



Bild 2. Antrieb des Dosieraggregates mit elektrohydraulischer Regelung.

Q	Gesamtstrom der Pumpe	P	Potentiometer
Q_D	Strom zum Motor des Dosieraggregates	R	Regelelektronik
Q_T	Teilstrom zum Tank	T_1	Tachogenerator für Fahrgeschwindigkeitsmessung
D	Dosieraggregat	T_2	Tachogenerator für Drehzahlmessung
H	Hilfsenergie		

ordnung des Drehpotentiometers sogar während der Fahrt vom Schlepper aus vornehmen. Weiterhin bietet die elektrohydraulische Regelung die Möglichkeit, bei Schleppern mit einer "hydraulischen Steckdose" auf die Konstantpumpe mit dem Übersetzungsgetriebe zu verzichten.

Alle oben erläuterten Antriebssysteme bieten außerdem die speziellen Vorteile der Hydrostatik [4], wobei sich insbesondere die Flexibilität bei der Anordnung der Bauelemente vorteilhaft auswirkt. Die Verstellung der Schleuderscheibe zur Änderung des Aufgabepunktes sowie die Leistungsübertragung bei sehr hoch angehobenem Schleuderdüngerstreuer (Spätdüngung) lassen sich auf einfache Weise verwirklichen. Wegen des geringen Leistungsbedarfs von Schleuderdüngerstreuern liegt das Druckniveau in den Hydrauliksystemen verhältnismäßig niedrig. Demzufolge sind weder durch Drosselverluste bedingte Temperaturprobleme noch merkliche Lecköleinflüsse zu erwarten.

3. Zusammenfassung

Die Schleuderdüngerstreuer haben sich in der Praxis zur Ausbringung von gekörntem Mineraldünger bewährt. In Zukunft ist es aus ökonomischen Gründen erforderlich, die Düngemittel noch effizienter einzusetzen. Voraussetzung hierfür ist eine gleichmäßige Verteilung des Düngers ohne Streifenbildung. Die Hydraulik bietet die Möglichkeit, die Antriebssysteme von Schleuderdüngerstreuern

so auszulegen, daß die Streuergebnisse wesentlich verbessert werden können. Bild 3 zeigt einen Schleuderdüngerstreuer mit hydrostatischem Antrieb; das Antriebssystem entspricht dem in Bild 1 a dargestellten.

Zur weiteren Verbesserung der Antriebssysteme tragen elektrohydraulische Regelungen bei, die den Schlepperfahrer hinsichtlich der Kontrollfunktionen entlasten. Mit Hilfe von Proportionalventilen lassen sich Regelungssysteme mit vertretbarem Aufwand verwirklichen.



Bild 3. Schleuderdüngerstreuer mit hydrostatischem Antrieb (Werkbild Fa. Dreyer, Bad Essen-Wittlage).

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Causin, K.-O.*: Schleuderdüngerstreuer "Diadem HS 1000 Super". Die Landtechnische Zeitschrift — dlz (1980) Nr. 4, S. 520/21.
- [2] *Backe, W.*: Grundlagen der Ölhydraulik. 2. Aufl. Institut für hydraulische und pneumatische Antriebe und Steuerungen, Rhein.-Westfälische Technische Hochschule Aachen 1974.
- [3] *Göllner, E.*: Verhalten elektrohydraulischer Geschwindigkeitsregelungen. Ölhydraulik + Pneumatik Bd. 23 (1979) Nr. 11, S. 815/18.
- [4] *Matthies, H.J.*: Entwicklungslinien auf dem Gebiet der Schlepperhydraulik. Grndl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 1, S. 31/40.

Wirtschaftlichkeit und technische Weiterentwicklung des Ackerschleppers

Von Karl Theodor Renius, Köln *)

Professor Dr.-Ing. Hans Jürgen Matthies zum 60. Geburtstag

DK 631.372:65.011.4:65.012.23

*) Dr.-Ing. K.Th. Renius war von 1966 bis 1973 Mitarbeiter von Herrn Prof. Dr.-Ing. H.J. Matthies am Institut für Landmaschinen der TU Braunschweig. Er ist jetzt Hauptabteilungsleiter Produktbetreuung Traktoren der KLÖCKNER-HUMBOLDT-DEUTZ AG, Entwicklungswerk Köln-Porz.

Es wird eine Ordnung entwickelt für die Faktoren, die Einfluß auf die Nutzen/Kosten-Bilanz des Ackerschleppers haben. Diese dient im folgenden zur Diskussion des erreichten Entwicklungsstandes und zur Ableitung der Prioritäten für zukünftige Entwicklungsziele. Die drei bedeutendsten Aufgaben sind: Reduzierung der Herstellkosten, Steigerung der Einsatzleistung und Senkung des auf die abgegebene Leistung bezogenen Kraftstoffverbrauchs.

1. Einleitung

Der Ackerschlepper kann als das "Standardwerkzeug" der Landwirtschaft gelten. Wirtschaftlichkeit sollte aus zwei Blickrichtungen gegeben sein: der Landwirt möchte mit dem Schlepper gewinnbringend arbeiten und die Industrie möchte Ackerschlepper gewinnbringend entwickeln, herstellen und verkaufen.

Der Erfolg eines Ackerschleppers wird aus der Sicht des Herstellers im wesentlichen durch 3 Faktoren bestimmt [1]:

- Funktionen
- Kosten
- Verkauf.

Fragen des Verkaufs sollen hier ausgeklammert bleiben. Der Bezug der Funktionen auf die Kosten wird in [1] als Produktwert definiert. Hersteller von Schleppern müssen im Interesse eines rentablen Geschäfts bemüht sein, hohe Produktwerte zu erreichen. Der Landwirt erwartet von seiner Maschine einen gewissen Nutzen, der mit möglichst geringen Betriebskosten zu erbringen ist. Ziel dieser Arbeit sei: Ordnen und Diskutieren derjenigen Faktoren, die diese Bilanz beeinflussen, und Ableiten einiger möglicher Fortentwicklungen.

2. Vereinfachte Nutzen/Kosten-Bilanz

Die in **Tafel 1** vorgeschlagene Ordnung wird zweckmäßig auf das Maschinensystem "Schlepper + Gerät" angewendet. Personalkosten wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit herausgelassen.

Bei den Nutzenkriterien kommt den Positionen Einsatzmöglichkeiten und Einsatzleistung die größte Bedeutung zu. Auf der Kostenseite haben die Kosten für das eingesetzte Kapital das größte Gewicht, gefolgt von den Kosten für Betriebsstoffe.

Nutzen	Kosten	
- Einsatzmöglichkeiten	- Kapital	Fixkosten*
- Einsatzleistung	- Unterbringung	
- Einsatzbereitschaft	- Versicherungen	
- Komfort und Sicherheit	- Betriebsstoffe	variable Kosten
- Form/Farbe (Erbauung)	- Wartung	
	- Reparatur	

* Einfluß der Nutzungsintensität auf die Abschreibung vernachlässigt

Tafel 1. Vereinfachte Nutzen/Kosten-Bilanz des praktischen Betriebes.

3. Nutzen-Kriterien

3.1 Einsatzmöglichkeiten und Einsatzleistung

Das Spektrum möglicher Schleppereinsätze resultiert einerseits aus der angebotenen Anzahl technischer Funktionen am Schlepper, andererseits aber auch aus dem Umfang, in welchem Geräte verfügbar und sinnvoll anbaubar sind. Die jeweils erzielbare Einsatzleistung läßt sich z.B. messen in Flächenleistung (ha/h), Bodenumsatzleistung (m³/h), Transportleistung (tkm/h), Bergeleistung (t/h), Ladeleistung (t/h) usw.

Die Faktoren, die von Einfluß auf diese Leistungen sind, lassen sich unter drei Überschriften einordnen, **Tafel 2**:

1. Äußere Mechanik
2. Innere Mechanik
3. Prozeßführung.

Äußere Mechanik	Innere Mechanik	Prozeßführung
- Betriebsgewicht u. Radlastverteilung	- Motor	- Messung
- Fahrwerk	- Getriebe, Achsen	- Soll/Ist-Vergleich
- Geräterwirkungen	- Arbeitshydraulik	- Korrektur

Tafel 2. Faktoren, die die Einsatzleistung des Systems aus Schlepper und Gerät beeinflussen.

Die drei Gruppen werden im folgenden besprochen.

3.1.1 Äußere Mechanik

Die äußere Mechanik wird durch die äußeren Kraftwirkungen und Bewegungen bestimmt. Der Betreiber hat hierauf einen grundlegenden Einfluß, beispielsweise durch die Art der Ballastierung, die Wahl der Bereifung und die Zuordnung von Schlepper und Gerät.

Eine flexible Ballastierung wird nur dann möglich sein, wenn das Betriebsgewicht und die Achslastverteilung in weiten Grenzen variierbar sind. Im Hinblick auf bestimmte Einsätze – beispielsweise die schnelle Oberflächenbodenbearbeitung – muß die Grundmaschine möglichst leicht gebaut werden. Die Veränderung der Gewichtskräfte bezüglich Größe und Position sollte bequem möglich sein. Beide Aufgaben sind derzeit noch nicht voll befriedigend gelöst.

Zur äußeren Mechanik möchte ich auch die Vorgänge am Fahrwerk zählen. Die Gesamtheit der Wechselwirkungen zwischen allen Reifen und dem Ackerboden bzw. der Fahrbahn hat einen bekannt großen Einfluß auf die Einsatzleistung [2, 3].

Der Vierradantrieb erhöht bei allen Zugarbeiten sowie beim Frontladen und bei der Forstarbeit die Einsatzleistung [4]. Entgegen vereinzelt Darstellungen im Schrifttum entspricht der Zugkraftgewinn nicht etwa nur der prozentual hinzukommenden Achslast, sondern der Zuwachs ist aus mehreren Gründen auch bei gleichgehaltenem Schlupf erheblich größer. Gleichzeitig sinkt in vielen Fällen – insbesondere bei der Bodenbearbeitung – der auf die Einsatzleistung bezogene Kraftstoffverbrauch [5].

Der Vierradantrieb erfordert nicht unbedingt 4 gleich große Reifen [6]. Im Interesse kleiner Wenderadien (wichtig vor allem beim Frontladen und Wenden) sowie zur Ermöglichung der kostengünstigen Blockbauweise hat sich in Europa das Konzept mit etwas unterschiedlichen Reifendurchmessern bei möglichst geringen Breitenunterschieden durchgesetzt. In [5] wurde vom Verfasser für nordamerikanische Einsatzbedingungen eine für viele Einsatzfälle positive Wirtschaftlichkeitsbetrachtung vorgetragen, die weiter diskutiert wird [7].

Europa hat einen Siegeszug des Vierradantriebes hinter sich, der die Prognosen [8] noch übertraf. Dabei wiegen auch hier die Vorteile unterschiedlich – z.B. je nach Größe und Art des Betriebes [9, 10] und nach Art des Straßentransports: Hier sind den Vorteilen (z.B. höhere Zugkraft bergauf, Vierradbremmen bergab) die Nachteile eines etwas höheren Kraftstoffverbrauchs und höheren Reifenverschleißes entgegenzustellen.

Der Nutzeffekt des Vierradantriebes verschwindet gänzlich bei der Bodenbearbeitung mit zapfwellengetriebenen Geräten – z.B. Bodenfräsen. Hier sind leichte, kostengünstigere Schlepper mit Hinterradantrieb besonders wirtschaftlich [11].

Neben dem Vierradantrieb hat auch die Weiterentwicklung der Reifen die Wirtschaftlichkeit gefördert. Die Einsatzleistung und die Fahrwerkwirkungsgrade konnten insbesondere durch die Einführung der Gürtelreifen verbessert werden [12, 13]. Als Faustzahl kann eine durchschnittliche Anhebung der Reifenzugkraft von etwa 5–10 % gegenüber herkömmlichen Diagonalreifen gelten (gleiche Abmessungen und Betriebsbedingungen vorausgesetzt). Gleichzeitig vermindert sich auch der spezifische Rollwiderstand.

Beim Pflügen ist immer noch häufig der Fehler einer unzureichenden Abstimmung von Furchenbeschaffenheit und hinterem Furchentreibrad zu beobachten. Die Wiederverfestigung schon gepflügten Bodens oder auch zurückgefallener Schollen kostet unnötige Energie [14]. Nach eigenen Berechnungen werden allein am hinteren Furchentreibrad bei Hinterradantrieb ca. 60–70 % – bei Vierradantrieb immer noch um 50 % der Zugleistung erzeugt, ein guter Wirkungsgrad ist daher hier besonders wichtig.

Als dritte Gruppe der Einflußfaktoren bei der äußeren Mechanik werden die Gerätewirkungen zusammengefaßt. Hier ist zu unterscheiden zwischen den Vorgängen am Gerät selbst, z.B. der Werkzeug/Boden-Wirkung beim Pflügen [15] und den Rückwirkungen auf den Schlepper, insbesondere bezüglich Leistungsaufnahme [16] und Radlastbeeinflussung [17]. Ein wichtiges Ziel wirtschaftlicher Arbeitsweise besteht bekanntlich darin, bei langsamen Ackerarbeiten die Gerätekraft zur Erhöhung der Radlasten heranzuziehen, um Zugleistung und Fahrwerkswirkungsgrad zu verbessern. Beim Pflügen mit schweren Anbaupflügen an vieradgetriebenen Schleppern kann man nun häufig eine zu große Hecklastigkeit beobachten [18]. Kräftiger Frontballast verbessert die Einsatzleistung – unbefriedigend ist jedoch dabei meist die Anbringung, die nicht weit genug vor der Vorderachse möglich ist. Ein französischer Frontpflug führt in Verbindung mit einem herkömmlichen, verkleinerten Heckpflug zu einer diesbezüglich ausgewogeneren Achslastverteilung, die nach ersten Versuchen zu beachtlichen Feldleistungen führte [19].

3.1.2 Innere Mechanik

Die "inneren Werte" eines Ackerschleppers werden vor allem durch die Betriebsdaten und -eigenschaften der Komponenten Motor, Getriebe (inkl. Achsen) und Arbeitshydraulik bestimmt.

Der Motor erzeugt die mechanische Energie des Ackerschleppers. Seine Nennleistung, sein Vollastdrehmomentverhalten und sein Teillastbetriebsverhalten können daher als Basis gelten, auf der die Wirkungen aller übrigen Komponenten aufbauen [2, 20, 21]. Weltweit wurde der Dieselmotor mit Direkteinspritzung von Europa ausgehend zum Standardkonzept. Bei kleinen Vierzylindermotoren für Leichttraktoren um 20–30 kW sind neuerdings den Japanern bemerkenswerte Entwicklungen gelungen.

Ackerschlepper werden überwiegend nach der Motornennleistung bzw. der an der Motorzapfwelle meßbaren Leistung verkauft bzw. eingestuft, obwohl in der Praxis der Teillastbetrieb zeitlich viel häufiger vorkommt als der Betrieb nahe der Nennleistung [22, 23, 24]. Die Verbesserung der Motoreigenschaften muß dieses verstärkt berücksichtigen, erste Erfolge wurden bekannt [24].

Das Getriebe mit den Achsen gilt als die aufwendigste Komponente des Ackerschleppers [25]. Sein Aufbau und sein Betriebsverhalten bestimmen die Einsatzleistung des Schleppers grundlegend [26, 27]. Ideal wäre ein Getriebe, das eine Nutzung beliebiger Motorbetriebspunkte (Drehmoment/Drehzahl-Zuordnungen des Motors) ohne Kraftflußunterbrechung ermöglichte. Dazu benötigte man stufenlose Getriebe, die bisher jedoch nicht hinreichend kostengünstig und verlustarm herzustellen sind. Weltweit setzt nur ein einziger Hersteller stufenlose hydrostatische Fahrtriebe bei Ackerschleppern ein [28], wobei noch ein erheblicher Produktionsanteil außerlandwirtschaftlich abgesetzt wird. Die Entwicklung eines hydrostatischen Großseriengetriebes für Nutzfahrzeuge in Nordamerika zielte auf eine Reduzierung der Kosten und der Verluste durch Anwendung der Leistungsverzweigung [29], brachte jedoch auch nicht den gewünschten Erfolg.

Über 99 % aller weltweit produzierten Standardschlepper arbeiten daher mit Stufengetrieben. Hier erhöhte man die Gangzahlen, verfeinerte die Stufung, verbesserte die Schaltbarkeit und reduzierte die Verluste. Vor allem die beiden letzten Maßnahmen werden in die Zukunft fortwirken. Das Schalten einzelner Stufen unter Last kann die Einsatzleistung bei wechselndem Zugkraftbedarf erhöhen – vermindert jedoch in der Regel durch die zusätzlichen rotierenden Massen den Schaltkomfort der übrigen Stufen und beeinträch-

tigt damit erfahrungsgemäß besonders das Schalten auf der Straße bei Transportarbeiten. Ebenso reduziert sich der Vollast-Getriebewirkungsgrad um etwa 1–3 Prozentpunkte. Deswegen ist die Bedeutung unter Last schaltbarer Stufen in Europa gering geblieben, im Gegensatz insbesondere zu Nordamerika, Kanada und Australien, wo die Transporteignung des Ackerschleppers bisher kaum eine Rolle spielte. Dort versucht man, die Einsatzleistung durch Stufengetriebe zu steigern, bei denen nach Vorwahl einer Grundstufe drei oder vier Feinstufen eng beieinander unter Last schaltbar sind [25]. Der Stufensprung sollte dabei etwa 1,2 betragen (bei großen Drehmomentanstiegen des Motors auch etwas darüber); vier bis sechs Grundstufen sind notwendig. In Europa baut man ein ähnliches Konzept in kleinen Stückzahlen in Großschlepper ein, deren Transporteignung weniger wichtig ist [30].

Zum Getriebe hinzugerechnet wird oft auch die Hinterachse mit dem Endantrieb. Für die Einsatzleistung von Bedeutung ist vor allem die Funktion der Differentialsperre. Bei Vierradantrieb sollte auch das Differential der Frontachse eine entsprechende Funktion aufweisen, so daß bei Geradeausfahrt mit voll gesperrtem Fahrwerk gearbeitet werden kann – dieses bringt die größtmögliche Flächenleistung, vor allem beim Pflügen (Fahren in der Furche).

Der zur Verbesserung der Lenkeigenschaften konstruktiv vorgesehene Vorlauf der Vorderachse beeinträchtigt bis zu Werten von etwa 5 % die Leistungsfähigkeit auf dem Acker praktisch nicht (Laufwerkwirkungsgrad sinkt max. nur um ca. 1 %) [31].

Die Elemente des Frontantriebs selbst weisen wegen der relativ jungen Entwicklung noch Potential für funktionelle Verbesserungen auf. Größere Bodenfreiheit, reduzierter Wenderadius und Platzgewinn durch zentrale Antriebe werden angestrebt. Weiterzuentwickeln sind auch die rasch aufgekommenen hydrostatischen Hilfskraftlenkungen, die bei gesteigerter Lenkqualität (z.B. bezüglich Betätigungskraft und Geradeauslauf) dem Motor möglichst wenig Leistung entnehmen sollten. Die über eine längere Zeit gemittelte "Lenkleistung" an den Lenkzylindern stellt derzeit mit Konstantpumpen nur einen Bruchteil der durchschnittlich dem Motor entzogenen Pumpenantriebsleistung dar. Dieses bedeutet Verlust an installierter (und investierter) Motorleistung – ferner auch erhöhten Kraftstoffverbrauch.

Als weitere Hauptkomponente bestimmt auch die Arbeitshydraulik die Einsatzleistung des Schleppers. Hierzu wurden in [32 bis 35] Grundlagen und Verbesserungsmöglichkeiten diskutiert, die vor allem Grunddaten und alternative Kreislaufkonzepte betreffen. Derzeit dominieren in Europa wegen der geringen Herstellkosten und Wartungsansprüche noch relativ einfache Systeme mit Zahnradpumpen, während bei größeren Schleppern nordamerikanischer Produktion Systeme mit Verstellpumpen überwiegen.

Weitere, für die Einsatzleistung wichtige Baugruppen sind der Heckkraftheber, der Frontlader und der Frontkraftheber. Deren neuere Entwicklung beschränkte sich im wesentlichen auf die Anpassung an die gestiegenen Schlepperleistungen, die Festschreibung von Zugkraft-, Lage- und Mischregelung und die Konzeption integrierter Frontkraftheber, die man meist in Verbindung mit Frontzapfwelle anbietet. Für den Frontkraftheber können folgende 6 Motive sprechen [36]: Vermeidung von Niederwalzverlusten der Frontreifen durch Frontgerät, gute Sicht auf Geräte, Einsparung eines Steuermanns, Kombination von Arbeitsgängen, Verbesserung der Achslastverteilung, bequemer Wechsel von Frontballast. Für Grünlandbetriebe reichen bis zu mittleren Schlepperleistungen relativ leichte Bauarten mit durchgehenden Hubkräften an den unteren Koppelpunkten um 10 kN aus, während für den Ackerbau leistungsabhängig Werte im Bereich 12–25 kN erforderlich sind.

3.1.3 Prozeßführung

Das Zusammenspiel zwischen innerer und äußerer Mechanik bedarf der Führung [37, 38]. Diese kann vom Fahrer oder von einer Automatik übernommen werden. Häufig besteht das Ziel darin,

daß ein Maximum an Einsatzleistung herauskommt. Mit zunehmenden Kraftstoffkosten gewinnt auch der auf die Nutzleistung bezogene Kraftstoffverbrauch an Bedeutung. In beiden Fällen sind zur wirtschaftlichen Führung des Arbeitsprozesses die Istwerte gewisser Größen festzustellen (primär der Arbeitserfolg des Gerätes — sekundär z.B. die Schlepperbetriebsdaten), mit Sollwerten zu vergleichen und ggf. zu korrigieren.

Der Regelvorgang kann auch automatisch ablaufen, wie beispielsweise schon lange beim Regelkraftheber oder der Drehzahlregelung des Dieselmotors üblich. Bleibt der Mensch Teil des Regelkreises, so bedarf es nach der Messung zusätzlich einer Anzeige des Istwertes bzw. der Abweichung zwischen Soll und Ist, damit reagiert werden kann.

3.2 Einsatzbereitschaft

Besonders in Zeiten sogenannter Arbeitsspitzen kommt es über die bisher diskutierten Gesichtspunkte auch noch entscheidend auf die Einsatzbereitschaft der Maschine an, um über das ganze Jahr gesehen den erwarteten Nutzen zu erreichen. Zu nennen sind z.B. folgende Einflußfaktoren:

- Qualität der Verarbeitung des Schleppers
- Lebensdauer hochbeanspruchter Komponenten
- Qualität der durchgeführten Wartung
- zeitlicher Aufwand für die Wartung
- zeitlicher Aufwand bei Reparaturen
- Ersatzteilversorgung
- Grad der möglichen Selbsthilfe
- Beratung durch den Hersteller.

Eine Woche Schlepperausfall kann u.U. einen unverhältnismäßig großen Schaden erzeugen — wenn z.B. die Frühjahrsbestellung wegen ungünstiger Witterung in sehr kurzer Zeit erledigt werden muß. Hohe Einsatzbereitschaft erreicht man vor allem durch einen vergrößerten Entwicklungsaufwand mit intensiver Erprobung [39] und schlagkräftiger Rückkopplung der Felderfahrungen.

3.3 Komfort, Sicherheit, Form und Farbe

Der Nutzen dieser Faktoren ist besonders schwer zu quantifizieren. Noch am ehesten läßt er sich für die Sicherheit nachweisen [40]. Auch der Komfort ist, soweit er die Leistungsfähigkeit des Menschen sowie seine Gesundheit fördert, einer Nutzenabschätzung zugänglich [37]. Beide Faktoren werden durch aktive und passive Maßnahmen beeinflußt [38].

Zur Erbauung des Käufers wird dem Schlepper ein ansprechendes Aussehen und eine möglichst geschmackvolle Gestaltung vor allem des Fahrerplatzes gegeben. Die Arbeit der Formgestalter unterliegt gewissen Grundregeln [41, 42].

4. Kosten-Kriterien

4.1 Übersicht

Die Einzelposten, Tafel 1, lassen sich in Fixkosten und variable Kosten einteilen. Deren Gewichte sind vor allem von der jährlichen Betriebsdauer abhängig, die je nach Schlepperleistungs-klassen, Betriebsgröße und Einsatzmarkt erheblich schwanken kann [43]. Während der sogenannten Intensivnutzungsphase [44], d.h. in den ersten 8 bis 12 Betriebsjahren, wird ein sehr großer Prozentsatz der verkauften Schlepper zwischen 300 und 1 200 h/Jahr eingesetzt. Für die statistische Verteilung ist eine unsymmetrische Glockenkurve typisch (flacherer Ast zur Seite der hohen Betriebsstunden). Bei ca. 500 h/Jahr lassen sich in Deutschland für einen 75 kW-Standardschlepper mit Vierradantrieb in der Intensivnutzungsphase folgende Faustzahlen für die Anteile an den Gesamtkosten ableiten [9, 24]:

- | | |
|-------------------------------------|-------|
| 1. Kapitalkosten | 1/2 |
| 2. Betriebsstoffe | 1/4 |
| 3. Wartung, Reparatur | 1/6 |
| 4. Unterbringung,
Versicherungen | 1/12. |

Schon diese Abschätzung zeigt den überragenden Einfluß des Anschaffungspreises auf die Gesamtkosten.

4.2 Fixkosten: Anschaffungspreis im Mittelpunkt

Der Kaufpreis des Schleppers resultiert aus dem marktüblichen Niveau. Die Differenz zu den Gesamtkosten der Herstellung ergibt den Gewinn bzw. Verlust der Schlepperfirma. Die Selbstkosten setzen sich vereinfacht aus folgenden drei Hauptfaktoren zusammen [45]:

1. Material (einschließlich Materialgemeinkosten)
2. Lohn (einschließlich Fertigungsgemeinkosten)
3. Gemeinkosten für Entwicklung, Verwaltung und Vertrieb (einschließlich Garantie und Kulanz).

Darin betragen die Materialkosten einschließlich aller Kaufteile allein über 50 % der Gesamtkosten [24].

Weil der Materialaufwand des Schleppers weitgehend durch die konstruktive Gestaltung bestimmt wird, hat die Entwicklungsabteilung so großen Einfluß auf die Produktkosten [46]. Leichtbau senkt diese Kosten — er ist auch anwendungstechnisch meist noch sinnvoll.

So dürften beispielsweise bei Kabinentraktoren mit Vierradantrieb je nach Leistung und Alter der Konstruktion nach heutigem Stand der Technik noch Materialeinsparungen um 5–15 % (Masse) möglich sein. Vermutlich sind auch bei den Geräten ähnliche Fortschritte erreichbar — das Potential wird vor allem bei neuen Komponenten zu suchen sein, die noch keine lange konstruktive Reifezeit hinter sich haben.

Die zu den Fixkosten gehörenden Ausgaben für Unterbringung und Versicherung sind durch die Schlepperkonstruktion kaum einflußbar.

4.3 Variable Kosten

Nach Tafel 1 gehören hierzu die Kosten für Betriebsstoffe, Wartung und Reparatur.

Bei den Betriebsstoffen steht der Kraftstoffverbrauch im Vordergrund. Eine Reduzierung des auf die Einsatzleistung bezogenen Verbrauchs kann bei vorgegebenen Geräten nur über eine Verringerung der Verluste erreicht werden. **Tafel 3** zeigt eine Grobanalyse für europäische Schlepper mit Vierradantrieb des mittleren bis oberen Leistungsbereiches.

Mögliche Schlußfolgerungen aus dieser Bilanz: Teillastverbrauch der Dieselmotoren verringern (erste Erfolge siehe [24]), Energieverbrauch der Hilfsaggregate minimieren, Motor- und Getriebeverluste bezüglich Straßenfahrt reduzieren [47, 48], Einrichtungen zur Kontrolle des Fahrwerkwirkungsgrades anstreben, direkte Geräteantriebe über die Zapfwelle forcieren (siehe auch [11]).

Bezüglich eines verlustarmen praktischen Einsatzes enthält auch [49] einige Regeln. Hieran erscheint u.a. bemerkenswert, daß der Kraftstoffverbrauch je Flächeneinheit bei gezogenen Bodenbearbeitungsgeräten mit der Fahrgeschwindigkeit stark ansteigt, während bei zapfwellengetriebenen Geräten (z.B. Kreiseleggen) bei richtiger Drehzahlpassung kaum ein Anstieg eintritt.

Die Kosten für Wartung und Reparatur sind stark von Arbeitsaufwand und Lohnhöhe abhängig. Sie lassen sich durch gewisse Regeln niedrig halten. So gilt etwa bezüglich Wartung:

- Möglichst geringe Wartungsansprüche anstreben
- Möglichst lange Wartungsintervalle vorsehen
- Zahl der Betriebsstoffe klein halten
- Gängige Betriebsstoffe und Verschleißteile verwenden

	Verluste bei Ackerbetrieb 4...12 km/h 80 % Motornennleistung bei Nenndrehz.	Verluste bei Straßenbetrieb 30 km/h 25 % Motornennleistung bei Nenndrehz.
Dieselmotor	65 %	ca. 80 %
	der Kraftstoffenergie	
Hilfsaggregate	2...4...8 % *) der Motornennleistung	
Getriebe + Achsen	10...14...18 % **)	30...50 %
	der Eingangsleistung	
Fahrwerk	ca. 35 % der Radnabenleistung etwa zur Hälfte durch Schlupf	überwiegend durch Rollwiderstand
Verlustsumme	ca. 81 %	ca. 93 %
	der Kraftstoffenergie	

*) bis 8 % bei voll arbeitender Klimaanlage, mit Druckluftanlage

**) nach OECD-Testberichten abgeschätzt

Tafel 3. Faustzahlen für Verluste an Ackerschleppern mit Vierrad-antrieb bei Nennleistungen von etwa 60–90 kW.

- Gute Zugänglichkeit sichern
 - Erinnerungseffekte einbauen
 - Selbsthilfe erleichtern
 - Große Schäden bei Wartungsfehlern ausschließen;
- bezüglich Reparatur:
- Ausreichende Lebensdauer der Bauteile sicherstellen
 - Zeitaufwand für Standardreparaturen minimieren und standardisieren (z.B. Kupplungstausch, Dichtungswechsel, Bremsen belegen, Differential überholen)
 - Komplizierte Baugruppen im Tauschverfahren reparieren (z.B. Hydraulikventile)
 - Zugänglichkeit zur Schadensdiagnose sichern (z.B. durch seitliche Getriebegehäuseöffnungen bei Kabinenschleppern)
 - Möglichst wenig Spezialwerkzeuge vorsehen
 - Werkstätten mit Funktionsprüfständen ausrüsten
 - Personal schulen, gute Unterlagen bereitstellen.

In der Regel müssen die Kosteneinsparungen in diesem Sektor durch erhöhte Herstellkosten erkaufte werden. Wie empfindlich der Markt darauf reagiert, zeigt z.B. die nicht zum Zuge kommende Einführung einstellfreier Ventiltriebe bei Dieselmotoren.

Hiermit endet die Diskussion der aufgestellten Nutzen/Kosten-Bilanz. Personalkosten des Schlepperfahrers wurden mit Rücksicht auf die bessere Übersicht nicht in die Betrachtung einbezogen. Ihre Bedeutung ist sehr groß: So liegen sie z.B. bei einem Mittelklassenschlepper mit Vierradantrieb (ca. 50 kW Nennleistung) in der gleichen Größenordnung wie die Summe der übrigen Kosten des Schleppers (ohne Gerät) [50]. Mit steigender Schleppergröße und mit intensivierter Gerätetechnik gehen die (absolut konstanten) Personalkosten relativ zurück: Dieser Effekt hat die enormen Leistungssteigerungen in den letzten drei Jahrzehnten bewirkt und neue Gerätekombinationen geboren. Der Trend setzt sich zukünftig abgeschwächt fort, weil zunehmend Grenzen durch die nicht mitwachsende Flächenstruktur fühlbar werden.

5. Zusammenfassung

Der Landwirt erwartet vom Einsatz des Ackerschleppers einen gewissen Nutzen, der mit möglichst geringen Betriebskosten zu erbringen ist. Es wird eine Ordnung derjenigen Faktoren entwickelt, die diese Bilanz beeinflussen. Dabei kommt auf der Nutzenseite die größte Bedeutung der Einsatzleistung zu. Diese wird besonders eingehend analysiert und als Ergebnis der drei Wirkkomplexe äußere Mechanik, innere Mechanik und Prozeßführung aufgefaßt. Einzeleinflüsse werden besprochen und Tendenzen für die technische sowie verfahrenstechnische Weiterentwicklung abgeleitet.

Bei den Kostenkriterien kommt den Kapitalkosten die größte Bedeutung zu, der Anschaffungspreis steht damit besonders im Mittelpunkt (abgesehen von Personalkosten, die hier unberücksichtigt bleiben). Da am Anschaffungspreis der Materialaufwand allein mit über 50 % beteiligt ist, kann Leichtbau die Kosten senken. Anwendungstechnisch ist vor allem bei vierradgetriebenen Traktoren mit Kabinen derzeit dafür noch Potential vorhanden.

An zweiter Stelle stehen die Kosten für Betriebsstoffe, hier vor allem für Kraftstoff. Bei den meisten Arbeiten gehen mehr als 80 % der Kraftstoffenergie in Verluste über. In vereinfachten Verlustbilanzen für zwei typische

Einsätze (schwere Ackerarbeit und schneller Straßentransport) werden die Anteile quantifiziert, um die Prioritäten für Verbesserungen zu erkennen.

Die Nutzen/Kosten-Bilanz schließt mit Regeln zur Kleinhaltung der Kosten für Wartung und Reparatur und mit einer Anmerkung zur Bedeutung der Personalkosten.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Welschof, G.*: Wechselbeziehungen zwischen Konstruktion und Versuch. Grundl. Landtechnik Bd. 16 (1966) Nr. 4, S. 146/56.
- [2] *Söhne, W.*: Entwicklungstendenzen und -möglichkeiten bei Allradenschleppern. Landtechnik Bd. 35 (1980) Nr. 4, S. 156/61.
- [3] *Domier, K.W. u. A.E. Willians*: Prediction of drawbar power — several approaches (Vorausberechnung der Zugleistung — verschiedene Modelle). ASAE-paper No. 79-1551 (1979).
- [4] *Söhne, W.*: Allrad- oder Hinterradantrieb bei Ackerschleppern hoher Leistung. Grundl. Landtechnik Nr. 20 (1964) S. 44/52.
- [5] *Renius, K.Th.*: European four-wheel-drive: Are technical advantages profitable? (Europäischer Vierradantrieb: Sind die technischen Vorteile wirtschaftlich?) ASAE-paper No. 79-1555 (1979).
- [6] *Söhne, W. u. I. Bolling*: Der Einfluß der Lastverteilung auf die Triebkraft-Schlupf-Kurve von Ackerschleppern. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 3, S. 81/85.
- [7] *Buckingham, F.*: Two looks at front-wheel-drive assist (Zwei Kommentare zum Europäischen Vierradantrieb). Implement & Tractor Bd. 95 (1980) Nr. 24, S. 10/13.
- [8] *Söhne, W.*: Versuch einer Prognose der Leistung und Produktion der Ackerschlepper sowie ihrer konstruktiven Weiterentwicklung. Grundl. Landtechnik Bd. 22 (1972) Nr. 6, S. 161/65.
- [9] *Meinhold, K., K. Walter u. W. Däschner*: Zur Wirtschaftlichkeit von Schleppern unterschiedlicher Leistung und Bauart. Landtechnik Bd. 31 (1976) Nr. 12, S. 519/24.
- [10] *Hartmann, W. u. J.-P. Ratschow*: Kosten schwerer Schlepper beim Einsatz in der Bodenbearbeitung. Landtechnik Bd. 32 (1977) Nr. 9, S. 347/51.
- [11] *Renius, K.Th.*: Wo bleibt die Motorleistung des Traktors? Agrar-Übersicht Bd. 31 (1980) Nr. 10, S. 14/16.
- [12] *Steinkampff, H.*: Ermittlung von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. Diss. TU Braunschweig 1974, Landbauforschung Völknerode Sonderheft Nr. 27 (1975).

- [13] *Steiner, M.*: Messungen der Triebkraft-Schlupf-Kurven verschiedener Ackerschlepperreifen in der Bodenrinne. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 5, S. 169/78.
- [14] *Steinkampf, H.*: Problematik der Leistungsumwandlung über die Triebräder bei leistungsstarken Schleppern. Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 5, S. 168/72.
- [15] *Getzlaff, G.*: Über die Bodenkräfte beim Pflügen bei verschiedener Körperform und Bodenart. Grundl. Landtechnik Nr. 3 (1952) (10. Konstr.-Heft), S. 60/70.
- [16] *Finkenwirth, W.*: Beurteilungsmaßstäbe für den Einsatz stärkerer Schlepper. Landtechnik Bd. 32 (1977) Nr. 4, S. 145/52.
- [17] *Skalweit, H.*: Bestimmung der Kräfte an Schlepper und Pflug bei regelndem Kraftheber. Landtechn. Forschung Bd. 12 (1962) Nr. 2, S. 53/59.
- [18] —: Messungen der Zahnradfabrik Friedrichshafen AG an vierradgetriebenen Ackerschleppern, um 1975.
- [19] —: Einsatzversuche der Klöckner-Humboldt-Deutz AG mit einem Traktor DX 145 in Verbindung mit Front- und Heckanbaupflügen, 1981.
- [20] *Renius, K.Th.*: Vom Standardschlepper zum Automatikschlepper. Die landtechnische Zeitschrift — dlz Bd. 30 (1979) Nr. 4, S. 528/35.
- [21] *Meiners, H.-H.*: Der Einfluß des Drehmomentanstieges und des Ansprechverhaltens von Schleppermotoren auf verschiedene landwirtschaftliche Arbeiten. Landtechnik Bd. 35 (1980) Nr. 4, S. 166/69.
- [22] *Hrubesch, P.*: Zum Auslastungsgrad der Ackerschlepper und Mähdrescher in der westdeutschen Landwirtschaft. Landtechnik Bd. 22 (1966) Nr. 22, S. 770/73.
- [23] *Kutzbach, H.-D. u. H. Schrogel*: Kraftstoffverbrauch und Auslastung von Ackerschleppern — Ergebnis einer Umfrage in Baden-Württemberg. Landtechnik Bd. 36 (1981) Nr. 3, S. 123/27.
- [24] *Welschhof, G.*: Der Ackerschlepper — Mittelpunkt der Landtechnik. Vortrag im Rahmen des Deutschen Ingenuiertages, Berlin 3.6.1981; Abdruck in VDI-Berichte 407 (1981) S. 11/17.
- [25] *Renius, K.Th.*: Neuere Getriebekonzeptionen für landwirtschaftliche Schlepper. Grundl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 2, S. 41/46.
- [26] *Renius, K.Th.*: Grundkonzeptionen der Stufengetriebe moderner Ackerschlepper. Grundl. Landtechnik Bd. 18 (1968) Nr. 3, S. 97/106.
- [27] *Renius, K.Th.*: Festlegung der Getriebeabstufungen von Ackerschleppern nach Fahrgeschwindigkeitskollektiven. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 1, S. 7/15.
- [28] —: Verkaufsunterlagen der International Harvester Comp., USA.
- [29] *Wadman, B.*: Responder automatic transmission ready for market (Automatisches Getriebe "Responder" bereit zur Markteinführung). Diesel & Gas Turb. Progr. Vol. 39 (1973) Nr. 6, S. 32/35.
- [30] —: Verkaufsunterlagen des Schleppers DX 230 der Klöckner-Humboldt-Deutz AG, 1981 (Markteinführung 1978).
- [31] *Steinkampf, H.*: Die Auswirkungen unterschiedlicher Umfangsgeschwindigkeiten der Räder eines Allradsschleppers auf seine Zugfähigkeit. Grundl. Landtechnik Bd. 22 (1972) Nr. 6, S. 166/70.
- [32] *Matthies, H.J.*: Entwicklungslinien auf dem Gebiet der Schlepperhydraulik. Grundl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 1, S. 31/40.
- [33] *Harms, H.-H.*: Stand und Entwicklung der Schlepperhydraulik. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 3, S. 95/99.
- [34] *Garbers, H. u. H.-H. Harms*: Überlegungen zu zukünftigen Hydrauliksystemen in Ackerschleppern. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 6, S. 199/205.
- [35] *Harms, H.-H. u. B. Scheufler*: Ölhydraulische Antriebe und Steuerungen in der Landtechnik. o + p ölhydr. und pneum. Bd. 24 (1980) Nr. 11, S. 809/18.
- [36] *Dohne, E.*: Frontkraftheber. Landtechnik Bd. 33 (1978) Nr. 11, S. 502/504.
- [37] *Batel, W.*: Leistungsstarke Schlepper für die Bodenbearbeitung im Hinblick auf einen humanen Arbeitsplatz. Berichte über Landwirtschaft Bd. 56 (1978) Nr. 2, S. 559/83. (darin 65 weitere Lit.-Hinweise).
- [38] *Göhlich, H.*: Der mobile Arbeitsplatz — menschengerecht gestaltet. Vortrag im Rahmen des Deutschen Ingenuiertages, Berlin 3.6.1981; Abdruck VDI-Berichte 407 (1981) S. 27/36.
- [39] *Renius, K.Th.*: Betriebsfestigkeitsberechnung und Laborerprobung von Zahnrädern in Ackerschleppergetrieben. Vortrag VDI-Tagung "Zahnradgetriebe 1979" München; Abdruck in VDI-Berichte 332, S. 225/34, Düsseldorf: VDI-Verlag 1979.
- [40] *Söhne, W. u. H. Schwanghart*: Stand und Entwicklung von Prüfmethoden bei Schlepperumsturzschutzvorrichtungen. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 5, S. 178/84.
- [41] *Emundts, H.*: Aus der Arbeit des Designers bei der Entwicklung einer neuen Traktorenbaureihe. Vortrag VDI-Tagung "Landtechnik", Nürnberg 26./27.10.1978.
- [42] *Busse, R.*: Fremdentwicklung — geht denn das? Konstruktion Bd. 32 (1980) Nr. 11, S. 448/50.
- [43] *Biller, H.*: Einsatzzeiten von Ackerschleppern auf Großbetrieben. Landtechnik Bd. 36 (1981) Nr. 1, S. 19/21.
- [44] *Welschhof, G.*: Entwicklungslinien im Schlepperbau. Kriterien für die heutige und zukünftige Entwicklung. Grundl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 1, S. 6/13.
- [45] —: VDI-Richtlinie 2225, Blatt 1: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. (52 Seiten), Düsseldorf: VDI-Verlag 1977.
- [46] *Ehrlenspiel, K.*: Möglichkeiten zum Senken der Produktkosten — Erkenntnisse aus einer Auswertung von Wertanalysen. Konstruktion Bd. 32 (1980) Nr. 5, S. 173/78.
- [47] *Harms, H.-H.*: Energieeinsparung durch Systemwahl in der Mobilhydraulik. VDI-Z Bd. 122(1980) Nr. 22, S. 1006/10.
- [48] *Mertins, K.H.*: Ein Beitrag zur Energieeinsparung beim Schleppereinsatz. Landtechnik Bd. 35 (1980) Nr. 4, S. 162/64.
- [49] *Zeltner, E.*: Energie sparen beim Schleppereinsatz. Die landtechnische Zeitschrift — dlz Bd. 32 (1981) Nr. 2, S. 128/32.
- [50] • KTBL-Taschenbuch für Arbeits- und Betriebswirtschaft. Hiltrup (Westf.): Landwirtschaftsverlag GmbH 1978.