

Zum Stand der Entwicklung von Fahrerinformationssystemen bei Ackerschleppern

Von Karl-Heinz Mertins, Köln,
Egon Bergmann und Carsten Kipp, Berlin*)

DK 631.372:629.1.05

Im Zuge einer Verfeinerung der Schleppertechnik kommt der Schnittstelle Mensch/Maschine hohe Bedeutung zu. So lassen sich mit den Mitteln der Mikroelektronik heute ergonomisch optimierte Anzeigensysteme realisieren; die zunächst zu neuen Formkonzepten in der Gestaltung der Armaturentafel führen und die Attraktivität des Produkts erhöhen.

Darüber hinaus sind Ansätze bekannt geworden, die Inhalte der angezeigten Informationen im Sinne eines möglichst effizienten Schleppereinsatzes zu erweitern. Bei Beachtung theoretischer und gestalterischer Grundsätze erschließt dieses Mittel der qualitativ verbesserten Rückführung im Handregelkreis erhebliche Produktivitätsreserven und stellt eine sinnvolle Zwischenstufe auf dem Weg zu apparativ geschlossenen Regelkreisen dar.

1. Einleitung

Nachdem die Primärfunktionen des Schleppers mit hinreichender Betriebssicherheit darstellbar waren, standen die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den siebziger Jahren schwerpunktmäßig unter den Themen Leistungszuwachs, Fahrkomfort und Fahrsicherheit. Die achziger Jahre wiederum – gekennzeichnet durch eine stürmische Entwicklung und weite Verbreitung der Elektronik in vielen Bereichen des täglichen Lebens – werden auch den Schlepperbau, diese Domäne der Mechanik und Hydraulik, nicht in einem Zustand "elektronischer Abstinenz" belassen. Analog zu den Tendenzen bei Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen werden elektronische Baugruppen mit einem nennenswerten Anteil an den Herstellkosten der Schlepper zu Buche schlagen und für den Betreiber eine Reihe praktischer Verbesserungen mit sich bringen.

Neben rein funktionellen Gesichtspunkten dürfte eine allgemein stärkere Hinwendung zu hedonistischen Wertvorstellungen auf der Käuferseite [1] für Ausmaß und Tempo der Elektronikanwendung mitbestimmend sein. Daß hierbei eine nach Leistungsklassen unterschiedliche Vorgehensweise seitens der Schlepperhersteller zu erwarten sein wird, kann am Beispiel "Elektronische Hubwerksregelung" [2] abgeleitet und mit Kostenüberlegungen und Risikoabschätzungen begründet werden.

In jenen Produktbereichen, in denen bisher Informationen entweder gar nicht oder auf mechanischem Wege verarbeitet werden, kann die Mikroelektronik diese Funktion kurzfristig und mit einer prinzipbedingt hohen Genauigkeit übernehmen. Während in den USA [3] und Japan eine derartige Umstrukturierung konsequent verfolgt wird, ist dieses Entwicklungspotential in Europa erst zögernd aufgegriffen worden.

Die erste auf breiter Basis sichtbare Anwendung der Elektronik ist in Form einer deutlichen Veränderung des äußeren Erscheinungs-

*) Dr.-Ing. K.-H. Mertins ist Mitarbeiter im Traktorenversuch der Klöckner-Humboldt-Deutz AG, Entwicklungswerk Porz. Dipl.-Phys. E. Bergmann und Dipl.-Ing. C. Kipp sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut für Maschinenkonstruktion, Bereich Landtechnik und Baumaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich) der TU Berlin.

bilds der Armaturentafel zu erwarten. Hierüber wird im folgenden auf der Grundlage zweier Thesen berichtet.

2. Die Form der Informationsdarstellung

Erste These: Die Form der Informationsdarstellung wird zukünftig einem spürbaren Wandel unterworfen sein. Sehen wir uns dazu zunächst ein willkürlich herausgegriffenes Exemplar einer heute üblichen Armaturentafel für Schlepper der mittleren bis oberen Leistungsklasse an, Bild 1. Es kann der Eindruck entstehen, als seien hier mehr oder weniger zufällig Rundinstrumente, Schalter und Kontrollelemente über eine hinter Lenkrad und Handhebeln versteckte Fläche verteilt worden.

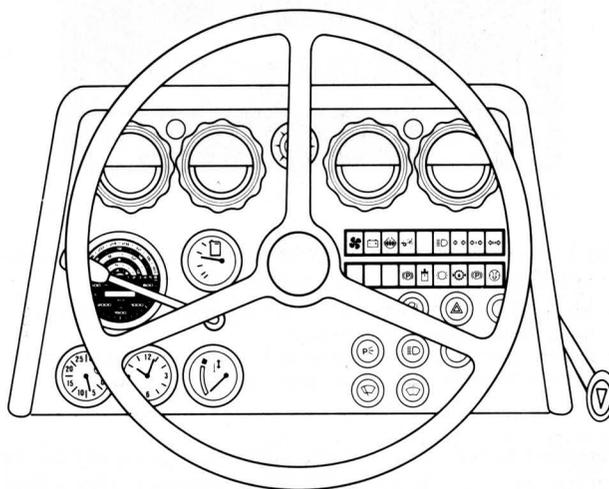


Bild 1. Herkömmliche Armaturentafel mit geometrisch bestimmter Anordnung der Instrumente und Bedienteile.

Vorwiegend aus einem reinen Kostendenken, das den Nutzwert außer acht läßt, wählen die meisten Schlepperhersteller noch immer das elektromechanische Traktormeter mit Wirbelstrommeßwerk als Zentralinstrument. Dieses informationstechnisch stark überladene Gerät versucht zwei Meßgrößen zu kombinieren, die bei Antriebssystemen mit mehrstufigen Kennungswandlern grundsätzlich nicht in einer übersichtlichen Zahlenangabe zusammenzufassen sind: die Motordrehzahl und die Fahrgeschwindigkeit.

Nicht von ungefähr verzichten die Konstrukteure bei anderen Fahrzeugarten auf eine Form konzentrischer Skalenanordnungen, obwohl deren Fahrzeuge oft eine wesentlich geringere Anzahl Getriebeübersetzungen als ein moderner Schlepper aufweisen und damit auch die Anzahl der Skalen entsprechend geringer wäre. In früheren Jahren, bei 20 km/h Maximalgeschwindigkeit, mochte der Schlepperfahrer vielleicht genügend Zeit für eine Orientierung auf der Skalenvielfalt gehabt haben. Heute kann er bei teilweise doppelt so hohen Geschwindigkeiten in lästigem, wenn nicht gefährlichem Maße in Anspruch genommen sein, wenn er das Traktormeter abzulesen hat. Besonders schwierig ist das Ablesen im Feldeinsatz, wenn häufig geschaltet wird und eigentlich der Triebdrehzahl zu berücksichtigen wäre [4, 5].

Erschwerend kommt hinzu, daß bei Gruppengetrieben mit verzahnter Gangabstufung oft nicht erkennbar ist, welcher Gang der nächsthöhere oder -niedrigere zu dem gerade eingelegten Gang ist. Die üblichen Grafikaufkleber zur Schalthilfe sind für kompliziert aufgebaute Getriebe und solche mit Lastschaltstufe nur schwer mit der nötigen Übersichtlichkeit zu gestalten, Bild 2.

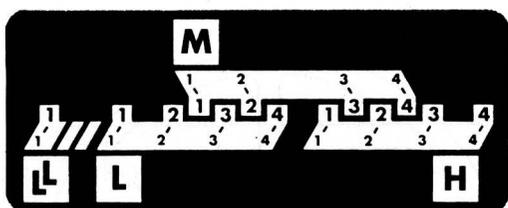
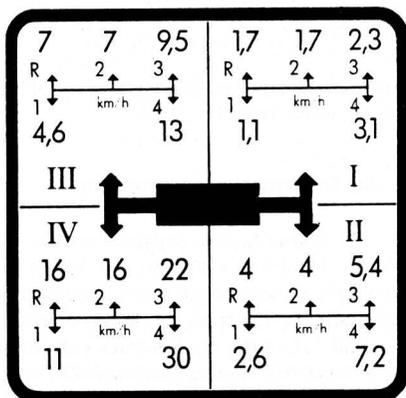


Bild 2. Zwei verschiedene Möglichkeiten zur Information über die Gangreihenfolge bei Gruppenschaltgetrieben.

- Reproduktion der Schalthebelstellungen mit Angabe der zugehörigen theoretischen Fahrgeschwindigkeiten
- Balkendarstellung in Anlehnung an das Fahrgeschwindigkeitsschaubild; Getriebe mit vorgeschalteter Lastschaltstufe

Wesentlich aufgeräumtere und übersichtlichere Anzeigenfelder werden von einigen ausländischen Herstellern propagiert. Hier scheint die Bedeutung des Motordrehzahlmessers besser erkannt zu sein, was sich in einfacher Ablesbarkeit und teilweise auch farbiger Bereichskennzeichnung einer einzigen Skala dokumentiert. Ein Bezug zur Fahrgeschwindigkeit wird allenfalls noch auf einer einzigen weiteren Skala für den höchsten Gang (Straßenfahrt) hergestellt.

Statt eines wünschenswerten separaten Tachometers muß sich der Fahrer jedoch einer Balkendarstellung am Armaturenbrett oder auf dem Radhaus bedienen, um die Fahrgeschwindigkeit in den niedrigeren Gängen abschätzen zu können. Eine höchst unbefriedigende Situation, wenn man bedenkt, daß diese Meßgröße häufig den wichtigsten Parameter bei landwirtschaftlichen Arbeiten darstellt.

Blicken wir auf nordamerikanische Hersteller, so bieten deren neu vorgestellte Schlepper ausnahmslos Beispiele für den Einzug einer gemäßigten Digitaltechnik in die Gestaltung der Armaturentafel. Das Bild 3 belegt diesen Wandel der Anzeigenform. Gleiches gilt für die neue Schleppergeneration von Steiger, bei deren Anzeigen und Manualen eine polyzentrische, nach Funktionsgruppen geordnete Gestaltungsphilosophie zum Ausdruck kommt [3], Bild 4.

Im oberen Teil des Displays werden Fahrgeschwindigkeit, Zapfwellendrehzahl, eingelegter Gang und Motordrehzahl gleichzeitig auf digitalen Flüssigkristallanzeigen (LCD) ausgegeben. Der darunter angeordnete Warnanzeigebereich ist durch eine dunkle Streulichtfolie so abgedeckt, daß nur das im jeweiligen Störfall aktivierbare Leuchtfeld erkennbar wird. So läßt sich eine Reizüberflutung im

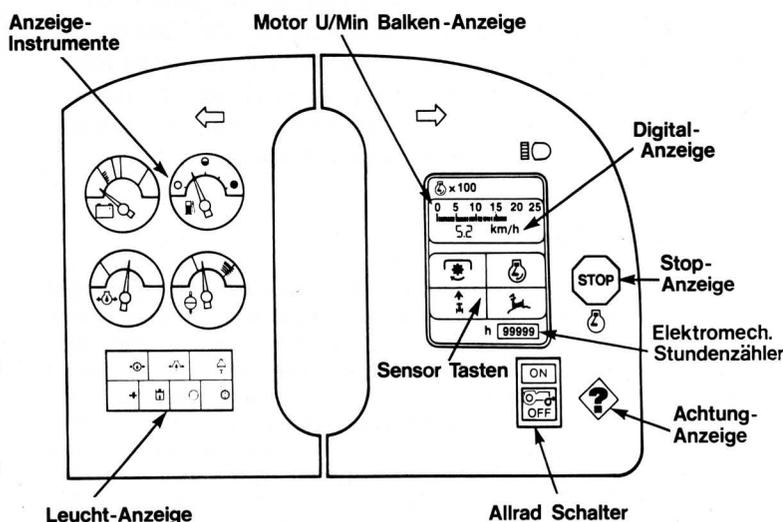


Bild 3. Armaturentafel mit Informationsdarstellung in Mischform. Die linke Hälfte ist konventionell gestaltet; rechts können über Sensortastenfelder auf einer Flüssigkristallanzeige die digitalen Werte für Fahrgeschwindigkeit, Zapfwellen- und Motordrehzahl angewählt werden. Die Motordrehzahl erscheint zusätzlich ständig als quasianaloge Balkenanzeige. (Werkbild: John Deere)

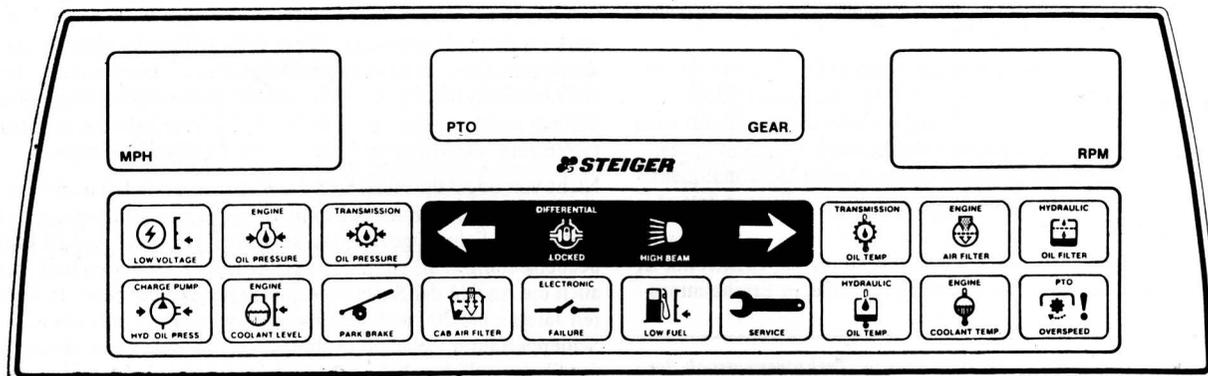


Bild 4. Display-Layout mit digitaler Anzeige (von links) der Fahrgeschwindigkeit, der Zapfwellendrehzahl des eingelegten Getriebegangs und der Motordrehzahl im oberen Teil. Im unteren Teil zweizeilige Warnleuchtenanordnung mit farbcodierten Piktogrammen. (Werkbild: Steiger)

direkten Sichtfeld des Fahrers wirksam vermeiden. Das gleiche Ziel wird im Konzept von Allis-Chalmers [6] dadurch verfolgt, daß sämtliche Informationen, entweder auf Abruf oder im Störfall selbsttätig, in alphanumerischem Klartext auf einer Vakuumfluoreszenz (VF)-Anzeige erscheinen.

Bei den Instrumententafeln nach Bild 3 und 4 gibt es überhaupt keine mechanischen Antriebswellen und Anpaßgetriebe mehr, weil unterschiedliche Motornendrehzahlen, Getriebevarianten und Reifenbestückungen durch programmierbare Faktoren entweder hardwaremäßig über Kodierschalter oder softwaremäßig in ihrem Einfluß auf die Anzeige kompensiert werden können. Der Kontakt zwischen Kabelbaum und Instrumenten erfolgt über einen einzigen Sammelstecker. Durch extrem flache Bauweise steht hinter der LCD-Anordnung viel Raum für Lüftungs- und Heizungsaggregate zur Verfügung, und es wird eine freizügigere Platzierung und Aufgliederung der einzelnen Anzeigenelemente nach Aufgabenzuordnung und unter Beachtung ergonomischer Grundsätze möglich.

2.1 Datentransferkanäle in Mensch/Maschine-Systemen

Generell stehen dem Menschen drei Signaleingangskanäle für eine Langzeit-Datenaufnahme zur Verfügung: der visuelle, der auditive und der kinästhetische (den Muskelsinn nutzende). Eine Bewertung dieser Eingangskanäle im Hinblick auf den Datentransfer bei Mensch/Maschine-Systemen ist in **Tafel 1** in Anlehnung an *Singleton* [7] zusammengefaßt worden.

Der kinästhetische Kanal wird häufig unbewußt als Rückführung benutzt, beispielsweise wenn der Fahrer eines Schleppers die Einstellung seiner Fahrgeschwindigkeit im Off-Road-Betrieb vornimmt. *Rowold* [8] hat gezeigt, daß durch Beaufschlagung des Fahrpedals leichter Transportfahrzeuge mit haptischen Signalen

Eingangskanal \ Kriterium	kinästhetisch	auditiv	visuell
Signalwahrnehmbarkeit	++	+	-
Aufnahmegeschwindigkeit	++	+	o
Rangordnung erkennbar	-	++	o
Dringlichkeit erkennbar	-	++	o
Störempfindlichkeit	o	+	o
Ignorieren möglich	-	-	++
Symbolhaltigkeit	-	+	++
Freizügigkeit der Senderanordnung	-	++	+
Haupteinsatzgebiete	Rückführung in Handregelkreisen	Warnanlagen; Übermittlung intermittierender Informationen	mehrkanalige Routineüberwachung; Übermittlung gespeicherter Daten
Einsatzbeispiele	[8]	[3, 9]	[10, 11, 12]

++ sehr gut o brauchbar
+ gut - schlecht

Tafel 1. Bewertung der Signaleingangskanäle für den Datentransfer bei Mensch/Maschine-Systemen; in Anlehnung an [7].

(Kraftänderungen, Schwingungen) eine Fahrerbeeinflussung im Sinne einer Kraftstoffeinsparung möglich ist. Gegen die gezielte Verwendung kinästhetischer Signale auf Schleppern spricht der hohe Störpegel bei diesen ungefederten Fahrzeugen.

Der auditive Kanal hat den gewichtigen Vorteil, daß die Signalquelle nicht geortet und fixiert werden muß, um eine Information wahrnehmen zu können. Als Warnanzeige ist folglich ein akustisches Signal unübertrefflich. Andererseits kann der Informationsfluß nicht bewußt unterdrückt werden, was sich in speziellen Fällen als Belästigung darstellt. So sind die Beispiele von Sprachsynthesizern zur Linguallautausgabe, die bei einigen Personenkraftwagen eingeführt wurden [13], durchaus umstritten.

Nach wie vor kommt dem visuellen Kanal trotz vieler Nachteile die größte praktische Bedeutung zu.

2.2 Analoge und digitale Datenausgabe

Die gegenwärtige Diskussion zu diesem Thema ist weitgehend von modebedingten und gefühlsmäßigen Argumenten bestimmt, und man ist versucht, analoge oder digitale Ausgabeformen als einander ausschließende Antagonisten darzustellen. Die zukünftige, evolutionär verlaufende Entwicklung dürfte jedoch beiden Formen eine Anwendung erschließen, die ihre jeweiligen spezifischen Eigenschaften optimal nutzbar macht.

So sprechen analoge Zeigerinstrumente bereits auf unterster Ebene die Eigenschaftsanalyse rezeptiver Felder der Retina an, die Längen und Winkelstellungen und deren Änderungen registrieren. Zeigerinstrumente sind deshalb besonders gut für die Beobachtung, Steuerung und Regelung von dynamischen Prozessen geeignet.

Analoganzeigen verlangen jedoch bei genauen Ablesungen einen Dekodierungsprozeß vom Operateur. Ablesefehler sind demzufolge hier häufiger als bei Digitalanzeigen. Digitale Darstellungsformen sind hauptsächlich für statische und quasistatische Prozesse geeignet, da bei dynamischen Wechslen der angezeigten Größen naturgemäß die Zahlen "springen" und damit ein Ablesen erschweren. Die gleiche Regelgüte wie mit einer Analoganzeige kann nur unter erhöhter mentaler Beanspruchung des Bedieners erbracht werden [14].

Bei den geringen Änderungsgeschwindigkeiten von Pkw-Tachometern sind japanischen [15] und deutschen [16] Versuchen zufolge digitale Instrumente leicht im Vorteil. Sie können durchschnittlich um 0,1–0,2 s schneller als analoge abgelesen werden. Diese Aussage dürfte auf die Anzeige von Fahrgeschwindigkeit und Zapfwelldrehzahl beim Schlepper uneingeschränkt übertragbar sein. Bei den Informationsgrößen Motordrehzahl, Motortemperatur und Tankinhalt ist dagegen neben den absoluten Werten auch ihre Lage im jeweiligen Meßbereich für den Fahrer von hoher Bedeutung, so daß hier eine analoge oder quasianaloge Darstellungsform vorteilhaft sein kann. Diese Erkenntnis findet ihre Entsprechung in der kombinierten Ausführungsform moderner Pkw-Instrumententafeln [13, 17].

3. Der Inhalt der Informationsdarstellung

Zweite These: Die Inhalte der Anzeigen werden sich zukünftig verändern, und zwar aus den folgenden Gründen:

- eine sinnvolle Auslastung der vorhandenen Schlepperleistung ist zur Zeit nicht ständig gewährleistet [18]
- bei Schleppern der höheren Leistungsklassen und bei Verwendung von Gerätekombinationen für die gleichzeitige Ausführung mehrerer Arbeitsgänge steigt der Kontrollaufwand erheblich
- wirtschaftliche und ökologische Gesichtspunkte werden bei der Ausbringung von Düngemittel- und Pflanzenbehandlungsmitteln zunehmende Bedeutung erlangen
- zur Zeit stehen dem Fahrer keine angemessenen Hilfsmittel zur Beurteilung des Betriebszustands des Gesamtsystems zur Verfügung

- die Auswahl eines geeigneten Gangs erfolgt bei fein abgestuften Schaltgetrieben nur subjektiv und zufällig; oft ist für den Fahrer nicht erkennbar, welcher Gang der nächsthöhere oder -niedrigere ist
- der verbesserte Lärm- und Staubschutz durch geschlossene Fahrerinnen führt zu einer Abschirmung des Fahrers von wichtigen akustischen und kinästhetischen Informationen [19]; der Bediener verliert das "Gefühl" für Maschine und Umwelt [20]
- die Tendenz zu verringerten Erlösen führte in der Landwirtschaft zum Abbau qualifizierter Arbeitskräfte; dafür kommen zunehmend rasch angelegerte Teilzeit- und Aushilfskräfte zum Einsatz, die ohne tieferes Verständnis für ihr Einsatzgebiet tätig werden [11].

Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, ist eine stufenweise Optimierung des Einsatzes von Schleppern hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Leistungsumsatz anzustreben, Bild 5.

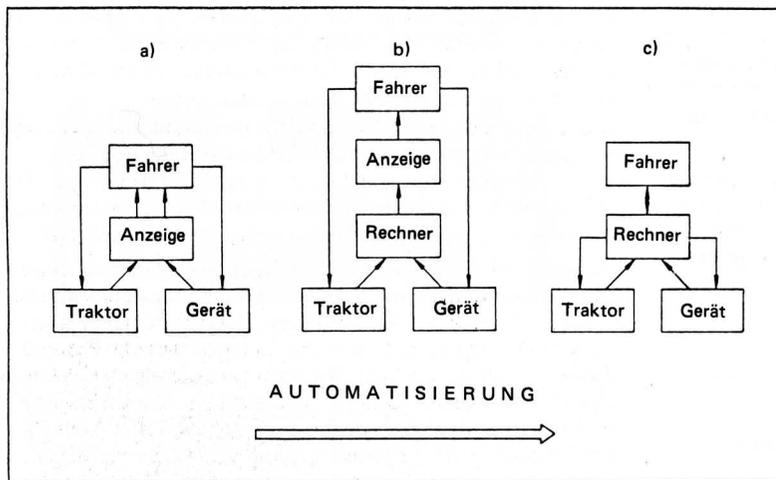


Bild 5. Möglichkeiten zur stufenweisen Optimierung des Systems Schlepper/Gerät.

1. Optimierungsstufe: Handregelkreis mit Anzeige der aktuellen Betriebsparameter
2. Optimierungsstufe: Handregelkreis mit Anzeige für das Einstellen errechneter optimaler Betriebspunkte
3. Optimierungsstufe: Automatische Regelung mit der Möglichkeit der Übersteuerung durch den Fahrer

3.1 Erste Optimierungsstufe

Hier wird der Handregelkreis in der bisherigen Weise beibehalten (Bild 5, links), aber durch eine Anzeige der aktuellen Betriebsparameter erweitert. Der Fahrer bleibt alleiniger Entscheidungsträger und wird durch ein Informationssystem in seinen Handlungen unterstützt. Der Informationsumfang einer solchen Anzeige ist am Beispiel eines Tractor Performance Monitors in Bild 6 dargestellt.

3.2 Zweite Optimierungsstufe

Auch hier (Bild 5, Mitte) wird der Handregelkreis beibehalten und durch verbesserte Informationen unterstützt. Charakteristisch ist aber, daß die Anzeige konkrete Handlungsanweisungen auf der Basis errechneter, optimaler Betriebspunkte bereitstellt. Der Fahrer ist hauptsächlich noch ausführendes Organ. Über Ansätze zu einem derartigen System haben Schimmel u. Hulla berichtet [22].

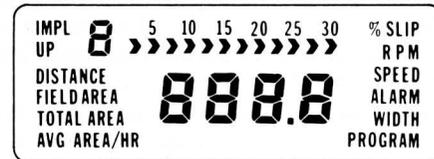


Bild 6. Gesamter Informationsinhalt der Flüssigkristall-Anzeigeinheit eines "Tractor Performance Monitor" [21]. Jeweils eine Information kann abgerufen werden, wobei nur der Meßwert mit der zugehörigen Legende auf dem Display erscheint. Für den Rad-schlupf sind digitale und quasianaloge Darstellungsformen nebeneinander vorgesehen.

3.3 Dritte Optimierungsstufe

Ein qualitativer Sprung ist der Übergang zu geschlossenen Regelkreisen (Bild 5, rechts). Unter Ausklammerung des Fahrers im normalen Betrieb werden alle wesentlichen Betriebsparameter überwacht und gleichzeitig zu Stellgrößen verarbeitet. Der Fahrer übersteuert die Regelkreise lediglich nach Wunsch oder bei Bedarf aufgrund eigener Wahrnehmung (Hindernisse, Arbeitsqualität, Wendemanöver, etc.). Teillösungen dieser Entwicklungsrichtung haben Hujjura u.a. [23] und Ismail [24] erarbeitet.

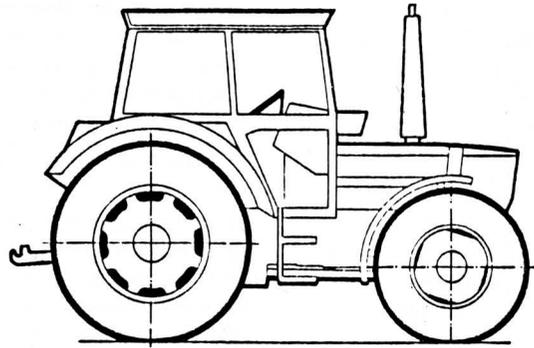
Durch sinnvollen Einsatz von Mikroelektronik am Schlepper ist es möglich, Optimierungs- und Kontrollaufgaben durchzuführen, bei denen der Mensch im Normalfall überlastet wäre oder für die ihm die Sinne fehlen. Eine Auswahl der möglichen Einsatzgebiete ist auf Bild 7 dargestellt. Die zur Berechnung erforderlichen Meßgrößen können im Regelfall durch einfache Sensoren gewonnen, eventuelle Nichtlinearitäten und Zeitinvarianzen durch den Rechner korrigiert werden. Ebenfalls ist es möglich, ganze Kennfelder abzuspeichern, um von einfach zu messenden Größen auf schwer ermittelbare zu schließen.

3.4 Theoretische Grundlagen und technische Realisierungen

An der TU Berlin wurde, wie in anderen Forschungseinrichtungen [25, 26, 27] und Industriefirmen [28, 29], ein Rechenmodell entwickelt, das es ermöglicht, das System Schlepper-Gerät-Boden speziell für schwere Zugarbeit zu simulieren. Als Ergebnis umfangreicher Untersuchungen mit Hilfe dieses Simulationsprogramms [30] wurde festgestellt, daß für alle sinnvollen Kombinationen von Schlepper, Gerät und Boden zu bestimmten Optimierungskriterien zugehörige invariante Bereiche im jeweiligen Motorkennfeld existieren. Bild 8 zeigt den optimalen Betriebspunkt bei hoher Wertung der Kraftstoffkosten und niedriger Wertung der Zeitkosten, einer Strategie also, die für Kleinbetriebe und "Feierabendbauern" zutreffen mag. Im Bild sind zusätzlich die Linien gleicher Wirtschaftlichkeit eingetragen, so daß es auch möglich ist, ein Feld bestimmter Mindestwirtschaftlichkeit zu definieren. Die Umrandung dieser Felder fällt nicht mit den Linien gleichen spezifischen Kraftstoffverbrauchs im Motorkennfeld zusammen.

Speziell am Motorkennfeld, und damit nur an einem Teil des Gesamtsystems, orientiert sich das Anzeigegerät "Ecocontrol" von Renault [31], Bild 9. Ecocontrol soll im wesentlichen ermöglichen, den Antriebsmotor des Schleppers im sparsamen Bereich zu betreiben. Dies geschieht immer dann, wenn sich die Zeiger für Motordrehzahl und Abgastemperatur (als Maß für das Motordrehmoment) in einem mittleren, grün gekennzeichneten Feld kreuzen. Das Anzeigegerät, das im übrigen das bereits oben kritisierte Traktormeter

	INFORMATION
Information	
<ul style="list-style-type: none"> - Fahrgeschwindigkeit - Zapfwelldrehzahl - Hektarleistung - Motorauslastung - Inspektion - Diagnose 	



	MOTOR
Regelung	Überwachung
<ul style="list-style-type: none"> - Drehzahl - Einspritzung - Ladedruck - Zylinderabschaltung - Kühlung 	<ul style="list-style-type: none"> - Moment - Drehzahl - Ladedruck - Öldruck - Kühlwasser- - Abgas- - Öl-Temp.

		GERÄT
Regelung	Überwachung	
<ul style="list-style-type: none"> - Zapfwelldrehzahl - Kraftheber - Arbeitsschwindigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - Zapfwelldrehzahl - Zapfwellenmoment - Gerätefunktion 	

	GETRIEBE
Regelung	Überwachung
<ul style="list-style-type: none"> - Übersetzung stufenlos gestuft - Kupplungscharakteristik 	<ul style="list-style-type: none"> - Eingangsdrehzahl - Ausgangsdrehzahl - Öltemperatur

	SICHERHEIT
<ul style="list-style-type: none"> - Begrenzung der Fahrgeschwindigkeit - Kontrolle der Vorderachslast - Funktionskontrolle Bremsen 	

Bild 7. Möglichkeiten der Regelung und Überwachung im System Schlepper/Gerät.

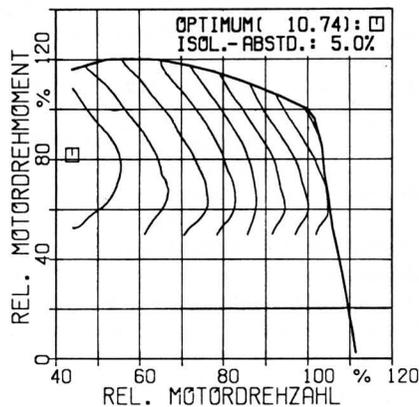


Bild 8. Optimaler Betriebspunkt im Motorkennfeld bei hoher Wertung der Kraftstoffkosten; Pflügen.

ersetzt, ist eingefügt in eine klar gegliederte, modular aufgebaute Instrumententafel. In [31] wird die mögliche Kraftstoffersparnis bei Beachtung der Anzeige auf über 25 % beziffert. Diese Größenordnung konnte auch durch eigene Untersuchungen an einem anderen landwirtschaftlichen Fahrzeug bei teilweiser Motorauslastung als Einsparpotential nachgewiesen werden [32].

Die Anzeige des Ecocontrol muß versagen, bzw. bedarf gesonderter Interpretation, wenn die angestrebten Optimierungsziele maximale Nutzleistung oder maximale Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der Zeitkosten lauten.

Die Lage des optimalen Betriebsbereichs bei hoher Wertung der Zeitkosten ist für die gleiche simulierte Kombination Schlepper-Gerät-Boden aus Bild 10 zu entnehmen. Wie deutlich zu erkennen ist, wird das System sowohl auf der Abregellinie in Richtung niedrigeren Drehmoments als auch im Innern des Kennfelds bei verminderter Drehzahl rasch unwirtschaftlich. Der professionelle Schlepper-einsatz (z.B. Lohnunternehmen) erfordert also eine möglichst vollständige Motorauslastung, um ein wirtschaftlich optimales Ergebnis

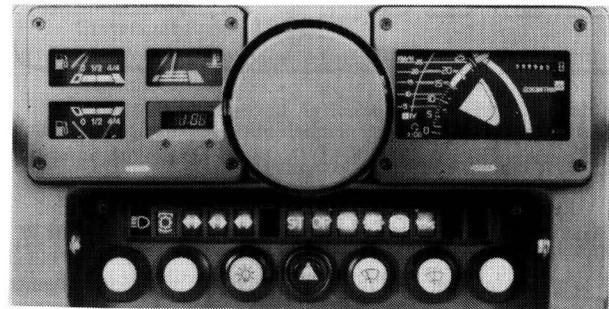


Bild 9. Modular aufgebaute Armaturentafel, nach [31]. Rechts oben "Ecocontrol"-Instrument als Ersatz des Traktormeters.

zu erzielen. Das gleiche Optimierungsziel gewinnt auch bei drohendem Witterungsumschwung und bei der Bearbeitung von "Minutenböden" oberste Priorität. Aus dieser Erkenntnis heraus und basierend auf praktischen Erfahrungen mit einem zweiparametrischen, visuellen Optimierungshilfsmittel [33], wird eine Anzeigeneinheit vorgeschlagen, die es dem Fahrer ermöglicht, das Fahrzeug stets in einem wirtschaftlichen Bereich zu betreiben, nachdem er seine Handlungsstrategie per Tastendruck vorgewählt hat. Das Informationssystem berechnet dann selbständig die optimale Getriebeübersetzung und erteilt dem Fahrer explizite Handlungsanweisungen.

Einem Entwurf dieser Anzeige zufolge wird der momentane Gang durch konstant leuchtende und der optimale Gang durch blinkende Lampen gekennzeichnet, Bild 11. Die Motordrehzahl/Zapfwelldrehzahl wird durch Leuchtpfeile als "zu hoch" oder "zu niedrig" ausgewiesen. Ebenso sind andere äußere Gestaltungsmerkmale denkbar und realisierbar. Experimentelle Voruntersuchungen haben beim Pflügen mit einem 55 kW-Schlepper Produktivitätssteigerungen um 15 % infolge visueller Fahrerbeeinflussung ergeben [34]. Damit ist ein Entwicklungspotential eröffnet, das aus heutiger Sicht größer ist, als alle durch konstruktive Überarbeitung am Fahrzeug erreichbaren Verbesserungen.

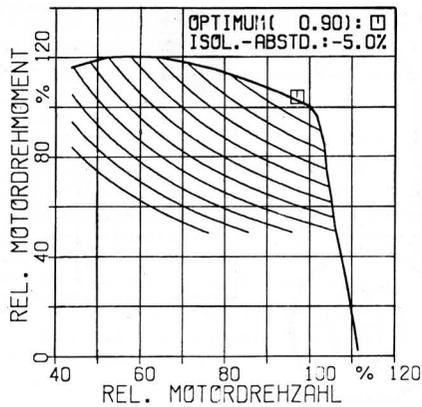


Bild 10. Optimaler Betriebspunkt im Motorkennfeld bei hoher Wertung der Zeitkosten; Pflügen.

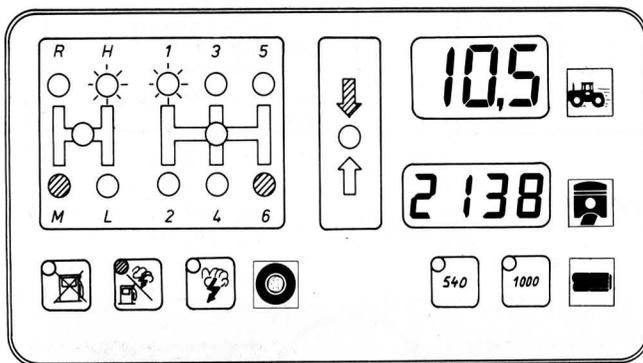


Bild 11. Projektierter Anzeigeneinheit mit Ganganzeige (Dauerlicht) und Gangempfehlung (Blinklicht) (Entwurf TU Berlin).

4. Gestaltungshinweise und Entwicklungsschwerpunkte

Ein Schwerpunkt bei der Projektierung von Informationssystemen und Datendisplays muß der Anpassung an das Aufnahmevermögen und die Aufnahmewilligkeit des Fahrers gewidmet sein. Neben den sehr zurückhaltend zu verwendenden akustischen (Warn-) Signalen sollten visuelle Informationsträger dominieren:

Optische Signalquellen sind in der Regel auf foveales Erkennen (Abbildung im zentral gelegenen Netzhautbezirk, einem Sehwinkel von $1\ 1/2^\circ$ entsprechend) auszulegen [16]. Dazu ist es wichtig, die nähere Umgebung des Anzeigenfelds möglichst "ruhig", d.h. aus wenigen, einfachen Formelementen zu gestalten. Andernfalls werden die Augen beim notwendigen Fixieren der Anzeige durch Nebenziele abgelenkt und zu kurz abgesetzten Korrekturbewegungen gezwungen.

Gemäß den Erkenntnissen aus dem Pkw-Bereich [35] ist eine räumliche Zerteilung der Datenausgabe zu bevorzugen:

1. Daten, die der ständigen Überwachung des Fahrzustands und der Fahrersicherheit dienen, müssen im direkten Blickfeld des Fahrers liegen (Motordrehzahl, Fahrgeschwindigkeit, Kontrolleuchten für Fahrtrichtungsanzeiger, Fernlicht, Feststellbremse, Differentialsperre und ein zentrales Warnlicht, falls zulässige Bereiche der Betriebsparameter verlassen sind).
2. Zusätzliche Informationen, dazu gehören neben den hier behandelten Displays zur Betriebsoptimierung auch Zapfwelldrehzahlmesser, Füllstandsanzeigen, Thermometer, Voltmeter und jene Kontrolleuchten, auf die mittels des zentralen Warnlichts aufmerksam gemacht wird, können auf einer Konsole seitlich des Fahrersitzes zusammengefaßt werden.

Statt einer ständigen Reizüberflutung ausgesetzt zu sein, sollte der Fahrer die Möglichkeit erhalten, einzelne ihn interessierende Größen über Knopfdruck abzurufen und wieder auszuschalten. Für die Gestaltung bedeutet das:

- Nicht aktivierte Displayteile sollten entweder als graue Flüssigkristallflächen erscheinen oder hinter einer mattschwarzen Streulichtfolie verborgen bleiben
- Displays müssen in ihrem Erscheinungsbild so einfach wie möglich gehalten werden!

Da der Schlepper im allgemeinen nur in Kombination mit Arbeitsgeräten eingesetzt wird, ist die Einbeziehung von am Gerät erfaßten Daten ein logischer Folgeschritt [36]. Dazu sind Vorüberlegungen und Kommunikation auf internationaler Ebene bezüglich der Datenkodierung und Datenübertragung zwischen Schlepper und Gerät nötig, um hier rechtzeitig standardisierte und kompatible Lösungen vorzubereiten.

4.1 Zur Auswahl der Display-Funktionsträger

Prinzipiell bieten sich Anzeigenfelder in Leuchtdioden-, Vakuumfluoreszenz-, Flüssigkristall-, Gasentladungs- und Glühfadentechnik an [37]. Leuchtdioden sind robuste Halbleiterbauteile mit niedriger Versorgungsspannung, großem Bereich der Betriebstemperatur, und ermöglichen eine farbliche Abstufung. Nachteilig zu bewerten sind die hohe Stromaufnahme und das Erfordernis einer Helligkeitsregelung zur Anpassung an die veränderliche Umgebungslichtstärke. Für eine serienmäßige Herstellung flächiger Displays ist der Beschaltungsaufwand für die Ansteuerung mit den dazugehörigen Lötverbindungen kaum tragbar.

Auch die Vakuumfluoreszenztechnik ermöglicht aktive, d.h. lichtemittierende, Displays, die ebenfalls der Helligkeitsregelung bedürfen, um bei direkter Sonneneinstrahlung lesbar zu bleiben. Gegen sind Flüssigkristallanzeigen wegen ihrer flachen Bauweise, der geringen Stromaufnahme und insbesondere der guten Ablesbarkeit in heller Umgebung für die Montage am Armaturenbrett sehr positiv zu bewerten. Das mit abnehmender Temperatur träger werdende Zeitverhalten der Anzeige stellt beim heutigen Entwicklungsstand keine Minderung der Einsatztauglichkeit für die hier diskutierte Anwendung mehr dar [38]. Nachteilig ist die Notwendigkeit einer rückwärtigen Ausleuchtung über sorgfältig formoptimierte Lichtleitkanäle aus Acrylglas [39]. Zu klären bleibt ferner die Dauerhaltbarkeit unter Einwirkung von klimatischen Faktoren (insbesondere Feuchte) und stoßhaltigen Fahrzeugschwingungen im mehrjährigen landwirtschaftlichen Einsatz.

Auch sollte bei reduzierten Anforderungen an die Auflösung eine Anordnung von Glühfadenlampen hinter Filterscheiben nicht völlig außer acht bleiben.

5. Zusammenfassung

Die Abschwächung des Leistungsbooms auf dem Schleppermarkt kann eine Phase der Produktverfeinerung durch zusätzliche Anwendung hochwertiger Techniken eröffnen.

Am Beispiel des klassischen Zentralinstruments auf der Armaturentafel, dem Traktormeter, wird gezeigt, wie durch eine konzeptionelle Veränderung die bisherige Ablesegenauigkeit von 8 . . . 10 % verbessert werden kann. Die genaue Überwachung von Geschwindigkeit und Drehzahlen ist eine Voraussetzung für den wirtschaftlichen Schleppereinsatz und Grundlage für optimale Arbeitsergebnisse, z.B. bei der Ausbringung von Saatgut, Dünge- und Pflanzenbehandlungsmitteln.

Darüber hinaus ist durch gezielt aufbereitete und visuell präsentierte Daten und Handlungsanweisungen je nach Zielvorgabe eine deutliche Senkung der Kraftstoffkosten oder – über die Erhöhung der Motorauslastung – eine Steigerung der Nutzleistung (Flächenleistung) möglich. Die Wirksamkeit eines solchen Informationssystems konnte im Feldversuch für schwere Bodenbearbeitung nachgewiesen werden.

Weitere Untersuchungen sollen zeigen, inwieweit sich zapfwellengetriebene Geräte in den Optimierungs- und Überwachungsprozess einbeziehen lassen. Ebenso soll ermittelt werden, ob und an welchen Stellen der Einsatz von komplexen Regelkreisen im System Schlepper/Gerät sinnvoll ist. Für diese Aufgaben steht an der TU Berlin neben den üblichen Meßausrüstungen ein Entwicklungssystem für Mikroprozessoren zur Verfügung, das es ermöglicht, Prototypen für Überwachungs- und Regelfunktionen kurzfristig darzustellen.

Schrifttum

Bücher sind durch • dargestellt

- [1] *Buß, E.*: in Arbeitspapier zur Schriftenreihe Schwerpunkt Marketing, FGM-Tagung 1983. Fördergesellschaft Marketing an der Universität Augsburg (FGM) e.V.
- [2] *Hesse, H.*: Signalverarbeitung in Pflugregelsystemen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 32 (1982) Nr. 2, S. 54/59.
- [3] *Bode, D.*: New Ag Tractors Feature Onboard Computer. *Diesel Progress North American*, March 1983, S. 20/24.
- [4] *Richardson, N.A., R.L. Lanning, K.A. Kopp u. E.J. Carnegie.*: True ground speed measurement techniques. SAE-Paper 821058, Warrendale 1982.
- [5] *Göhlich, H. u. K.-H. Mertins.*: Fahrgeschwindigkeitsmessung an landwirtschaftlichen Fahrzeugen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 14/20.
- [6] *Agri-Data system opens up a new world in tractor information systems.* Allis-Chalmers Brochure AED 839-8202.
- [7] *Singleton, W.T.*: Display design: Principles and procedures. *Ergonomics* Bd. 12 (1969) Nr. 4, S. 519/31.
- [8] *Rowold, K.-J.*: Kraftstoffeinsparung durch Fahrerbeeinflussung. *Batelle aktuell*, 3/Sept. 1983, S. 5/6.
- [9] *Goris, J.M. u. H.S. Benson.*: Maximizing dozer work rate with draft power sensing systems. SAE-Paper 790510, Warrendale 1979.
- [10] *Buckingham, F.*: Electronic controls: some today, more tomorrow. *Implement & Tractor*, March 1983, p. 8/18.
- [11] *Wright, P.*: Display concepts for agricultural vehicles. SAE-Paper 830323, Warrendale 1983.
- [12] *Wilson, R.J.*: A history of instrumentation on agricultural equipment. SAE-Paper 830322, Warrendale 1983.
- [13] *Scott, D.*: Electronic dashboards on high-volume european cars. *Automotive Engineering* Bd. 91 (1983) Nr. 6, S. 73/78.
- [14] • *Schmidtke, H. (Hrsg.)*: Lehrbuch der Ergonomie. München, Wien: Hanser 1981.
- [15] *Ishii, I.*: Comparison of visual recognition time of analogue and digital displays in automobiles. SAE-Paper 800354, Warrendale 1980.
- [16] *Bouis, D., R. Haller, G. Geiser u. F. Heintz.*: Ergonomic optimization of LC-displays in motor vehicles. *ISATA 83, Proc. Vol. 2*, S. 1109/22.
- [17] *Autocar*, w/e 23 May 1981, p. 49.
- [18] *Ohrmann, J., W.E. Larsen u. L.R. Erickson.*: Four-wheel drive tractors: A field evaluation. *Agricultural Engineering* Bd. 61 (1980) Nr. 12, S. 17/18.
- [19] *Talamo, J.D.C.*: The perception of machinery indicator sounds. *Ergonomics* Bd. 25 (1982) Nr. 1, S. 41/51.
- [20] • *Bockelmann, H. v.*: Der Boden lebt. Essen: W. Girardet 1983.
- [21] *Unterlagen der Firma Dickey-john Corp., Auburn, Ill., USA.*
- [22] *Schimmel, J. u. H. Hulla.*: Einsatzoptimierung von Acker-schleppern durch elektronische Fahrerinformation. *Grundl. Landtechnik* Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 5/10.
- [23] *Hujiura, T., N. Kawamura u. P.S. Gia.*: Automatic control of rotary tilling tractor (Part IV). *Journal of the S.A.M., Japan*, Bd. 43 (1981) Nr. 1, S. 39/44.
- [24] *Ismail, S.M.*: Ein digitales Geräte-Regelungssystem zur Optimierung des Laufwerkswirkungsgrades. Vortrag Int. VDI-Tagung Landtechnik, 10.–11. Nov. 1983, Braunschweig.
- [25] *Stroppel, A.*: Energie- und Arbeitszeitbedarf für gezogene Geräte der Bodenbearbeitung bei unterschiedlicher Schleppermotorauslastung. *Grundl. Landtechnik* Bd. 30 (1980) Nr. 4, S. 135/39.
- [26] *Stroppel, A. u. W. Schäfer.*: Arbeitszeit- und Energiebedarf beim Pflügen in Abhängigkeit vom Getriebeingang, der Arbeitsbreite des Pfluges und der Schleppermasse. *Grundl. Landtechnik* Bd. 31 (1981) Nr. 5, S. 165/71.
- [27] *Jahns, G. u. H. Steinkampf.*: Einflußgrößen auf Flächenleistung und Energieaufwand beim Schleppereinsatz. *Grundl. Landtechnik* Bd. 32 (1982) Nr. 1, S. 20/27.
- [28] *Weiler, W.*: Optimaler Schleppereinsatz beim Pflügen. Diplomarbeit Techn. Univ. Wien, 1982.
- [29] *Buck, G. u. E. Lauster.*: Untersuchungen und Berechnungen bei Schleppertriebwerken und Achsen. Vortrag Int. VDI-Tagung Landtechnik, 10.–11. Nov. 1983, Braunschweig.
- [30] *Mertins, K.-H. u. E. Bergmann.*: Programm zur Berechnung des Traktorfeldeinsatzes bei schwerem Zug, SIMTRAK (FORTRAN IV). Unveröffentlichter Bericht, Inst. f. Landtechnik, Technische Universität Berlin, 12/82.
- [31] *Monitoring for maximum fuel efficiency – another first for Renault.* News Release, Renault Agriculture Ltd., Shipston-on-Stour, 1983.
- [32] *Mertins, K.-H.*: Ein Beitrag zur Energieeinsparung beim Schleppereinsatz. *Landtechnik* Bd. 35 (1980) Nr. 4, S. 162/65.
- [33] *Mertins, K.-H. u. H. Göhlich.*: Driver information displays – a step to optimum tractor operation. In: *Fazzolare/Smith* (Hrsg.): *Beyond the energy crisis*. Proc. III. Int. Conf. on Energy Use Management, Berlin 1981. Oxford and New York: Pergamon Press Bd. III, S. 1707/13.
- [34] • *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).
- [35] *Galvano, F.*: Pinin, un po' di ieri, molto di domani. *Auto & Design* Bd. 2 (1980) Nr. 3, S. 12/17.
- [36] *Speckmann, H.*: Aufgaben eines Bord-Computers im Rahmen der Fahrerplatz- und Arbeitsgestaltung. Vortrag Int. VDI-Tagung Landtechnik, 10.–11. Nov. 1983, Braunschweig.
- [37] *Bechen, P. v.*: Displaytechnik im Vergleich. *Elektronik* Bd. 31 (1982) H. 14, S. 77/78.
- [38] *Riordan, K.*: Recent Developments in liquid crystal display technology. SAE-Paper 800239, Warrendale 1980.
- [39] *Walkush, G.A., K.T. Milne, L.J. Owen, D.A. Ross u. G. Ackermann.*: An LCD-instrument panel for an automotive application. SAE-Paper 830041, Warrendale 1983.