

# Wirtschaftliche Auslastung verschiedener Schlepperbauarten bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen

Von Manfred Eimer und Volker Dreses, Göttingen\*)

DK 631.372:631.172.003.1

Der Zugkraftübertragung durch Ackerschlepper sind bei feuchter Witterung insbesondere auf schweren Böden Grenzen gesetzt. Dies gilt vor allem für die Bodenbearbeitung, welche häufig unter derartigen Bedingungen durchzuführen ist. Für die Auswahl eines nach Motorleistung und Bauart für den jeweiligen Betrieb geeigneten Schleppers werden ausgehend vom derzeitigen Schlepperangebot unterteilt nach Bauarten Zugkraft und Flächenleistung für das Pflügen zusammengestellt sowie die Kosten bei unterschiedlicher jährlicher Nutzung errechnet. Ein Ausblick auf die sich abzeichnende meßtechnische Erfassung von Zugkraft, Schlupf, Kraftstoffverbrauch und Motorauslastung sowie die auf dieser Grundlage mögliche Optimierung des Schleppereinsatzes wird gegeben.

## 1. Einleitung

Die seit 1950 einsetzende Mechanisierung der Feldwirtschaft wurde im wesentlichen durch den Ackerschlepper möglich, der bis heute seine zentrale Stellung als Zug- und Arbeitsmaschine behauptet hat. Er war Voraussetzung für neue Produktionsverfahren und den Einsatz von Maschinen hoher Schlagkraft und Effizienz. Dies führte zu einer verstärkten Nachfrage nach Schleppern mit steigender Motorleistung. Der Wunsch nach termingerechter Arbeitserledigung unter günstigen Witterungsbedingungen bei gleichzeitig noch anhaltender guter Ertragslage der Betriebe bestärkte den Trend, so daß neue Maschinen in der Regel um 12–15 kW stärker waren als die abzulösenden Schlepper.

Veränderte Produktionsbedingungen – unwesentlich höhere Erzeugerpreise bei stetig steigenden Kosten für Löhne, Maschinenneanschaffung und -unterhalt sowie sprunghaft gestiegene Dieselpreis, Bild 1 – führten zu rückläufigen Gewinnen der Landwirtschaft, was eine geringe Investitionsbereitschaft für Ackerschlepper und Landmaschinen zur Folge hatte. Unter den verschärften wirtschaftlichen Voraussetzungen kommt der Bemessung der Leistung und der Auswahl der Bauart eines Ackerschleppers nach produkt- und verfahrensbedingten Anforderungen wieder erhöhte Bedeutung zu, wobei sowohl saisonale Arbeitsspitzen als auch Gesamtauslastung weitere zu berücksichtigende Kriterien sind.

Während die Abgabe von mechanischer, hydraulischer und elektrischer Energie über die Nebenantriebe unter unveränderten konstruktiv vorgegebenen Bedingungen erfolgt, wird die Übertragung von Zugkraft auf den Boden maßgebend von dessen Art und Zustand bestimmt. Witterung, Bodenverdichtung und Pflanzenbewuchs beeinflussen Tragfähigkeit und Scherfestigkeit des Bodens, so daß jahreszeitlich von unterschiedlichen Zugleistungen ausgegangen werden muß. Arbeitsspitzen ergeben sich bei der Ernte unmittelbar nachfolgender Bestellung des Ackers wie beispielsweise bei den Anbaufolgen Getreide/Raps, Kartoffeln/Getreide und

Zuckerrüben/Getreide. Erschwerend kommt hinzu, daß, je später die Arbeitserledigung im Jahr ansteht, das Wetter die Anzahl der zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage zunehmend und je nach Art der auszuführenden Arbeit unterschiedlich stark einschränkt.

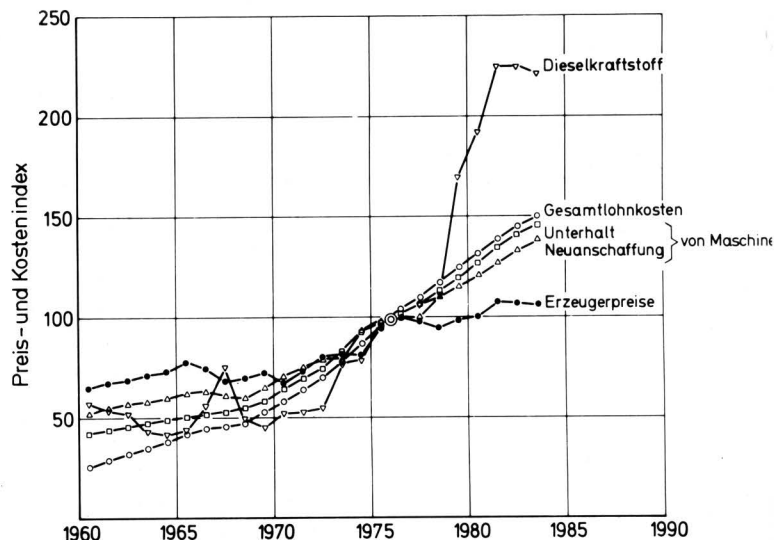


Bild 1. Indizes der Kosten für Dieselpreis, Löhne, Neanschaffung und Unterhalt von Maschinen sowie Erzeugerpreise in der Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland [1]; Preis- und Kostenindex 1976 = 100.

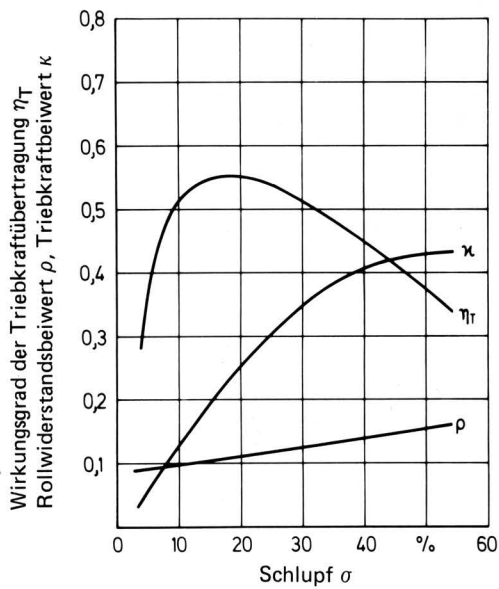
## 2. Ermittlung des Zugvermögens

Die in neuerer Zeit durchgeführten umfangreichen Untersuchungen über Schlepperreifen [2, 3, 4] ermöglichen für einen breiten Einsatzbereich eine Abschätzung des Zugvermögens von Ackerschleppern. Die Zugkraft eines angetriebenen Rades ist ermittelbar als Produkt von Radlast und Triebkraftbeiwert; die eines Schleppers ergibt sich aus den Zugkräften aller Triebräder, vermindert um die Rollwiderstände nicht angetriebener Räder.

Beim Fahren auf dem Felde sind der Triebradbelastung und dem Reifeninnendruck im Hinblick auf die Einhaltung günstiger Triebkraftbeiwerte, bedingt vor allem durch die Bodenadaptation der Reifenlauffläche, Grenzen gesetzt. Die dabei erzielbare Zugleistung wird durch auftretenden Schlupf der Triebräder reduziert. Zwar steigt mit zunehmendem Schlupf anfänglich der Triebkraftbeiwert und damit die entwickelbare Zugkraft, doch wird die größte Zugleistung und auch der beste Wirkungsgrad der Kraftübertragung bereits bei niedrigeren Schlupfwerten – je nach Bodenverhältnissen zwischen 5 und 20 (25) % – erreicht, Bild 2.

Günstige Voraussetzungen für die Zugkraftübertragung bieten trockene und tragfähige Böden; sie erlauben eine Erhöhung der Radlasten bei guten Triebkraftbeiwerten und gleichzeitig niedrigem Triebradenschlupf. Durchweichte und lockere obere Bodenschichten lassen dagegen nur die Abstützung deutlich geringerer Zugkräfte bei erhöhtem Schlupf zu [2].

\*) Prof. Dr. M. Eimer ist Akademischer Oberrat und Dipl.-Ing. agr. V. Dreses, Goslar, war Diplomand am Institut für Agrartechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. F. Wieneke) der Universität Göttingen.



**Bild 2.** Triebkraftbeiwert  $\kappa$ , Rollwiderstandsbeiwert  $\rho$  und Wirkungsgrad der Triebkraftübertragung  $\eta_T$  in Abhängigkeit vom Schlupf  $\sigma$  eines AS-Triebradreifens 16,9R30 [2]. Achsbelastung 16 kN, Reifenluftdruck 1,1 bar, Rübenacker, lehmiger Ton, Bodenfeuchte 20,5–24 %.

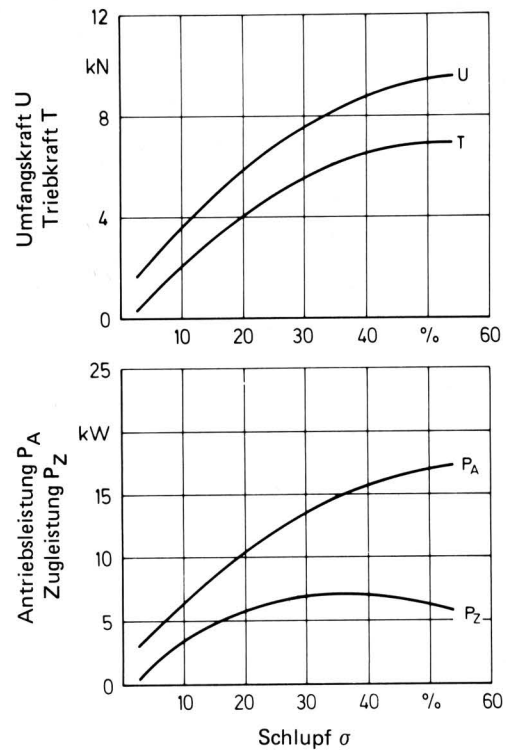
Unter erschwerten Bedingungen, wie sie häufig bei der Bodenbearbeitung von Rübenäckern anzutreffen sind, erreicht beispielsweise der AS-Triebadreifen 16,9 R30 seinen besten Wirkungsgrad der Kraftübertragung von 54 % erst bei einem Schlupf von 20 % (Bild 2). Wegen der in dieser Arbeitszeitspanne reduzierten Anzahl verfügbarer Feldarbeitstage und des hohen Wetterrisikos wird meist von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, eine größere Zugkraft bei größerem Triebadschlupf zu erreichen. Dadurch ist die Zugleistung aber nur in begrenztem Umfang zu steigern, bei einem sehr viel stärkeren Ansteigen der Verlustleistung (Differenz  $P_A - P_Z$  in Bild 3). Andererseits besteht derzeit die Forderung, die Zugkraft mit geringsten Verlusten auf den Boden zu übertragen, insbesondere im Hinblick auf mögliche schädliche Bodenverdichtungen, solange diese noch nicht nach Art und Umfang bezüglich ihrer Auswirkungen auf den Pflanzenbau zahlenmäßig abschätzbar sind.

Eine Zusammenstellung vorliegender Versuchsergebnisse zeigt, daß man bei Schlepperreifen unterschiedlicher Größe aber gleichartigen Aufbaus und ähnlicher Abmessungen sowie unterstellter größenabhängiger Achsbelastung von vergleichbaren Kennlinien ausgehen kann [5]. Unter diesen Voraussetzungen sind für unterschiedliche Triebkraftbeiwerte und bei bestem Wirkungsgrad der Kraftübertragung das mittlere Zugvermögen und die dabei möglichen Fahrgeschwindigkeiten der derzeit in der Bundesrepublik angebotenen Ackerschlepper kalkulierbar, wobei von nachstehenden Annahmen ausgegangen wurde:

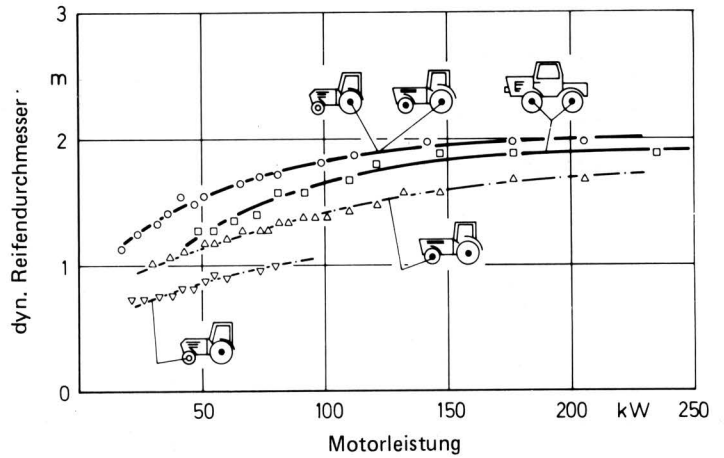
- Getriebewirkungsgrad
 

Standardschlepper (Hinterachsantrieb)	90,5 %
Standardschlepper mit zusätzl. Frontantrieb	87 %
Allradschlepper (4 gleiche Triebräder)	83 %
- Motorauslastung 80 %
- Ausstattung mit AS-Radial-(Gürtel-) Reifen
- Ausrüstung mit Triebadreifen, deren Durchmesser und Tragfähigkeit entsprechend der Motorleistung, Bild 4, zunehmen
- feldgemäße Triebadbelastung je nach Reifengröße bis zum zulässigen Gesamtgewicht des Schleppers, Bild 5.

Die Gegenüberstellung in Bild 6 läßt die Unterschiede bezüglich der Zugkräfte und der dabei möglichen Fahrgeschwindigkeiten zwischen den drei grundsätzlichen Schlepperbauarten deutlich erkennen. Beim Standardschlepper ist wegen nur einer angetriebenen Achse trotz Einsatz der größten verfügbaren Triebadreifen



**Bild 3.** Umfangskraft  $U$ , Triebkraft  $T$ , Antriebsleistung  $P_A$  und Zugleistung  $P_Z$  in Abhängigkeit vom Schlupf  $\sigma$  eines AS-Triebadreifens 16,9R30; Achsbelastung 16 kN, Reifenluftdruck 1,1 bar, Fahrgeschwindigkeit 6,5 km/h, Rübenacker, lehmiger Ton, Bodenfeuchte 20,5–24 %.



**Bild 4.** Mittlere dynamische Reifendurchmesser von Ackerschleppern verschiedener Bauarten in Abhängigkeit von der Motorleistung; ● angetriebene Achse, Stand 1984/85 nach Werksangaben.

die Umsetzung von Motorleistung in Zugkraft auf 90 (120) kW begrenzt. Die Möglichkeit einer Zugkrafterhöhung durch eine zweite angetriebene Achse unter Beibehaltung der Grundkonzeption ist im letzten Jahrzehnt in zunehmendem Maße von mehreren Herstellern genutzt worden. Vorderachskonstruktionen mit Freiräumen für Triebadreifen größeren Durchmessers ließen den Unterschied gegenüber Allradschleppern mit gleichgroßen Triebadern geringer werden. Sie erlaubten gleichzeitig auch die Umsetzung höherer Motorleistung in Zugkraft. Erst bei einer Motorleistung über 100 kW werden die Unterschiede im Zugvermögen zwischen Allradschleppern und Standardschleppern mit Frontantrieb zunehmend größer.

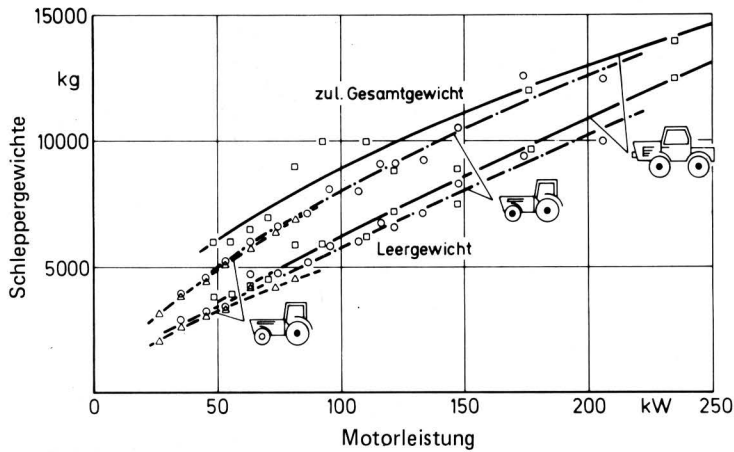


Bild 5. Mittleres Leergewicht und zulässiges Gesamtgewicht von Ackerschleppern verschiedener Bauarten in Abhängigkeit von der Motorleistung; ● angetriebene Achse, Stand 1984/85 nach Werksangaben.

Auf die Verhältnisse, wie sie bei der Bearbeitung schwerer, zukerrübenfähiger Böden häufig anzutreffen sind, soll hier exemplarisch näher eingegangen werden. Dabei wurde vorausgesetzt:

- Pflüge mit Universalpflugkörpern
- Zugwiderstand, Bild 7, berechnet aus dem spezifischen Bodenwiderstand und der dynamischen Zugwiderstandskomponente nach Gorjatschkin [6]
- Einhaltung optimaler Bedingungen für die Zugkraftübertragung
  - Fahren mit den Rädern einer Schlepperseite in der Furche bei Einsatz der Differentialsperre oder -sperren [7]
  - Einhalten des Bereichs optimaler Triebkraftübertragung
- Begrenzung der Fahrgeschwindigkeit im Hinblick auf befriedigende Arbeitsqualität auf 2 (2,5) m/s [8]
- Nebenzeiten von 25 % bezogen auf die Pflugzeit.

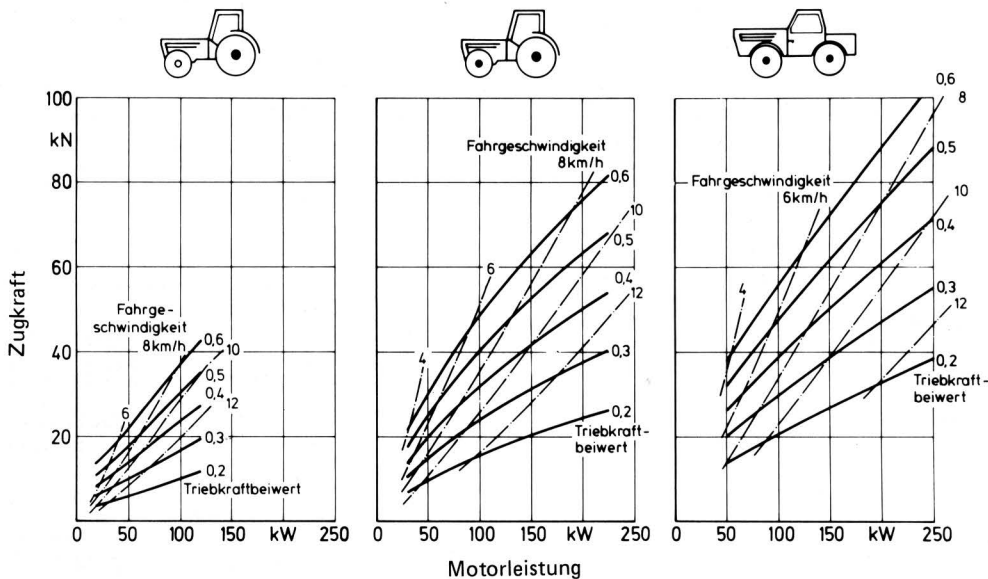


Bild 6. Zugkraft von Ackerschleppern unterschiedlicher Bauarten in Abhängigkeit von der Motorleistung für verschiedene Triebkraftbeiwerte und Fahrgeschwindigkeiten; ● angetriebene Achse.

### 3. Flächenleistung beim Pflügen

Die Grundbodenbearbeitung erfordert in der Regel hohe Zugleistungen. Auch wenn hier teilweise ein Wandel bevorsteht, so wird auf das Pflügen mit dem Streichblechpflug vorerst nicht zu verzichten sein, zumal unter schlechten Bedingungen bisher nur dieses Gerät gegenüber anderen Alternativen eine einwandfreie Arbeitsqualität gewährleistet. Da den Erntearbeiten unmittelbar die Bodenbearbeitung und Bestellung nachfolgen, müssen Betriebe, die nicht selbstfahrende Erntemaschinen einsetzen und keine Lohnarbeiten vergeben, über eine ausreichende Schlepperkapazität verfügen. Deshalb kommt der Auswahl des größten Ackerschleppers hinsichtlich Bauart und Motorleistung für einen Betrieb vorrangige Bedeutung zu, um während der Hauptarbeitsspitzen die schweren Zugarbeiten – insbesondere das Pflügen – auch bei ungünstigeren Bodenverhältnissen durchführen zu können.

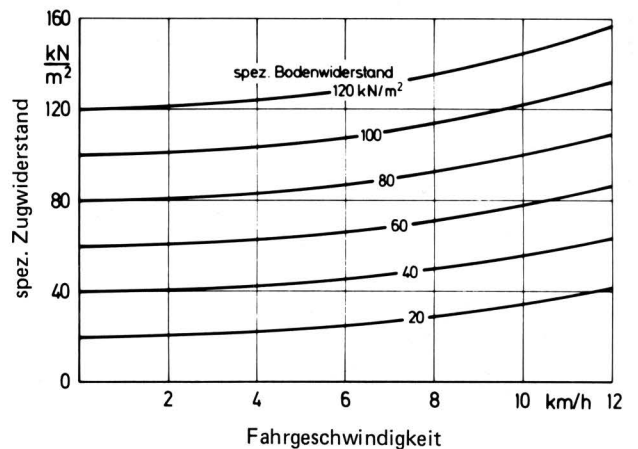


Bild 7. Spezifischer Zugwiderstand beim Pflügen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit für verschiedene spezifische Bodenwiderstände nach Söhne [6], Pflugkörper: Universalform.

Gute Witterungsbedingungen gewährleisten beste Voraussetzungen für die Zugkraftübertragung und damit auch die Möglichkeit, höchste Flächenleistungen zu erzielen, Bild 8. Bei kleiner Motorleistung bestehen nur geringe Unterschiede im Zeitaufwand zwischen den Schlepperbauarten. Unter diesen Bedingungen wird beim Standardschlepper mit einer Motorleistung von 55 kW und bei demjenigen mit Frontantrieb bei einer Motorleistung von 145 kW die höchste zulässige Arbeitsgeschwindigkeit erreicht und darüber hinaus die Motorleistung nicht mehr ausgenutzt. Die dadurch zwischen den Bauarten auftretenden Flächenleistungsdifferenzen wachsen mit der Motorleistung stetig, liegen jedoch noch in einer schmalen Bandbreite.

Im Spätherbst bei meist ungünstiger Witterung führen schlechte Bedingungen für die Triebkraftübertragung zu starken Einbußen bei der Flächenleistung und lassen die Unterschiede zwischen den Bauarten deutlicher hervortreten, Bild 9 und 10. Die Grenzen, bei denen die Ackerschlepper durch Erhöhung der Geschwindigkeit die Flächenleistung nicht mehr steigern können, sind zu niedrigeren Motorleistungen verschoben (Standardschlepper auf 38 kW (Bild 9) und 30 kW (Bild 10), Frontantrieb auf 95 und 65 kW, Allradschlepper auf 124 und 110 kW) wie auch ein größerer Abfall in der Pflugeleistung mit steigender Motorleistung zu verzeichnen ist. Erwartungsgemäß fiel er beim Standardschlepper am größten aus. Es mag aber jetzt schon erkennbar sein, daß Schlepper dieser Bauart unter solchen erschwerten Bedingungen wohl kaum zum Einsatz kommen dürften, wenn nicht besondere Kriterien dafür sprechen. Zwischen den beiden anderen Bauarten ist in den niedrigen Motorleistungsklassen der Unterschied im Zeitaufwand für das Pflügen zunächst unerheblich; er steigt erst bei höheren Motorleistungen an. Nach Erreichen der Grenzgeschwindigkeit für das Pflügen werden die Leistungsdifferenzen deutlicher.

Auf Äckern mit kleinerem spezifischem Bodenwiderstand kann bei gleichen Triebkraftübertragungsbedingungen die gesamte Leistung stärkerer Motoren in zunehmendem Maße in Zugleistung umgesetzt werden, der Zeitaufwand für das Pflügen nimmt ab und die bauartspezifischen Unterschiede werden geringer (Bild 11 gegenüber Bild 8). Letztere sind bei Bodenwiderständen unter  $30 \text{ kN/m}^2$  vernachlässigbar.

Bei der Berechnung der Zugleistung wurde von Verhältnissen in der Ebene ausgegangen. Der Einfluß von Hangneigungen und ebenso über die Annahme hinausgehende unproduktive Zeiten sind getrennt zu berücksichtigen.

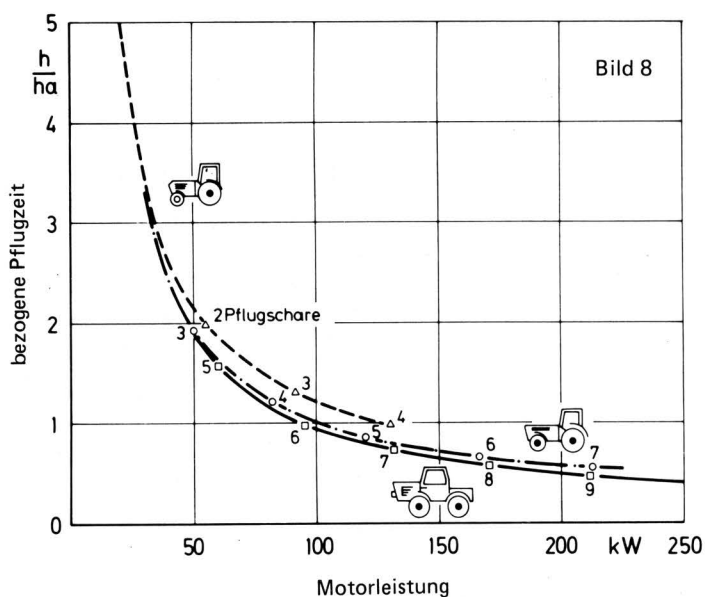


Bild 8

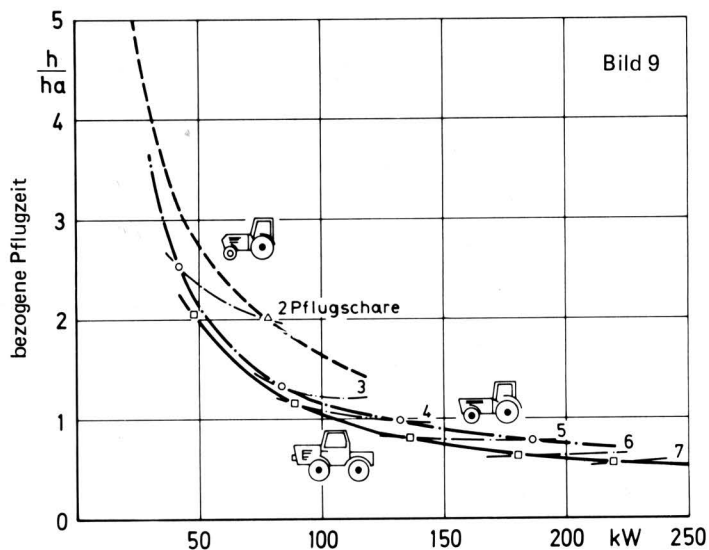


Bild 9

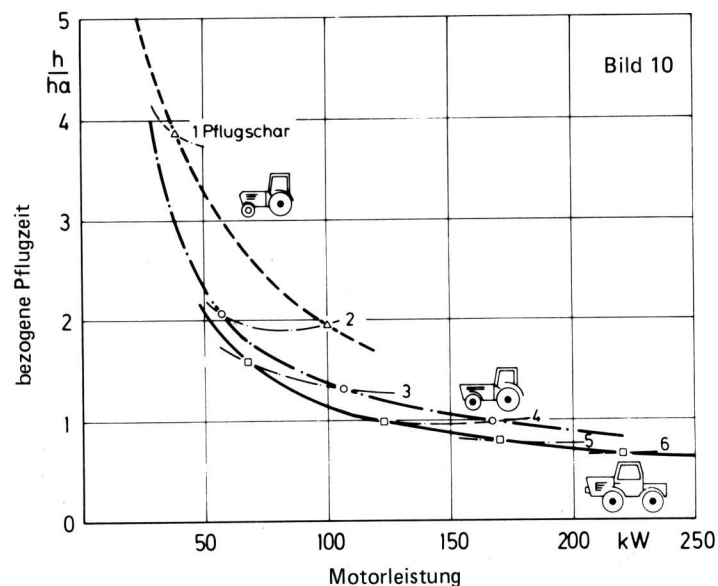


Bild 10

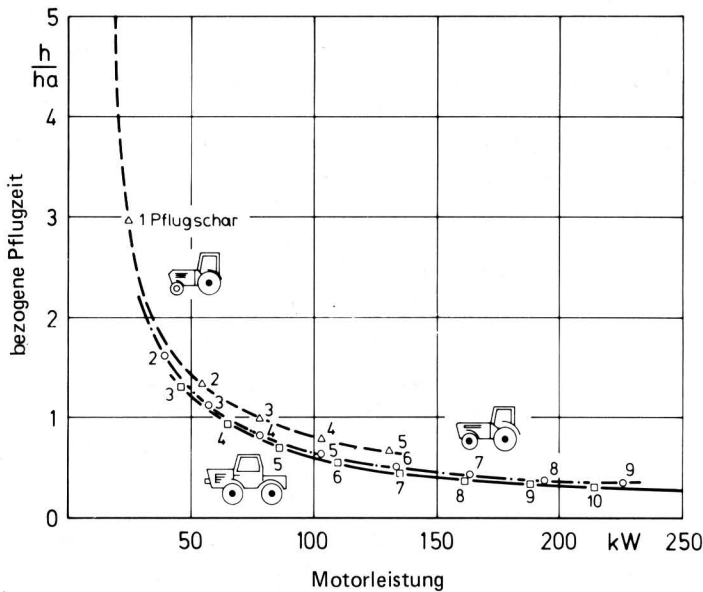
Bild 8 bis 10. Bezogene Pflugzeit von Ackerschleppern unterschiedlicher Bauarten in Abhängigkeit von der Motorleistung mit Punkten für die Zahl der eingesetzten Pflugschare; spez. Bodenwiderstand  $80 \text{ kN/m}^2$ , Pflugscharbreite  $0,35 \text{ m}$ , Pflugtiefe  $0,25 \text{ m}$ .

- Bild 8: trockener Lehmboden,  $\kappa = 0,45$
- Bild 9: feuchter Lehmboden,  $\kappa = 0,35$
- Bild 10: nasser Lehmboden,  $\kappa = 0,30$

#### 4. Auslegung der Schlepperleistung nach zu bewältigenden Arbeitsspitzen

Die Auswahl eines Schleppers sollte vorzugsweise unter dem Gesichtspunkt der während Arbeitsspitzen anfallenden Feldarbeiten – insbesondere schwerer Zugarbeiten – bei Einhaltung der unter weniger günstigen Witterungsbedingungen zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage erfolgen, wenn nicht aus verfahrensbedingten Gründen eine höhere Motorleistung nötig ist.

Beim angeführten Beispiel kann ab Beginn der Zuckerrüben-Kampagne von Mitte September bis zum Abschluß der Weizenbestellung Ende November im norddeutschen Flachland mit etwa 50 Feldarbeitstagen für Ernte, Bodenbearbeitung und Bestellung gerechnet werden [9]. Während dieser Zeitspanne sind mit dem leistungsstärksten Ackerschlepper eines Betriebes in der Regel die



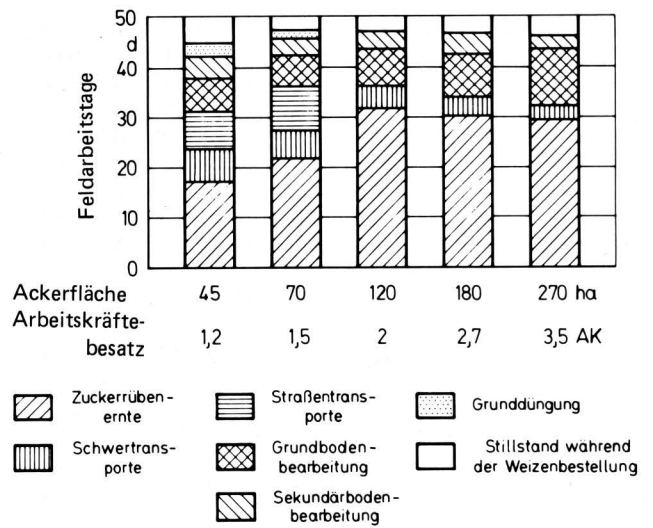
**Bild 11.** Bezogene Pflugzeit von Ackerschleppern unterschiedlicher Bauarten in Abhängigkeit von der Motorleistung mit Punkten für die Zahl der eingesetzten Pflugschare; trockener, lehmiger Sand, spez. Bodenwiderstand  $50 \text{ kN/m}^2$ , Triebkraftbeiwert  $\kappa = 0,45$ , Pflugscharbreite  $0,35 \text{ m}$ , Pflugtiefe  $0,25 \text{ m}$ .

Ernte der Zuckerrüben, Transporte unter erschwerten Bedingungen, die Grund- und meist auch ein größerer Anteil der Sekundärbodenbearbeitung durchzuführen. Bei einem Zuckerrübenanteil von einem Drittel der Ackerfläche und dem Einsatz schlepperbezogener Erntemaschinen ist von den in Bild 12 veranschlagten Zeiten für anstehende Feldarbeiten auszugehen. In kleineren Betrieben wird darüber hinaus der stärkste Schlepper zunehmend für den Abtransport des Ernteguts – Entfernung zur Zuckerfabrik  $8 \text{ km}$  – für Ladearbeiten und Grunddüngung eingesetzt. Stillstandszeiten ergeben sich während der Weizenbestellung, die durch einen anderen Schlepper mit geringerer Leistung erfolgt.

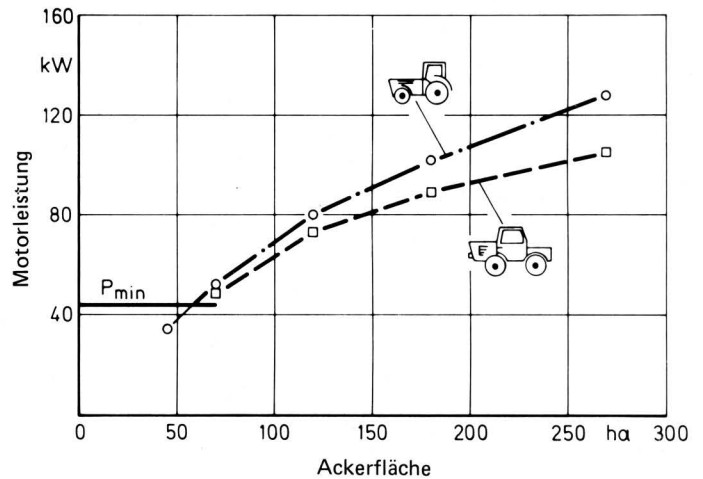
Ausschlaggebend für die Ermittlung der erforderlichen Motorleistung der verschiedenen Schlepperbauarten sind die zur Ausführung der schweren Zugarbeiten – insbesondere für das Pflügen – verbleibenden Arbeitszeiten. Auf der Grundlage der bezogenen Pflugzeiten ist unter den zu erwartenden herbstlich feuchten Bodenverhältnissen (Triebkraftbeiwert  $\kappa = 0,35$ , Bild 9) die erforderliche Mindestleistung des leistungsstärksten Ackerschleppers je nach Bauart und Betriebsgröße errechenbar, Bild 13. Der Standardschlepper blieb in der Darstellung unberücksichtigt, da gegenüber den anderen Bauarten Einheiten wesentlich höherer Motorleistung nötig sind und dadurch kaum tragbare Kosten entstehen würden.

Die Motorleistung des ersten Schleppers eines Betriebes mit einer Ackerfläche von  $45 \text{ ha}$  wird durch die notwendige Leistung für Arbeiten mit einem Köpfrdebunker bestimmt. Für die zwei nächstgrößeren Betriebe ( $70$  und  $120 \text{ ha}$ ) ergeben sich bei den beiden Schlepperbauarten keine maßgeblichen Leistungsunterschiede. Erst bei Betrieben ab  $180 \text{ ha}$  Ackerfläche ist gegenüber einem Standardschlepper mit Frontantrieb die erforderliche Leistung des Allradschleppers mit gleichgroßen Triebädern deutlich niedriger, so daß dieser die kostengünstigere Lösung sein kann.

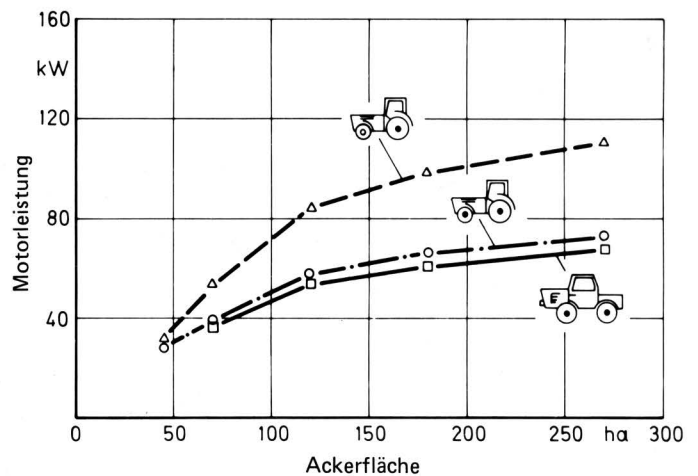
Auch die folgenden, leistungsschwächeren Ackerschlepper eines Betriebes können nach dieser Methode bezüglich ihrer Zugkraft ausgelegt werden, Bild 14. Doch häufig sind hier verfahrensbedingte oder betriebsorganisatorische Gesichtspunkte bei der Auswahl mitbestimmend oder sogar entscheidend.



**Bild 12.** Einsatz des leistungsstärksten Ackerschleppers von Zuckerrübenbaubetrieben verschiedener Größe während der Zeitspanne Rübenenernte bis Weizenbestellung.



**Bild 13.** Erforderliche Motorleistung des leistungsstärksten Ackerschleppers in Abhängigkeit von der Ackerfläche der Zuckerrübenbaubetriebe;  $P_{\min}$  verfahrensbedingte Mindestleistung.



**Bild 14.** Erforderliche Motorleistung des zweitstärksten Ackerschleppers in Abhängigkeit von der Ackerfläche der Zuckerrübenbaubetriebe.

## 5. Kostenermittlung des Ackerschleppereinsatzes

Anhand der jährlichen Auslastung eines Ackerschleppers lassen sich die mittleren Betriebskosten errechnen. Sie wurden nach dem derzeit gebräuchlichen Ansatz zur Ermittlung von Maschinenkosten [9] auf der Grundlage aktueller Schlepperanschaffungspreise sowie der Kosten für Kapital (Zinsen 8 %), Versicherungen (5 DM/kW a), Reparaturen (10 % des Anschaffungspreises in der Gesamtnutzungsdauer von 12000 h), Löhne (15 DM/h) und Betriebsmittel (Dieselkraftstoffpreis 0,82 DM/l, Motorauslastung 40–80 %, Ölpreis 5 DM/l, Ölverbrauch von 4 % des Kraftstoffverbrauchs) durchgeführt.

Die mittleren Anschaffungspreise einschließlich Mehrwertsteuer für Ackerschlepper mit Fahrerkabine wurden aus Bild 15 entnommen. Seit mehr als 10 Jahren [11] ist der preisgünstigste Ackerschlepper ein Standardschlepper mit einer Motorleistung von etwa 45 kW. Während sich in diesen Jahren der Preisabstand zwischen dem Standardschlepper und dem Standardschlepper mit Frontantrieb kaum verändert hat, ist der Preisabstand zum Allradantrieb im höheren Leistungsbereich über 120 kW merklich geringer geworden.

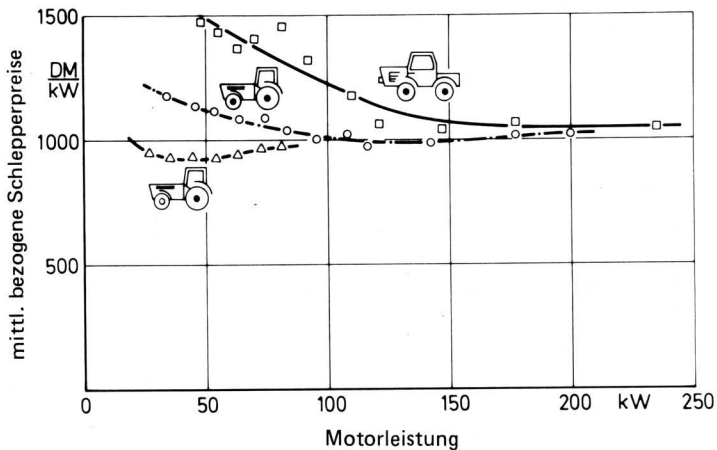


Bild 15. Mittlere auf die Leistung bezogene Preise für Ackerschlepper unterschiedlicher Bauarten in Abhängigkeit von der Motorleistung; Bundesrepublik Deutschland 1984 [10].

Durch die Preisannäherung hat sich bei den auf die Fläche bezogenen Ackerschlepperkosten für die unterschiedlichen Bauarten eine Verschiebung der Verhältnisse ergeben. Beim Einsatz auf schwerem Boden liegen die Kosten für den Standardschlepper infolge niedriger Flächenleistung über den gesamten dargestellten Bereich jährlicher Nutzungsdauer höher als diejenigen des Schleppers mit Frontantrieb, Bild 16. Nur bei niedrigen Motorleistungen gleichen sich die Kostenkurven an. Die Kosten des Standardschleppers weisen bei geringen Auslastungen ein Minimum um 40 kW auf, bei wachsenden jährlichen Einsatzzeiten verlagert sich erst das Minimum zu größeren Leistungen und schließlich ergibt sich eine stetig fallende Kurve für die bezogenen Schlepperkosten.

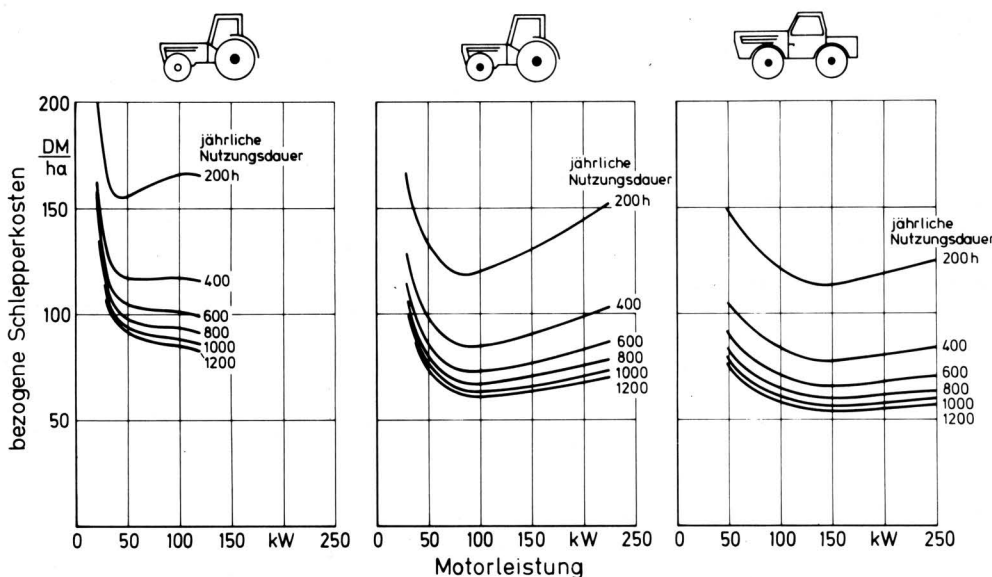
Der Kostenverlauf der beiden anderen Schlepperbauarten weist über den gesamten Bereich der jährlichen Nutzungsdauer ausgeprägte Minima auf (Standardschlepper mit Frontantrieb 70 bis 100 kW, Allradschlepper 130 bis 160 kW), der erneute Kostenanstieg verläuft bei zunehmender jährlicher Nutzungsdauer flacher. Infolge der engeren Preisdifferenz dieser Bauarten ergibt sich Kostengleichheit bereits im Leistungsbereich von 90 bis 110 kW.

Günstigere Antriebsvoraussetzungen für Ackerschlepper – niedriger spezifischer Bodenwiderstand und geringe Bodenfeuchte – tragen in starkem Maße zur Reduzierung der Schleppereinsatzkosten bei, Bild 17. Infolge der besseren Zugkraftumsetzung und der gleichzeitig möglichen größeren Flächenleistungen beim Pflügen kann hier gegenüber den erschwerten Arbeitsbedingungen im Mittel von einer Kostenhalbierung ausgegangen werden. Auch liegen die Kostenminima wegen der besseren Zugkraftumsetzung bei höheren Motorleistungen und erstrecken sich über einen breiteren Bereich. Daher können bevorzugt Perioden mit guten Witterungsbedingungen zur Erledigung anstehender Feldarbeiten genutzt werden, um Kosten zu senken.

Eine Entscheidung über den für einen Betrieb kostengünstigsten Ackerschlepper kann anhand dieser Grundlagen erfolgen. Unter feuchten Bodenverhältnissen im Spätherbst war für einen Betrieb mit einer Ackerfläche von 120 ha ein Standardschlepper mit Frontantrieb von mindestens 80 kW oder ein Allradschlepper von 73 kW Motorleistung erforderlich (Bild 13), die jeweils etwa 620 Stunden im Jahr zum Einsatz kommen. Bei reduzierter Nutzungsdauer von 600 h bietet sich hier die Beschaffung eines ungefähr kostengleichen Schleppers mit Frontantrieb von 90 kW an (Bild 16). Mit diesem leistungsstärkeren Schlepper sind die zu erledigenden Feldarbeiten während der Arbeitsspitze im Herbst um etwa 1,5 Tage früher abzuschließen; denn nicht alle diese Arbeiten sind aufgrund einer höheren Motorleistung gleichermaßen in kürzerer Zeit durchführbar.

Allradschlepper vergleichbarer Pflugeistung sind teurer. Sollte aber ein erhöhtes Wetterisiko mit abgedeckt werden, wäre hierfür ein kostengleicher Allradschlepper zu bevorzugen. Ein leistungsstärkerer Ackerschlepper erfordert allerdings meist höhere Investitionen für größere Geräte.

Bild 16. Auf die Fläche bezogene Kosten für das Pflügen mit Ackerschleppern verschiedener Bauarten bei unterschiedlicher jährlicher Nutzungsdauer in Abhängigkeit von der Motorleistung; feuchter Lehmboden, Triebkraftbeiwert  $\kappa = 0,35$ , • angetriebene Achse.



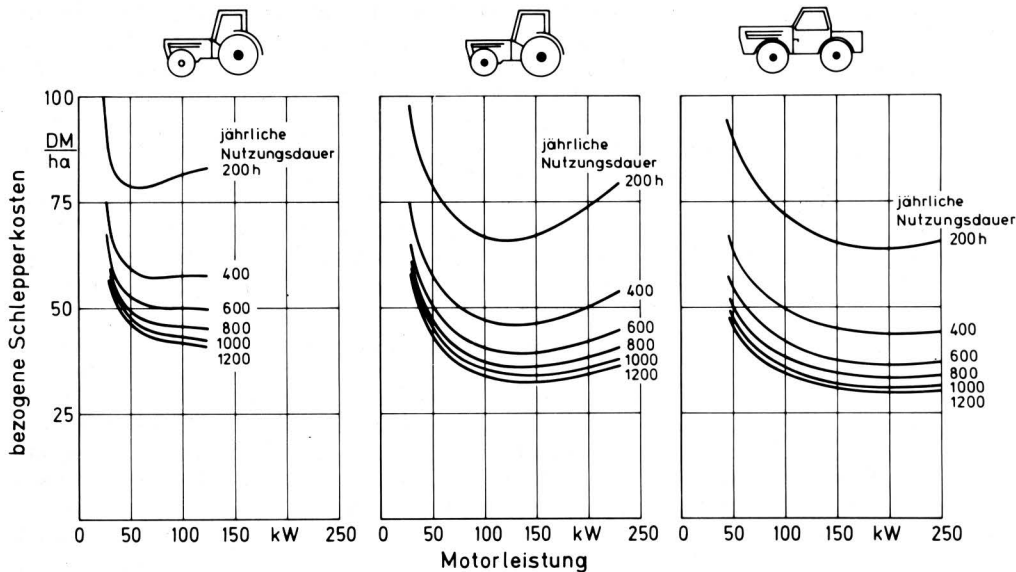


Bild 17. Auf die Fläche bezogene Kosten für das Pflügen mit Ackerschleppern verschiedener Bauarten bei unterschiedlicher jährlicher Nutzungsdauer in Abhängigkeit von der Motorleistung; trockener lehmiger Sand, Triebkraftbeiwert  $\kappa = 0,45$ , • angetriebene Achse.

## 6. Abschätzung einer Eingrenzung des Wetterrisikos

Die Zuckerrübenerte im norddeutschen Flachland – insbesondere im Bereich des Vorlandes der Mittelgebirge – wird in manchen Jahren durch schlechtes Wetter stark verzögert. Geht man für 120 ha Ackerfläche davon aus, daß in jedem vierten Jahr ein Drittel der Weizenbaufläche verspätet und zusätzlich alle acht Jahre ein gleichgroßer Flächenanteil mit Sommerweizen bestellt werden muß, so ist im ersten Fall mit einem Minderertrag von etwa 5 %, im andern von 15 % zu rechnen. Bei einem mittleren Ertrag von 7,5 t/ha ergibt das im Mittel der Jahre einen Ausfall von 3,13 t/Jahr, was bei einem Weizenpreis von 400 DM/t zu einer jährlichen Einkommenseinbuße von 1 250 DM führt.

Investiert man den errechneten Betrag für den Unterhalt eines leistungsstärkeren Schleppers, so würde dies ausreichen, einen Schlepper mit einer um 7 kW höheren Motorleistung bei reduzierter mittlerer jährlicher Nutzungsdauer zu betreiben. Ein solches Vorgehen trägt aber unter schlechteren Einsatzverhältnissen (Triebkraftbeiwert  $\kappa = 0,3$ , Bild 10) nur unwesentlich zum Abbau der Arbeitsspitze im Herbst bei (bis zu einem Arbeitstag). Bisherige Empfehlungen für die Beschaffung von Ackerschleppern nach Bauart und Motorleistung gehen bezüglich des Zugvermögens von deutlich höheren Werten aus [12].

Eine andere Möglichkeit der rationelleren Schlepperauslastung stellt die Meßwerterfassung für die Fahrerinformation und Betriebsüberwachung in Aussicht. Die Nutzung des Zugvermögens von Ackerschleppern erfordert das Einhalten eines schmalen Bereichs günstiger Wirkungsgrade der Triebkraftübertragung (Bild 2). Die dafür notwendige Abstimmung von Fahrgeschwindigkeit und Zugkraft auf die vorliegenden Bodenverhältnisse kann durch einen Fahrer während mehrstündiger Arbeitszeit nur unvollkommen erfolgen, weil die Informationen durch sein Wahrnehmungsvermögen unzulänglich erfassbar sind und die zu beurteilenden Größen komplexe Abhängigkeiten aufweisen.

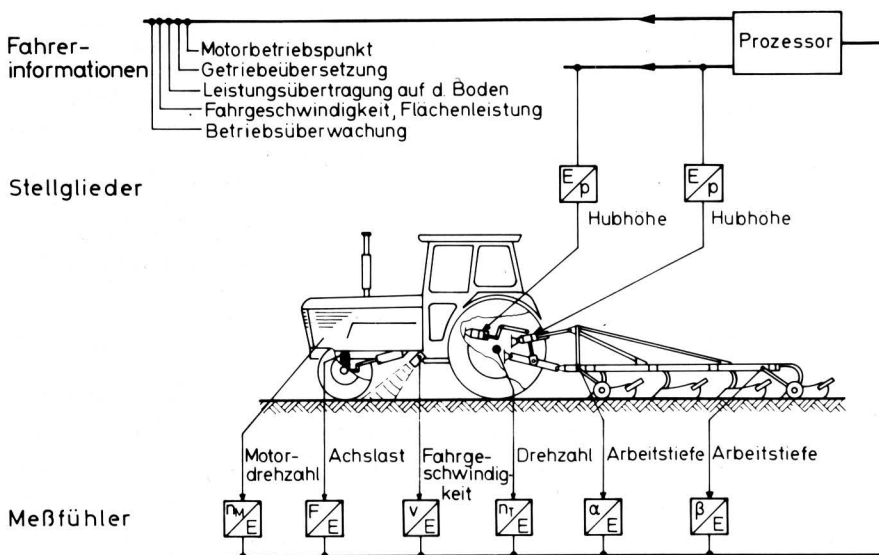


Bild 18. Schema einer Einrichtung für die Erfassung der Acker-schlepperbetriebsdaten zur Fahrerinformation bei der Bodenbearbeitung.

Bereits durch den Einsatz von vier Meß-fühlern sind nahezu sämtliche zur Über-wachung und Optimierung des Fahrbe-triebs notwendigen Daten zu erfassen. Diese erforderlichen Größen sind Mo-tordrehzahl, Zugkraft, Triebdraddreh-zahl und Fahrgeschwindigkeit, Bild 18. Die Messung der Drehzahlen ist mit herkömmlichen Einrichtungen leicht durchführbar. Die Zugkraft auf Acker-schleppern kann anhand der Entlastung der Vorderachse durch die dynamische Achslastverlagerung ermittelt werden [13]. Diese Methode weist gegenüber einer Kraftmessung an der Drei-Punkt-Hydraulik zwei Vorteile auf; sie ist für alle Zugarbeiten einsetzbar, und gleich-zeitig läßt sich mit ihr die Mindestbelastung zur Aufrechterhaltung der Lenk-fähigkeit überwachen. Der Erfassung der Fahrgeschwindigkeit durch ein be-rührungloses Meßverfahren kommt die Schlüsselstellung zu. Es besteht die Aussicht, dies in absehbarer Zeit mit Hilfe eines weiterentwickelten Dopp-ler-Radar-Geschwindigkeitsaufnehmers zu realisieren [14, 15].

Auf der Grundlage der vier Meßwerte sind durch einen Bordrechner die zur Führung des Fahrbetriebs durch den Fahrer notwendigen Informationen, wie Zugkraft, Schlupf, Getriebeübersetzung, Antriebsleistung, Betriebspunkt des Motors und Flächenleistung, berechenbar. Den Betriebspunkt des Motors als Fahrerinformation zu nutzen war schon Gegenstand früherer Versuche [16]. Neue vorgestellte Lösungen entsprechen bezüglich der Datenaufbereitung und Informationspräsentation den derzeit bestehenden Anforderungen [17, 18]. Betriebsmodelle für eine Einsatzoptimierung im Hinblick auf minimalen Energieaufwand bis zu maximaler Flächenleistung, die anhand mathematischer Zusammenhänge die Verhältnisse des Feldeinsatzes nachvollziehen, sind bereits entwickelt [19]. Darüber hinaus ist von besonderem Interesse, aus den Meßwerten auch den Wirkungsgrad der Triebkraftübertragung auf den Boden zu ermitteln. Mit Hilfe eines integrierten Datenspeichers sind mehrere Betriebspunkte der Zugleistungsumsetzung erfaßbar, aus denen der Bereich günstiger Wirkungsgrade für die Zugkraft-Fahrgeschwindigkeits-Einstellung bei bekanntem Verlauf der Kennlinien bestimmbar ist. Dabei kann sowohl Kraftstoff eingespart als auch unnötige Verdichtung des Bodens vermieden werden.

Vor dem Hintergrund der Absicherung gegenüber Wetterrisiken dürften Investitionen für elektronische Einrichtungen eine interessante Alternative im Vergleich zu einer Rückversicherung durch höhere Schlepperleistung darstellen. In welchem Umfang solche Einrichtungen auch zur Kostensenkung beitragen können, muß jedoch noch durch praktische Erprobungen belegt werden.

## 7. Zusammenfassung

Die angespannte Ertragslage der Landwirtschaft verlangt ein kostenorientiertes Vorgehen. Im Bereich der Feldwirtschaft kommt dabei der Auswahl der Bauart und Auslegung der Motorleistung von Ackerschleppern als Zug- und Antriebsmaschine erhöhte Bedeutung zu.

Die vorgestellte Studie über das Leistungsvermögen von Schleppern unterschiedlicher Bauarten basiert auf vorliegenden Kennlinien für Ackerschlepper-Triebadreifen. Von den derzeit in der Bundesrepublik erhältlichen Schleppern wurde das Zugvermögen für verschiedene Bodenverhältnisse bei Einhaltung günstiger Wirkungsgrade der Triebkraftübertragung berechnet.

Ertarbeiten, nachfolgende Bodenbearbeitung und Bestellung stellen bei mehreren üblichen Anbaufolgen eine Arbeitsspitze dar, die, je später sie im Jahr auftritt, bei zunehmend schlechteren Bodenverhältnissen und reduzierter Anzahl möglicher Feldarbeitstage zu bewältigen ist. In dieser Zeitspanne zu erledigende schwere Zugarbeiten sind Grundlage für die Auswahl der Bauart und die Ermittlung der notwendigen Motorleistung. Schlepperpreise, Betriebs- und Lohnkosten sowie die jährliche Nutzungsdauer bestimmen letztlich den Aufwand des Schleppereinsatzes und geben Aufschluß über die kostengünstigste Lösung.

Eine Absicherung gegen Wetterrisiken erfolgt derzeit meist durch Investitionen für Schlepper größerer Leistung. Neuere Untersuchungen über eine meßtechnische Erfassung von Schlepperbetriebsdaten zur Fahrerinformation eröffnen die Möglichkeit einer effektiveren Nutzung verfügbarer Schlepperleistung. Das könnte zur Anschaffung eines Schleppers mit kleinerer Motorleistung führen. Damit ließe sich Kraftstoff einsparen und unnötige Bodenverdichtungen wären zu vermeiden.

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] • Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): Statistische Jahrbücher über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag und Hamburg/Berlin: Paul Parey, versch. Jahrgänge.
- [ 2 ] *Steinkampf, H.*: Ermittlung von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 27 (1975).
- [ 3 ] *Sonnen, F.J.*: Über den Einfluß von Form und Länge der Aufstandsfläche auf die Zugfähigkeit und den Rollwiderstand von AS-Reifen. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 3 (1970).
- [ 4 ] *Söhne, W. u. I. Bolling*: Der Einfluß der Lastverteilung auf die Triebad-Schlupf-Kurve von Ackerschleppern. Grndl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 3, S. 81/85.
- [ 5 ] *Stroppel, A.*: Eine Methode zur Beurteilung von Bodenbearbeitungsverfahren im Hinblick auf die Schlagkraft. Grndl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 4, S. 108/14.
- [ 6 ] *Söhne, W.*: Pflugkörperformen für höhere Geschwindigkeiten. Grndl. Landtechnik Heft 12 (1960) S. 51/62.
- [ 7 ] *Steinkampf, H.*: Problematik der Leistungsumwandlung über die Triebäder bei leistungsstarken Schleppern. Grndl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 5, S. 168/72.
- [ 8 ] *Rosegger, S. u. F.P. Sörgel*: Ermittlung von technischen und arbeitswirtschaftlichen Planungsdaten für die pflanzliche Produktion. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 32 (1976).
- [ 9 ] • KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft, 11. Aufl. Münster-Hiltrup: KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag 1982.
- [ 10 ] Traktoren, Daten — Preise. Die landtechnische Zeitschrift — dlz Bd. 35 (1984) H. 10, S. 1485/1549.
- [ 11 ] *Eimer, M.*: Grenzen leistungsstarker Ackerschlepper. Habilitationskolloquium, Göttingen 1973, unveröffentl.
- [ 12 ] *Vogt, C.*: Wie stark soll der neue Schlepper sein? In: Welcher Schlepper für meinen Betrieb. top agrar extra 1978.
- [ 13 ] *Hesse, H. u. R. Möller*: Möglichkeiten der Triebadachslasterhöhung bei Ackerschleppern. Grndl. Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 4, S. 119/22.
- [ 14 ] *Fichtel, H. u. S.H. Ismail*: Untersuchungen zur Messung der Arbeitsgeschwindigkeit von Landmaschinen mit Hilfe eines Radargeräts. Grndl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 4, S. 136/40.
- [ 15 ] *Mertins, K.-H. u. H. Göhlich*: Fahrgeschwindigkeitsmessung an landwirtschaftlichen Fahrzeugen. Grndl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 14/20.
- [ 16 ] *Andert, A. u. F. Bohata*: Methode und Vorrichtung zur automatischen Klassifikation und Darstellung des Verlaufs der Beziehung zweier Veränderlichen (Original tschechisch). Zemědělska Technika Bd. 9 (1963) H. 2, S. 107/22.
- [ 17 ] *Schimmel, J. u. H. Hulla*: Einsatzoptimierung von Ackerschleppern durch elektronische Fahrerinformation. Grndl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 5/10.
- [ 18 ] *Jahns, G., H. Speckmann u. R. Möller*: Optimierung des Einsatzes landwirtschaftlicher Schlepper und Arbeitsmaschinen. Internat. Tagung Landtechnik, Braunschweig 7./8. Nov. 1985.
- [ 19 ] *Jahns, G. u. H. Steinkampf*: Einflußgrößen auf Flächenleistung und Energieaufwand beim Schleppereinsatz. Grndl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 1, S. 20/27.