besonders das Problem der Stückkostenbelastung durch anteilige Entwicklungs- und Werkzeug (EuW)-Kosten. Schließlich werden die Gesamt-Stückkosten einer technischen Ware, hier definiert als Summe aus reinen Herstellkosten und anteiligen EuW-Kosten, bei Kleinstserien durch die anteiligen EuW-Kosten dominiert – siehe Beispiel a in der Nomogrammdarstellung, Bild 11.

anteilige Entwicklungs- und Werkzeugkosten

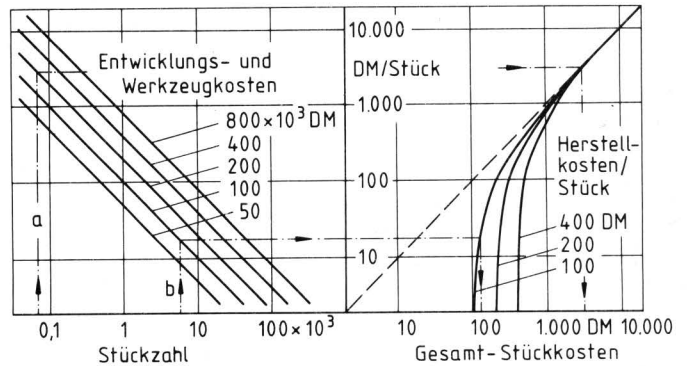


Bild 11. Nomogramm zur Verdeutlichung des Einflusses der Entwicklungs- und Werkzeugkosten auf die Stückkosten bei unterschiedlichen Stückzahlerwartungen.

- a Bereich der Kleinstserien
- b Ziel bei traktorbezogenen Elektronik-Entwicklungen

Hingegen verschwindet der Einfluß selbst sehr hoher EuW-Aufwendungen nahezu vollständig bei den Stückzahlen der Pkw- oder Haushaltsgerätehersteller. In der Landtechnik dürfte es nur einigen wenigen Herstellern gelingen, nahe an die Werte des Beispiels b im Nomogramm heranzukommen. Üblicherweise werden einzelne Projekte in einen Übergangsbereich fallen, in dem sowohl die reinen Herstellkosten als auch der EuW-Anteil minimiert werden müssen, um zu erträglichen Gesamt-Stückkosten zu kommen. Zu dieser Zielsetzung bietet es sich an, daß mehrere Traktor- oder Gerätehersteller eine gemeinsame Hardware verwenden, um so höhere Gesamtstückzahlen zu erreichen. Eine Produktdifferenzierung ist trotzdem mittels unterschiedlicher Software und ggf. äußerer Gestaltungsmerkmale einfach realisierbar.

4.2 Einsatzbedingungen und Zuverlässigkeit

Die Elektronik ist in der mobilen (wie auch der stationären) Landtechnik vielfältigen widrigen Bedingungen ausgesetzt. Zur Kennzeichnung der spezifischen elektrischen, mechanischen, chemischen und klimatischen Umweltsituation sei hier auf eine umfangreiche Datenzusammen-

stellung von Sokol u.a. [22] verwiesen. Durch konstruktive Vorkehrungen und versuchstechnische Absicherung müssen elektronische Systeme sicher standfest gemacht werden, damit diese neue, hoffnungsvolle Technik nicht in Mißkredit geraten kann.

4.3 Versuchstechnische Ermittlung von Bordnetzstörungen

Um einen visuellen Eindruck von in der Praxis vorkommenden Störimpulsen im 12 V-Bordnetz zu vermitteln, die ein elektronisches System tunlichst schadlos und ohne Fehlfunktion überstehen sollte, werden nachfolgend zwei Beispiele angeführt.

4.3.1 Lastabwurf

Der Traktor sollte möglichst immer mit angeschlossener Batterie betrieben werden. Es gibt jedoch Situationen, in denen die Batterie zwangsläufig fehlt oder der Anschluß an das Bordnetz unterbrochen ist, z.B. bei einem Bruch der Ladeleitung, gelockerten

Batteriepolklemmen und bei Verladevorgängen ohne im Fahrzeug eingebaute Batterie (Fremdstart mit externer Energiezufuhr). Dabei entstehen erhebliche Überspannungen im Bordnetz, deren Ursache die gespeicherte Energie im Generator ist. Kurzzeitig auftretende Spannungsspitzen von über +100 V sind bei Traktoren gemessen worden, Bild 12, und würden zu einer sofortigen Zerstörung vieler auf dem Markt erhältlicher elektronischer Geräte führen.

Ersetzt man die im Generator eingebauten Leistungsdioden durch Leistungs-Zener-Dioden, so ist eine Begrenzung der Spannung auf etwa 23 V möglich. Ein solcher "Load-dump"-Schutz kann die Auslegung elektronischer Geräte insbesondere auf der Spannungsversorgungsseite erleichtern.

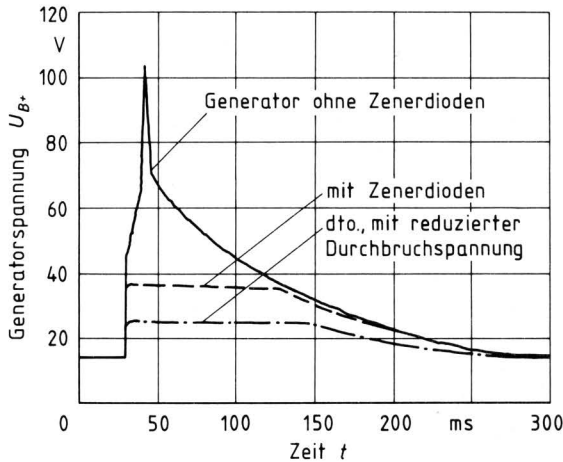


Bild 12. Gemessene Spannungsspitze in der elektrischen 12 V-Anlage eines Traktors, wenn bei laufendem Motor die Batteriepolklemmen abgezogen werden.

4.3.2 Schaltung induktiver Lasten

Elektro-Magnete, etwa zur Betätigung hydraulischer Wegeventile, erzeugen beim Abschalten – durch ihre Induktivität bedingt – beachtliche negative Spannungsspitzen, Bild 13. Auch in diesem Fall muß durch geeignete Diodenanordnungen eine Störmöglichkeit unterdrückt werden.

4.4 SMD-Technik als Beispiel für konstruktive Vorkehrungen

Bei der "klassischen" Leiterplattentechnik werden die einzelnen Bauteile (Widerstände, Dioden, Operationsverstärker, Transistoren, Mikroprozessoren, etc.) mit ihren Drahtanschlüssen durch Bohrungen in der Platine gesteckt und auf der Rückseite mittels automatischer Schwallötung oder im Handlötverfahren mit den Leiterbahnen der gedruckten Schaltung dauerhaft verbunden.

Die Abkürzung SMD steht für Surface Mounted Devices – oberflächenmontierbare Bauelemente. Diese haben in der Konsumelektronik bereits breite Anwendung gefunden und werden folglich in der Zukunft das dominierende Angebot am Bauelementemarkt darstellen.

Bei der SMD-Technik werden die Bauelemente mit Hilfe einer Löt-paste oder eines Klebers auf der Leiterplatte fixiert und anschließend verlötet. Der Wegfall der Anschlußdrähte ergibt eine größere mechanische Belastbarkeit bezüglich Vibrationen und Stoß und trägt damit deutlich zur Erhöhung der Produktzuverlässigkeit bei [23]. Während z.B. ein herkömmlicher bedrahteter Widerstand über insgesamt sechs mechanische Verbindungsstellen mit der Schaltung verbunden ist, weist ein SM-Widerstand lediglich zwei

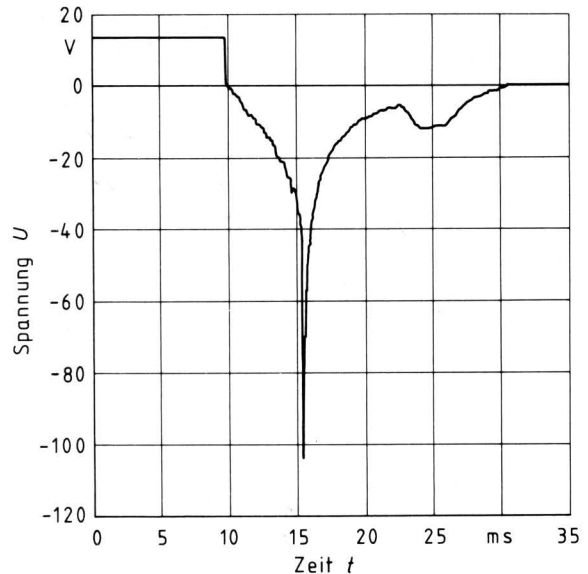


Bild 13. Gemessene Spannungsspitze in der elektrischen 12 V-Anlage eines Traktors bei Abschalten eines elektromagnetisch betätigten Wegeventils.

Lötunkte auf. Biegen und Schneiden der Anschlußdrähte entfallen ebenso wie das Herstellen von Bohrungen in der Leiterplatte. SMD können mit frei programmierbaren Automaten praktisch fehlerfrei bestückt werden.

Durch den Einsatz der SMD-Technik lassen sich die Leiterplatten und damit auch die Gehäuse der elektronischen Geräte um rund 30 % verkleinern, bei doppelseitiger Bestückung sogar um die Hälfte. Diesen Vorteil lernt man zu schätzen, wenn in einem bestehenden Fahrzeugkonzept nachträglich eine Reihe von Steuer- und Anzeigeeinheiten untergebracht werden soll.

Allerdings stehen zur Zeit nicht alle Bauelemente als SMDs zur Verfügung, so daß eine Mischbestückung unumgänglich ist. Große Bedeutung kommt der Löttechnik zu, damit sichere elektrische Verbindungen, nicht aber Kurzschlüsse entstehen. Da eine optische Kontrolle der Lötstellen in der bisherigen Weise durch die hohe Packungsdichte erschwert ist, muß der Lötprozeß so funktionssicher gemacht werden, daß sich eine Sichtüberprüfung praktisch erübrigt. Derartigen Anforderungen können nur leistungsfähige und erfahrene Zulieferfirmen genügen.

Die Reparatur von SMD-Baugruppen ist aufwendiger als bei der herkömmlichen Technik und sollte lediglich im Rahmen des Fertigungsprozesses und ausnahmsweise erfolgen.

5. Ausblick und Wertung

Elektronik soll als integraler Bestandteil des Traktors, wie dieser, ein nützliches Hilfsmittel für den Betreiber sein. Deutlich Vorrang haben in der professionellen Betriebsführung solche Hilfsmittel, die eine Steigerung der Schlagkraft verbunden mit einer Verringerung der Arbeitskosten und einer termingerechten Arbeitserledigung bewirken. Außerdem sollten Arbeitseffekt und -qualität gesteigert werden. Die eingesetzte Technik muß, besonders während der Arbeitsspitzenzeiten, durch sichere Verfügbarkeit gekennzeichnet und bekannt sein.

Die Entscheidung zum Kauf eines elektronischen Hilfsmittels mag bisweilen von eher nichtrationalen Motiven bestimmt sein, sie kann aber ebenso, und wohl begründet, einer rein sachlichen Kostenbetrachtung standhalten. Selbst durch geringfügige Einsparungen bei Arbeitsvorgängen mit mittleren variablen Kosten ergeben sich bei einer gesunden Betriebsgröße erstaunlich kurze Amortisationszeiten, Bild 14.

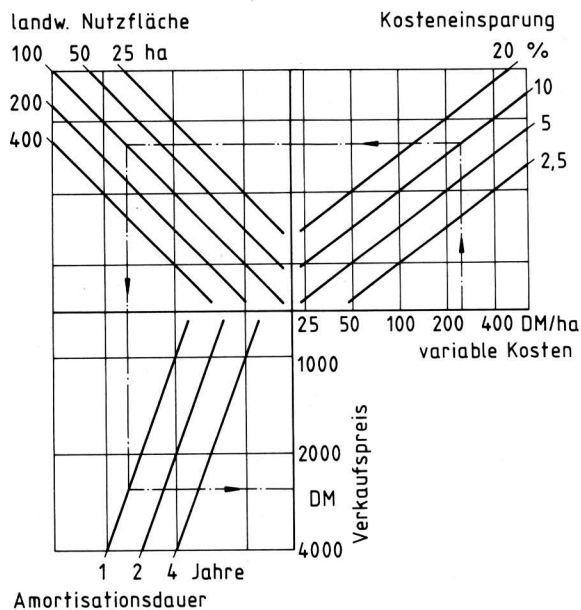


Bild 14. Nomogramm zur Verdeutlichung der Zusammenhänge zwischen den flächenspezifischen variablen Kosten eines Arbeitsvorgangs (z.B. Herbizidbekämpfung, Mineraldüngung), der durch höherwertige technische Einrichtungen zu erwartenden relativen Kosteneinsparung, der behandelten landw. Nutzfläche und dem sich bei einer gewünschten Amortisationsdauer ergebenden Mehrpreis; nach einer Darstellung der Verfasser in [24].

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● *Söhne, W. u. K.Th. Renius:* Entwicklung des Ackerschleppers – Überblick über die Gesamtentwicklung. In: VDI (Hrsg.): 25 Jahre VDI-Fachgruppe Landtechnik. Düsseldorf: VDI-Verlag 1983, S. 16/33.
- [2] ● *Schön, H. u. G. Olfe:* Entwicklung und Stand des Schlepper- und Maschineneinsatzes im Pflanzenbau. KTBL-Schrift 308, Darmstadt 1986, S. 21/34.
- [3] *Larson, E.D., M.H. Ross u. R.H. Williams:* Beyond the era of materials. Scientific American Vol. 254 (1986) Nr. 6, S. 24/31.
- [4] *Cox, S.:* Developments we cannot afford to ignore. Power Farming Bd. 65 (1986) Nr. 4, S. 26/29.
- [5] *Renius, K.Th.:* Der Traktor: Schlüsselmaschine der Landwirtschaft. In: VDI-Berichte Nr. 595, "100 Jahre Automobil". Düsseldorf: VDI-Verlag 1986, S. 227/48.
- [6] ● *Klöcker, I.:* Produktgestaltung. Aufgabe – Kriterien – Ausführung. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1981.
- [7] ● *Rechenberg, I.:* Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution. Problematika Bd. 15, Stuttgart: Fromann-Holzboog 1973.
- [8] VDI-Richtlinie 2225, Blatt 1: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Düsseldorf: VDI-Verlag 1969.
- [9] ● *Servatius, H.-G.:* Erneuerung von Unternehmen durch innovative Technologien – Von der Frühaufklärung über Suchfeldanalysen zur Selektion von F&E-Projekten. In: Arthur D. Little International (Hrsg.): Management der Geschäfte von morgen. Wiesbaden: Betriebswirtsch. Verlag 1986, S. 75/95.
- [10] *Meyer, J.:* Zur Wirkungsweise einer Sicherheitseinrichtung für automatisch gesteuerte mobile landwirtschaftliche Aggregate. Agrartechnik Bd. 36 (1986) Nr. 6, S. 269/72.
- [11] *Riemann, A.:* Was Großmaschinen wirklich kosten. LU-Journal, Info Nr. 3, 1986.
- [12] *Ohrmann, J., W.E. Larsen u. L.R. Erickson:* Four-Wheel Drive Tractors: a field evaluation. Agr. Engineering Bd. 61 (1980) Nr. 12, S. 17/18.
- [13] ● *Mertins, K.-H.:* Theoretische und apparative Voraussetzungen zur Traktoreinsatzoptimierung mit Hilfe von Fahrerinformationssystemen. Diss. TU Berlin (Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 14 Nr. 25, Düsseldorf: VDI-Verlag 1984).
- [14] *Bergmann, E.:* Experiences on optimization algorithms for heavy tractor operations. Vortrag Agrimation 2, Chicago, 3./5. März 1986.
- [15] *Schimmel, J. u. H. Hulla:* Einsatzoptimierung von Ackerschleppern durch elektronische Fahrerinformation. Grundl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 5/10.
- [16] *Mertins, K.-H., E. Bergmann u. C. Kipp:* Zum Stand der Entwicklung von Fahrerinformationssystemen bei Ackerschleppern. Grundl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 4, S. 163/69.
- [17] *Ellis, W.R., D.A. MacIsaac u. D.G. Sokol:* Electronic instrumentation for world agricultural tractors. ASAE-Paper No. 86-1090, ASAE St. Joseph, Michigan. 1986.
- [18] *Jahns, G., H. Speckmann u. R. Möller:* Fahrerinformation als Hilfsmittel der Optimierung beim Einsatz von Ackerschleppern. Grundl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 6, S. 195/202.
- [19] *Mertins, K.-H.:* Neues zum Thema Regelhydraulik? Landtechnik Bd. 37 (1982) Nr. 10, S. 453/54.
- [20] *Hesse, H.:* Elektronische Schlupfregelung von Bosch für Ackerschlepper. Referat anl. Pressekolloquium, Schwieberdingen, 17. Okt. 1985.
- [21] Offenlegungsschrift DE 3446811 A1 vom 3.7.1986.
- [22] *Sokol, D., T. Pickett, Ch. Parrish u. J. Fries:* Environmental considerations in development of mobile agricultural electrical/electronic components. ASAE-Paper No. 86-1091, ASAE St. Joseph, Michigan 1986.
- [23] *McNamara, D.A., R.P. Stinar u. R.D. Hendrikx:* An automotive application of surface mounted device technology. SAE-Paper No. 850139, SAE Warrendale 1985.
- [24] *Biller, R.H. u. R. Artmann:* Elektronik in der pflanzlichen Produktion, Teil I: Ackerschlepper und Bodenbearbeitung. DLG-Manuskript, Frankfurt a.M. 1986.