

Bild 6. Schwergrubber NK

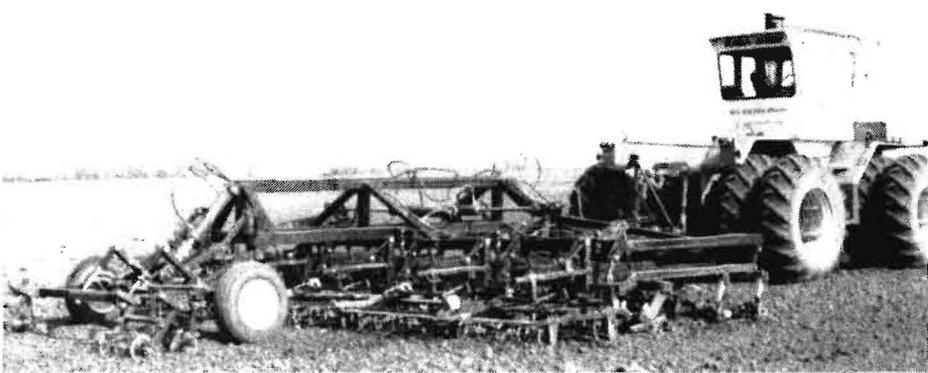


Bild 7. Schwere Spatenegge

reißen bzw. mit Kreiseleggen. Darunter sind der Rau-Multitiller, eine Schwergrubber-Sternrad-Kombination für die Produktion von Halmgetreide und die Kombination des Schwergrubbers mit glatten Scheibenscharen für die Bodenvorbereitung zum Maisanbau besonders hervorzuheben.

Aggregate zur Saatbettbereitung

Für die Saatbettbereitung wurden zwei Gerätevarianten von Spateneggen entwickelt, die u. a. zur Einebnung der Pflugfurche und zur Einarbeitung von Agrochemikalien verwendet werden können. Der wesentliche Unterschied zwischen den sog. leichten und schweren Spateneggen besteht darin, daß die leichte Spatenegge nur zwei nebeneinander angeordnete Eggenwalzen hat, während bei der schweren Spatenegge (Bild 7) eine zweireihige Walzenegge und eine Gliederung in Querrichtung vorhanden sind, wodurch die Arbeitstiefe bzw. die Belastung der einzelnen Werkzeuge regelbar wird. Die den Einsatzbedingungen angepaßten wirtschaftlichsten Bodenbearbeitungstechnologien können von den landwirtschaftlichen Betrieben unter Nutzung der beschriebenen Maschinen und Verwendung der vom Institut für Landtechnik Gödöllö zusammengestellten Mustertechnologien angewendet werden.

den herkömmlichen Mitteltieflockern durch. Zur flacheren Bodenvorbereitung (Arbeits-tiefe 10 bis 25 cm) durch Lockern werden Schwergrubber eingesetzt. Die Ergebnisse der Labor- und Felduntersuchungen haben zur Auswahl der für die ungarischen Bedin-

gungen geeigneten Varianten beigetragen. Der mit Klutenräumer und Walzenegge ausgerüstete Schwergrubber Typ NK (Bild 6) wird von Mezögép Kecskemét in den Arbeitsbreiten von 3 und 5 m hergestellt. Gegenwärtig erfolgt die Entwicklung neuerer Varianten mit glatten Scheiben, mit Stengel-

Literatur

[1] Bánházi, J.; Lehoczky, L.: Untersuchungen an Pflügen mit Kunststoffreichblechen. agrar-technik, Berlin 35 (1985) 3, S. 125-128.

A 5019

Einflüsse auf den Fahrwerkswirkungsgrad bei Traktoren

Dr.-Ing. H. Schulz, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

Verwendete Formelzeichen

A_K	cm ²	Reifenkontaktfläche
c	N/mm ²	Kohäsion
F_A	kN	Antriebskraft an den Rädern (Index R: rechtes Rad; Index L: linkes Rad)
F_H	kN	Hinterachslast
F_R	kN	Rollwiderstand
F_{Zx}	kN	horizontale Zugkraftkomponente
M_A	Nm	Moment an den Antriebsrädern
M_{Br}	Nm	Bremsmoment
P_A	kW	Leistung an den Naben der Antriebsräder
p_i	kPa	Reifeninnendruck
P_Z	kW	Zugleistung
r_w	m	wirksamer Reifenradius
η_f		Fahrwerkswirkungsgrad
η_{fm}		Fahrwerkswirkungsgrad mit gesperrtem Ausgleichgetriebe
η_{fo}		Fahrwerkswirkungsgrad ohne Ausgleichgetriebe
η_R		Rollwirkungsgrad
η_o		Schlupfwirkungsgrad
μ_K		Kraftschlußbeiwert
ρ		Rollwiderstandsbeiwert
ϱ_R		Reibungswinkel
σ		Schlupf der Antriebsräder
σ_m		Schlupf mit gesperrtem Ausgleichgetriebe
σ_N	N/cm ²	Normalspannung

σ_L		Schlupf am linken Rad
σ_R		Schlupf am rechten Rad
τ_S	N/cm ²	Schubspannung
ω_A	1/s	Winkelgeschwindigkeit der Antriebsräder
ω_L	1/s	Winkelgeschwindigkeit am linken Antriebsrad
ω_R	1/s	Winkelgeschwindigkeit am rechten Antriebsrad

1. Wesentliche Beziehungen zum Fahrwerkswirkungsgrad am Beispiel von Reibungsböden

Die Leistungsübertragung über Fahrzeuggräder zum Erzeugen einer Fahrbewegung ist relativ hoch verlustbehaftet. Diese Verluste, schlupf- und rollwiderstandsbedingt, sind durch den Fahrwerkswirkungsgrad bewertet:

$$\eta_F = \frac{P_Z}{P_A} = \frac{F_{Zx} r_w \omega_A (1 - \sigma)}{F_A r_w \omega_A} = \frac{F_{Zx}}{F_{Zx} + F_R} (1 - \sigma) = \eta_R \eta_o \quad (1)$$

Im Bild 1 ist erkennbar, daß der Wirkungsgrad in Abhängigkeit vom Schlupf bei geringen Schlupfwerten steil ansteigt, bei weiterer Schlupferhöhung schwächer bis zu ei-

nem Maximum auf Reibungsböden zunimmt und dann bei größerem Schlupf etwa linear abfällt.

Zum Erreichen einer großen Zugkraft oder zur Schlupfverringern, die für die Kraftstoffökonomie und den Materialaufwand (Reifenverschleiß) von großer Bedeutung sind, gibt es eine Reihe von Möglichkeiten (Bild 2):

- Erhöhen der vertikalen Belastung der Antriebsachsen durch verschiedene Maßnahmen
- Mehradantrieb und/oder Vergrößern der Kontaktfläche zur Kraftübertragung durch Reifenwahl (Bauform, Größe, Profilierung u. a.)
- Anzahl der angetriebenen Räder (Zwillingbereifung, Tandemantrieb, Allradantrieb)
- Senken des Reifeninnendruckes
- Ausgleich- und Verteilergetriebe und ihre Wirkungsmöglichkeit
- Lenkbremse (Grenzfall für Dauerbetrieb)
- Vermeiden einer zu großen Radkraftdifferenz durch asymmetrische Spur beim Pflügen u. a.

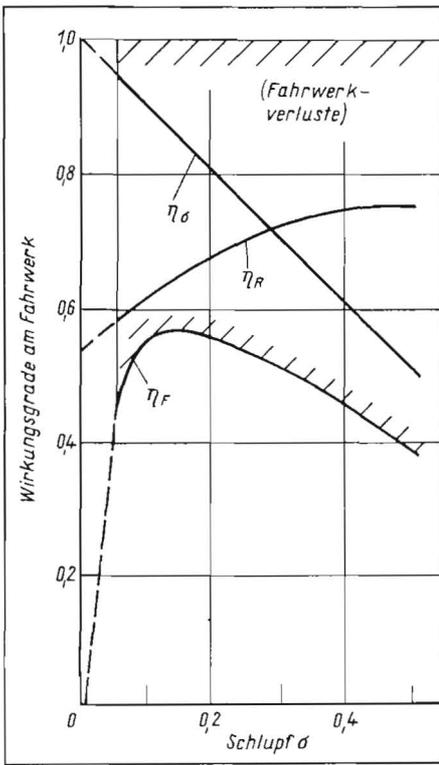


Bild 1. Wirkungsgrade an einem Radfahrwerk, dargestellt für ein Einzelrad

Auch diejenigen Maßnahmen, die den Rollwiderstand senken, führen zur Zugkrafteerhöhung oder Schlupfverminderung, z. B. Anwenden von Radialreifen und Ausnutzen des Multipass-Effekts (Überrolleffekt oder Spurfahren) [1].
 Eines der meist genutzten Mittel zum Senken des Schlupfes und zum Erhöhen des Fahrwerkwirkungsgrads oder zur Vergrößerung der Zugkraft ist das Erhöhen der vertikalen Belastung der Antriebsachsen. Bei Ballastierung gilt das solange, wie der Zuwachs der Antriebskraft größer ist, als der des Rollwiderstands. Die Ballasterhöhung ist durch eine Reihe von Maßnahmen möglich oder

gegeben (Bild 2). Wird die vertikale Belastung einer Antriebsachse durch die ausgeführten Maßnahmen erhöht, so verringert sich bei konstanter Zugkraft der Schlupf. Wird aber die Erhöhung der Achsbelastung vorgenommen und gleicher Schlupf zugelassen, so steigt die Zugkraft (Bild 3). Das gilt solange, bis der Kippunkt oder ein asymptotischer Verlauf einer Zugkraft-Schlupf-Kurve für eine bestimmte Fahrbahn erreicht ist. Nach Gl. (1) ist der Fahrwerkwirkungsgrad hoch, wenn der Rollwiderstand im Verhältnis zur Zugkraft klein und ebenso der Schlupf gering ist. Bekannt ist dabei, daß ein Erhöhen der vertikalen Achskraft nicht in jedem Fall zu diesen gewünschten Effekten führt. Die Ursache dafür liegt mit an den unterschiedlichen Kraftübertragungsbedingungen auf den verschiedenen Böden. Die erreichbare Antriebskraft angetriebener Räder ergibt sich allgemein bodenabhängig

$$F_A = \int \tau_s dA_K = (c + \sigma_n \tan \varphi_R) A_K = A_K c + F_H \mu_K, \quad (2a)$$

$$\text{auf Tonböden} \quad F_A \approx A_K c \quad (2b)$$

$$\text{und auf Sandböden} \quad F_A \approx F_H \mu_K. \quad (2c)$$

Auf Sandböden und relativ trockenen Böden verhält sich die erreichbare Antriebs- und Zugkraft etwa proportional zur Achsbelastung, während auf bindigen Böden eine größere „Scherfläche“ z. B. durch Verringern des Reifeninnendruckes, gröbere Profilierung u. a. bessere Werte ergibt.

2. Wirkungsgradverhalten, abhängig von der Anzahl angetriebener Räder und der Antriebsart

Bisher werden in der Landwirtschaft der DDR Radfahrwerke mit folgenden Radformeln (Antriebsformeln) verwendet:

- 4 x 2 Antrieb heck- oder frontseitig
- 4 x 2(4) mit zuschaltbarem Front- und Heckantrieb
- 4 x 4 zweiachsige allradangetriebene Fahrzeuge.

Neben der Zuordnung angetriebener und nicht angetriebener Räder sind Fahrwerke einfachbereift, zwillingsbereift oder auch als

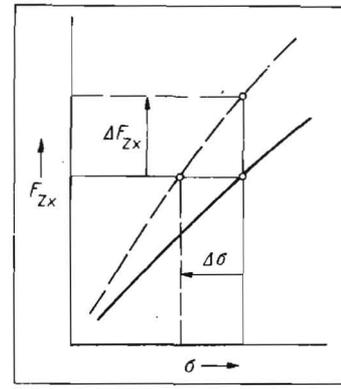


Bild 3. Nutzbare Möglichkeiten bei Achskrafteerhöhung:
 - - - mit Achskrafteerhöhung
 — ohne Achskrafteerhöhung

Rad tandem ausgeführt. Zwillingsbereifung wird überwiegend zur Senkung des Bodendrucks und für das Erhöhen der Einsatzfähigkeit bei ungünstigen Bodenverhältnissen verwendet, wobei vor allem auf Kohäsionsböden eine Erhöhung des Fahrwerkwirkungsgrads erreicht wird (Bild 4). Von Wehsely [2] wurde der Nachweis erbracht, daß ein Radtandemantrieb gegenüber einem gewöhnlichen Hinterradantrieb hinsichtlich Fahrwerkwirkungsgrad und Zugfähigkeit vorteilhafter ist. Die Erhöhung des Fahrwerkwirkungsgrads verschiedener Reifenbauformen und Radkombinationen (angetrieben, nicht angetrieben) beim Spurfahren hat Holm [1] nachgewiesen.

Die Fahrwerkantriebe der in der Landwirtschaft eingesetzten Traktoren waren bisher relativ einfach ausgebildet. Bei Traktoren ist noch der starre Einachsanantrieb von Bedeutung. Die Tendenz zum Allradantrieb ist weiter steigend. Nach der Art des Antriebs der Achsen werden unterschieden:

- Übertragung mit starrem Antrieb und Radausgleichgetriebe
- Übertragung mit symmetrischem oder asymmetrischem Längs- oder Achsverteilergetriebe sowie Radausgleichgetriebe (Querverteilergetriebe).

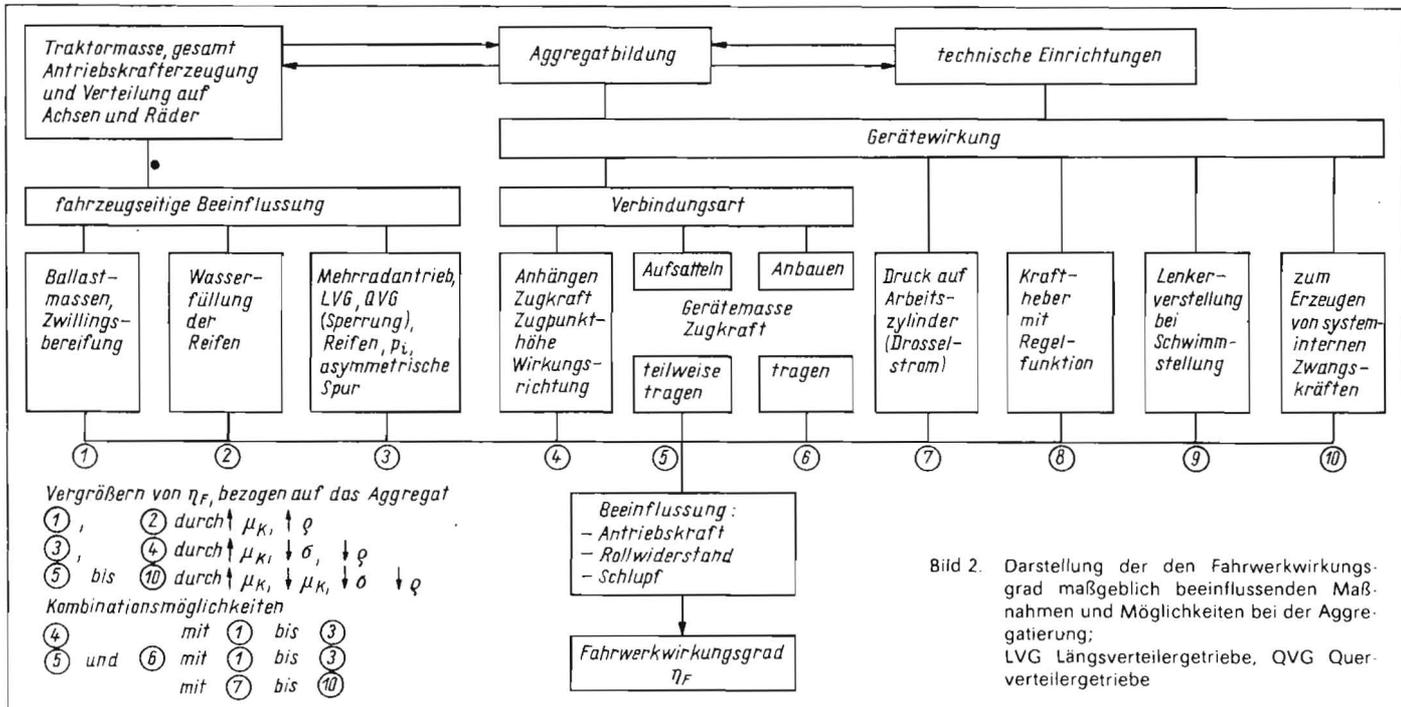


Bild 2. Darstellung der den Fahrwerkwirkungsgrad maßgeblich beeinflussenden Maßnahmen und Möglichkeiten bei der Aggregatierung; LVG Längsverteilergetriebe, QVG Querverteilergetriebe

Werden mehr als eine Achse angetrieben, können an den Rädern unterschiedliche Umfangsgeschwindigkeiten auftreten. Diese Erscheinung kann auch bei den Rädern einer Achse auftreten, z. B. bei nicht gesperrtem Querverteilergetriebe.

Abhilfe wird geschaffen, indem das Ausgleichgetriebe gesperrt wird. Damit wird

$$\omega_L = \omega_R \quad (3)$$

Sind dabei aber die wirksamen Reifenradien unterschiedlich ($r_{wL} \neq r_{wR}$), treten unterschiedliche Umfangsgeschwindigkeiten auf (Pflügen mit Fahren in der Furche) [3, 4]. Die Fahrwerkwirkungsgrade ohne und mit gesperrtem Radausgleichgetriebe eines Standardtraktors bei gegebenem Antriebsmoment M_A (einsatzabhängig) ergeben sich für ein reibungsfreies, nicht gesperrtes Ausgleichgetriebe zu

$$\eta_{Fo} = \frac{2 F_A r_w \left(1 - \frac{\sigma_L + \sigma_R}{2}\right)}{M_A} \quad (4)$$

und für ein gesperrtes Ausgleichgetriebe zu

$$\eta_{Fm} = \frac{r_w (F_{AL} + F_{AR}) (1 - \sigma_m)}{M_A} \quad (5)$$

$$(M_A = M_{Br} + \sum F_A r_w)$$

Der Fahrwerkwirkungsgrad bei nicht gesperrtem Ausgleichgetriebe – bei Beachtung des inneren Reibmoments – liegt zwischen η_{Fo} und η_{Fm} . Je größer das Reibmoment des Ausgleichgetriebes (Sperrwert) wird, desto kleiner ist der Unterschied in den Fahrwerkwirkungsgraden. Der Fahrwerkwirkungsgrad mit gesperrtem Ausgleichgetriebe ist größer als der mit nicht gesperrtem ($\eta_{Fm} > \eta_{Fo}$).

Die Gln. (4) und (5) gelten auch für Achsausgleichgetriebe, wenn an die Stelle der Indizes L und R die Indizes V und H gesetzt werden.

3. Wirkungsgradverhalten, abhängig von der Aggregatbildung

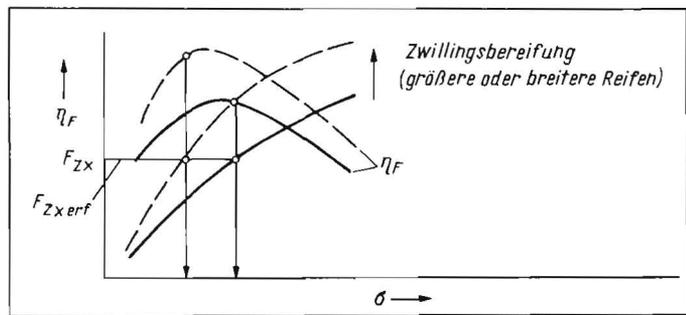
Wie im Abschn. 1 angegeben, ist der Fahrwerkwirkungsgrad entscheidend von den Traktions- und Befahrbarkeitsbedingungen (F_A , F_R , σ) und auch von der Größe und Wirkungsrichtung der am Traktor wirksam werdenden Zugkraft abhängig. Einfluß hierauf haben Traktormasse, Gerätemasse, Achslastverteilung, Antriebsart, Art der Aggregatierung und vorhandene technische Einrichtungen zum Optimieren des Traktoreinsatzes (Bild 2).

Der in Anspruch genommene Kraftschluß und der entstehende Rollwiderstand sind stark von der Größe und Wirkungsrichtung der Zugkraft abhängig. Andererseits ist der erreichbare Kraftschluß über die sich einstellenden Achslasten (F_V , F_H) ebenfalls hiervon abhängig. Die auf den Traktor übertragenen Kräfte hängen von der Verbindungsart (Gerätekopplung) und der Regelungsart des Krafthebers ab. Hierbei handelt es sich im wesentlichen um die Freigangregelung (Schwimmstellung) und verschiedene Arten der Regelhydraulik sowie in jüngerer Zeit auch um Einrichtungen zum Erzeugen von Zwangskräften.

Mittel zum Erzeugen von Zwangskräften z. B. beim Pflügen sind:

- Regelhydraulik
- Teildruckbeaufschlagung des Krafthebers
- teildruckbeaufschlagter Arbeitszylinder als oberer Lenker

Bild 4
Wirkung von Zwillingsbereifung auf Schlupf und Fahrwerkwirkungsgrad bei Annahme einer konstanten erforderlichen Zugkraft ($F_{Zx\text{erf}}$)



- druckbeaufschlagter Arbeitszylinder mit freier Anlenkung
- vorgespannte Zugfedern mit freier Anlenkung
- Einrichtung zum kontrollierten Aufbauen des Traktors.

Die Regelhydraulik kann so geschaltet werden, daß eine Teildruckbeaufschlagung des Krafthebers das ständige Tragen eines Gewichtsanteils des am Dreipunktanbau aufgesetzten Geräts bewirkt. Arbeitszylinder – frei oder als oberer Lenker – können an der Hydraulik angeschlossen sein oder mit direkt zugeordneten Druckspeichern autonom arbeiten und individuell den Einsatzbedingungen angepaßt werden. Das ist auch mit Federn mit Vorspannmechanismus möglich, wobei aber ein geringes Eigendämpfungsverhalten vorhanden ist.

Allen Einrichtungen ist gemeinsam, daß sie mit steigender beaufschlagter Kraft größere Anteile der Gewichtskraft und Zugkraft des Geräts übernehmen. Durch erzeugte Zwangskräfte soll z. B. bei Standardtraktoren im wesentlichen die antreibende Hinterachse stärker belastet werden.

Die Wirkung dieser Einrichtungen hinsichtlich Größe der Kraftübertragung und Achslastverteilung ist unterschiedlich und veränderlich. Über die Ermittlung der Kraftwirkung und den Einfluß auf den Fahrwerkwirkungsgrad gibt es eine umfangreiche Literatur.

Eine Bewertung verschiedener Verbindungsarten (Anhängepflug, Anbaupflug mit Freiganghydraulik und Regelhydraulik, Aufsattelpflug) mit hinterrad- und allradangetriebenen Traktoren ergibt etwa folgende allgemeine Einschätzung:

- Der Einfluß jeder Verbindungsart auf den Fahrwerkwirkungsgrad ist bei allradangetriebenen Traktoren geringer als bei hinterradangetriebenen Traktoren.
- Die Erhöhung des Fahrwerkwirkungsgrads ist – vor allem durch Achslasterhöhung – bei der Regelhydraulik wirksamer als bei der Freiganghydraulik. Noch größer ist die Wirkung beim Erzeugen von Zwangskräften.
- Bei den einzelnen Verbindungsarten entstehen unterschiedliche Belastungen der Antriebsachsen. Der maximale Fahrwerkwirkungsgrad tritt immer bei einem bestimmten Schlupf auf. Bei unterschiedlichen Achslasten ergibt sich der maximale Fahrwerkwirkungsgrad bei unterschiedlichen Radumfangsgeschwindigkeiten.
- Durch die unterschiedliche Wirkung der Verbindungsarten auf allrad- und hinterradangetriebene Traktoren liegt für erstere das Geschwindigkeitsoptimum für den Wirkungsgrad niedriger.
- Aufgrund der Geschwindigkeits- und Schlupfabhängigkeit des Fahrwerkwirkungsgrades und zur Erreichung hoher

Flächenleistungen wurden schon früh Schlupfmeßeinrichtungen und Motorauslastungsanzeigergeräte empfohlen.

- Die Verbindungsarten sind so zu wählen, daß die Belastung der Antriebsachse möglichst stark erhöht wird und eine geringere Belastung der nicht angetriebenen Räder erfolgt. In diesem Zusammenhang ist auch die Frontballastierung bei der Aggregatierung zu sehen. Durch Frontballastierung werden der Fahrwerkwirkungsgrad gesenkt und der Flächenkraftstoffverbrauch erhöht [5].

4. Zusammenfassung

Da die Fahrwerkverluste eines Traktors, bezogen auf den Energiegehalt des Kraftstoffs, annähernd 10% betragen, ist es wichtig, alle Möglichkeiten zu kennen, um beim Traktoreinsatz diese Verluste so gering wie möglich zu halten. Im Beitrag werden Zusammenhänge darüber und eine Reihe von Möglichkeiten zum Erreichen eines hohen Fahrwerkwirkungsgrads genannt.

Literatur

- [1] Holm, C.: Das Verhalten von Reifen beim mehrmaligen Überfahren einer Spur auf nachgiebigem Boden und der Einfluß auf die Konzeption mehrachsiger Fahrzeuge. Fortschritts-Berichte, VDI-Zeitschrift, R 14, (1972) 17.
- [2] Wehsely, K.: Zugkraft- und Wirkungsgraduntersuchungen am Radtandemantrieb. Archiv für Landtechnik, Berlin 8 (1969) 1, S. 41–76.
- [3] Große, J.; Sauder, D.-R.: Experimentelle Untersuchung der Wirksamkeit des Zugkraftverstärkers beim Einsatz am Traktor-Pflug-Aggregat ZT300/B201 auf die Erhöhung des Fahrwerkwirkungsgrades. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1981.
- [4] Drexler, H.-J.: Ein Beitrag zur Leistungsübertragung von Ackerschleppern bei schwerem Zug. TU Berlin (West), Dissertation 1970.
- [5] Fechner, W.; Giese, R.; Haacker, H.: Experimentelle Untersuchungen der Kräfte zwischen Traktor und Pflug beim Pflügen mit Arbeitstiefenregelung und Zugkraftverstärker. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1982. A 4970

Hinweis

Im Februarheft der „agrartechnik“ werden u. a. Beiträge zu folgenden Themen veröffentlicht:

- Mikroelektronisches Steuersystem FES 700 für Siloanlagen
- Einsatzmöglichkeiten von Schlauchberegnungsmaschinen mit Regen-einzung in der DDR
- Anforderungen an Spurweiten von Fahrzeugen und deren Realisierungsmöglichkeiten
- Historisches: Göpel- und Tretwerke.