

- [ 4 ] *Schwanghart, H.*: Festigkeitsbetrachtung von Schlepper-Umsturzsicherheitsrahmen, besonders für die Nachrüstung. Landtechnik Bd. 30 (1975) H. 10, S. 441/45.
- [ 5 ] *Söhne, W. u. H. Schwanghart*: Nachrüstung von Acker-schleppern mit Umsturzsicherheitsvorrichtungen. Merkblatt der Landw. Berufsgenossenschaften, Kassel 1974.
- [ 6 ] *Söhne, W. u. H. Schwanghart*: Methods of testing safety frames for agricultural and forestry tractors. Report to the Commission of the European Communities 1975.
- [ 7 ] *Norström, O.*: Report from the 5th meeting of ISO/TC 23/SC 3/WG 1 (Secr.-24) 62 E (Annex A).
- [ 8 ] FIEI, Ad Hoc Protective Frame Committee, Exhibits, Illinois 1970.
- [ 9 ] *Picker, S.*: Contribution a l'étude des energies a mettre en oeuvre an cours des essais statiques de cadres et cabines de securite. CNEEMA, ISO/TC-23/SC-3/GT-1 1976.
- [ 10 ] *Söhne, W. u. H. Schwanghart*: Stand und Entwicklung von Prüfmethode bei Schlepperumsturzsicherheitsvorrichtungen. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 5, S. 178/84.
- [ 11 ] *Sullivan, H.D.*: Structural strength tests for protective cabs for agricultural tractors using static methods. Inst. Mech. Engrs., Conference, London 1975.

## Allgemeine Zusammenhänge zwischen der Leistung, dem Gewicht und den optimalen Betriebsparametern von Schleppern

Von G. Sitkei, Budapest\*)

DK 631.372:531

Die Nutzung der Motorleistung von Schleppern im landwirtschaftlichen Betrieb spielt heute eine wichtige Rolle. Um eine optimale Abstimmung von Schlepper und Gerät zu gewährleisten, ist es notwendig, die allgemeinen Beziehungen zwischen Schlepper- und Betriebsparametern zu kennen. In diesem Aufsatz werden aufgrund der Schleppertheorie allgemeine Zusammenhänge abgeleitet und Versuchsergebnissen von großen Allrad-Schleppern erörtert.

### 1. Einleitung

In den letzten Jahrzehnten wurde die Motorleistung der Acker-schlepper ständig erhöht und das auf die Leistung bezogene Gewicht der Schlepper vermindert. In den letzten Jahren verbreitet sich die Anwendung der großen Allrad-Schlepper mit 150 bis 225 kW Leistung. Die Nutzung der Motorleistung spielt bei diesen großen Schleppern aus Gründen der Ökonomie eine sehr wichtige Rolle; daher ist es notwendig, die großen Schlepper möglichst mit optimalen Betriebsparametern zu nutzen.

Ein Vergleich der optimalen Betriebsparameter (Zugkraft, Fahrgeschwindigkeit, Schlupf) für die früheren kleineren und die heutigen großen Schlepper hat gezeigt, daß eine wesentliche Änderung bei diesen Betriebsparametern zu beobachten ist. Während bei den kleinen Schleppern der optimale Schlupf bei 15–18 % und die optimale Fahrgeschwindigkeit bei 5–6 km/h lag, nehmen dieselben Parameter für große Allrad-Schlepper die Werte von 8–10 % bzw. 10–11 km/h an [1]. Obwohl diese Tendenz aus Feldversuchen bekannt ist, fehlt doch eine theoretische Begründung für die Änderungen der Betriebsparameter in Abhängigkeit von den konstruktiven Daten des Schleppers.

### 2. Theoretische Grundlagen

Der Schlepper stellt im allgemeinen eine Zugmaschine dar, daher soll die Zugleistung als wichtigster Optimierungsparameter untersucht werden.

Die Leistungsbilanz eines Schleppers kann wie folgt beschrieben werden:

$$P_e = Z v + U v_{th} + R v + P_e (1 - \eta_m) \quad (1),$$

worin

$P_e$  Motorleistung

$Z$  Zugkraft

$U$  Umfangskraft

$R$  Rollwiderstand

$v_{th}, v$  theoretische bzw. tatsächliche Fahrgeschwindigkeit

$i$  Schlupf

$\eta_m$  mechanischer Wirkungsgrad

sind.

Unter Berücksichtigung, daß

$$U = Z + R \quad \text{oder} \quad \mu = \kappa + \rho;$$

mit

$$\mu = \frac{U}{G} \quad \kappa = \frac{Z}{G} \quad \rho = \frac{R}{G},$$

kann Gl. (1) auf die folgende einfache Form gebracht werden:

$$\frac{P_e \eta_m}{G v_{th}} = \mu$$

oder

$$v_{th} = \frac{P_e \eta_m}{G \mu} \quad (2).$$

\*) Prof. Dr.-Ing. G. Sitkei, Budapest, war Gastwissenschaftler am Institut für Landmaschinen der TU München im Jahre 1966/67.

Gl. (2) stellt den Zusammenhang zwischen der Fahrgeschwindigkeit und dem auf die Leistung bezogenen Gewicht dar.

Aus Gl. (1) kann auch die auf die Motorleistung bezogene Zugleistung abgeleitet werden:

$$\frac{P_z}{P_e} = \eta_m - \frac{G}{P_e} v_{th} \left[ \mu i + \rho (1 - i) \right]$$

oder unter Berücksichtigung von Gl. (2):

$$\frac{P_z}{P_e} = \eta_m \left\{ 1 - \left[ i + \frac{\rho (1 - i)}{\mu} \right] \right\} \quad (3).$$

Gl. (3) zeigt den Zusammenhang zwischen der Zugleistung und dem Umfangskraft- und Rollwiderstandsbeiwert sowie dem Schlupf. Wie man sieht, hängt die relative Zugleistung nicht vom Schleppergewicht ab.

Der Umfangskraftbeiwert  $\mu$  ist schlupfabhängig, daher muß er als Funktion des Schlupfes ausgedrückt werden. Eine umfangreiche Analyse der Umfangskraft-Schlupf-Kurven hat gezeigt, daß eine relativ einfache Darstellung möglich ist in der Form:

$$\mu = \mu_{max} (1 - e^{-i/i^*}) \quad (4),$$

worin  $i^*$  der charakteristische Schlupf ist, bei dem  $\mu$  einen Wert von 63,2 % seines maximalen Wertes annimmt.

Unter Berücksichtigung von Gl. (4) lassen sich die Gln. (2) und (3) folgendermaßen darstellen:

$$v_{th} = \frac{P_e \eta_m}{G \mu_{max} (1 - e^{-i/i^*})} \quad (2a),$$

$$\frac{P_z}{P_e} = \eta_m \left\{ 1 - \left[ i + \frac{\rho (1 - i)}{\mu_{max} (1 - e^{-i/i^*})} \right] \right\} \quad (3a).$$

Mit Hilfe von Gl. (3a) kann der optimale Schlupf bestimmt werden, der für die gegebene Umfangskraft-Schlupf-Kurve die maximale Zugleistung sichert.

Der optimale Triebkraftbeiwert  $\kappa$  errechnet sich aus der Gleichung

$$\kappa_{opt} = \mu_{max} (1 - e^{-i_{opt}/i^*}) - \rho \quad (5).$$

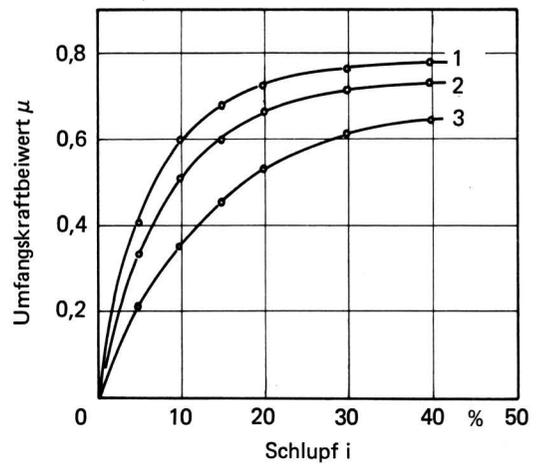
Beim Selbstfahren ist  $\kappa = 0$  und der zum Fahren erforderliche Schlupf beträgt

$$i_f = i^* \ln \frac{\mu_{max}}{\mu_{max} - \rho} \quad (6).$$

### 3. Versuchsergebnisse

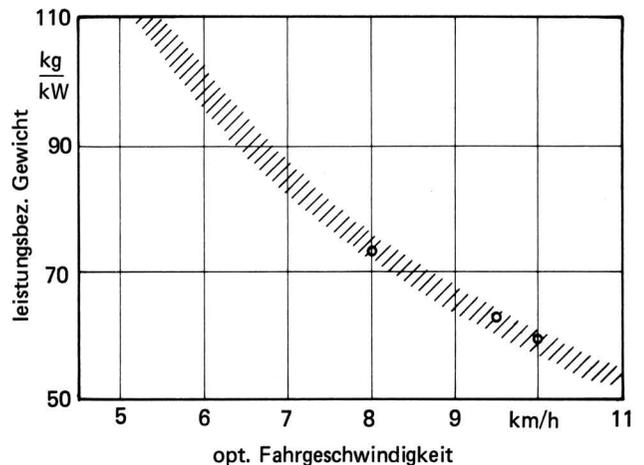
Zunächst wurden die vorhandenen Zugkraft-Schlupf-Kurven mit dem Rollwiderstand korrigiert, analysiert und die Umfangskraft-Schlupf-Kurven aufgezeichnet. **Bild 1** zeigt drei charakteristische Kurven für Reifen 20,8–34 AS bei Zwillings- und Einzelbereifung (große Allrad-Schlepper) und für Reifen 10–28 AS (22,5-kW-Schlepper mit Hinterrad-Antrieb [2]). Der charakteristische Schlupf  $i^*$  beträgt 7 % bzw. 9 % für den Reifen 20,8–34 AS und 15 % für den Reifen 10–28 AS, während der maximale Umfangskraftbeiwert  $\mu_{max}$  die Werte von 0,78 und 0,74 bzw. 0,7 (Stoppelfeld) annahm. Die größeren Reifen haben wegen ihrer längeren Auflagefläche eine bessere Zugfähigkeit, welche durch den charakteristischen Schlupf gekennzeichnet werden kann.

Die optimale Fahrgeschwindigkeit nach Gl. (2) bzw. (2a) ist eine Funktion des auf die Leistung bezogenen Gewichtes. Die Werte für die verschiedensten Schlepper liegen in einer schmalen Zone, die in **Bild 2** angegeben ist. Wenn das bezogene Schleppergewicht sehr niedrig gewählt wird, kann die Motorleistung nur bei Fahrgeschwindigkeiten über 10 km/h ausgenutzt werden.

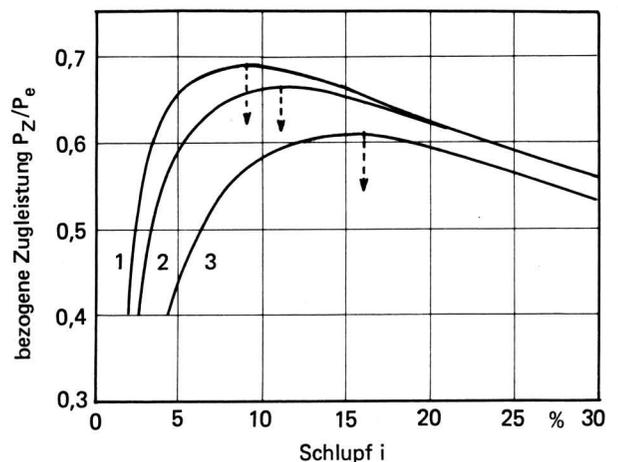


**Bild 1.** Umfangskraftbeiwert in Abhängigkeit vom Schlupf (Stoppelfeld).

- 1  $\mu_{max} = 0,78, \quad i^* = 7 \%$
- 2  $\mu_{max} = 0,74, \quad i^* = 9 \%$
- 3  $\mu_{max} = 0,70, \quad i^* = 16 \%$



**Bild 2.** Zusammenhang zwischen dem bezogenen Gewicht und der optimalen Fahrgeschwindigkeit.



**Bild 3.** Änderung der bezogenen Zugleistung in Abhängigkeit vom Schlupf für die in Bild 1 angegebenen Umfangskraft-Schlupf-Kurven.

Die bezogene Zugleistung für die in Bild 1 angegebenen Umfangskraft-Schlupf-Kurven ist in Bild 3 dargestellt. Die optimalen Schlupfwerte liegen in Abhängigkeit vom charakteristischen Schlupf  $i^*$  bei 9, 11 und 16 %. Die Werte von  $\mu_{\max}$  und  $\rho$  bestimmen in erster Linie die maximal erreichbare Zugleistung, ihre Wirkung auf die Lage des optimalen Schlupfes ist verhältnismäßig klein. Wenn sich der Rollwiderstandsbeiwert jedoch erheblich erhöht, verschiebt sich die Lage des optimalen Schlupfes in Richtung größerer Werte.

Die Auswertung der vorhandenen Meßergebnisse zeigte einen linearen Zusammenhang zwischen dem optimalen Schlupf und dem charakteristischen Schlupf, wie es in Bild 4 zu sehen ist. Der optimale Schlupf ist immer etwas größer als der charakteristische Schlupf.

Es wurden drei Allrad-Schlepper mit verschiedenem bezogenem Gewicht eingehend untersucht. Die Zugkraftcharakteristiken wurden auf Stoppfeld und frischgepflügtem Boden aufgenommen und analysiert.

Bild 5 zeigt die Zugkraftcharakteristiken eines großen Allrad-Schleppers für beide Bodenzustände. Die optimale Zugleistung ergibt sich bei etwa 10 km/h, praktisch für beide Bodenzustände.

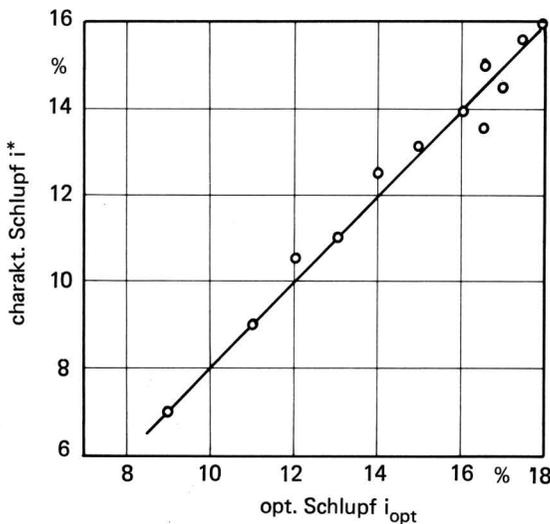


Bild 4. Zusammenhang zwischen dem charakteristischen und dem optimalen Schlupf.

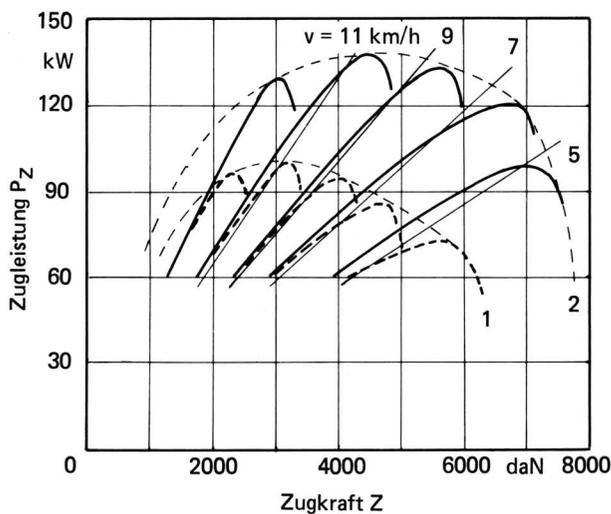


Bild 5. Zugkraft-Charakteristiken eines großen Allrad-Schleppers mit Zwillingbereifung auf frischgepflügtem Boden (1) und auf Stoppfeld (2).

Letzteres ist dadurch zu erklären, daß sich  $\mu_{\max}$  in Gl. (2a) für Reibungsböden bei verschiedenen Bodenzuständen nur wenig ändert, ausgenommen, wenn der Boden zu naß ist.

Die optimalen Fahrgeschwindigkeiten für die untersuchten Schlepper sind in Bild 2 als Punkte eingezeichnet, die in der theoretisch abgeleiteten Zone liegen. Die wichtigsten Kenndaten und Versuchsergebnisse der untersuchten Schlepper sind in Tafel 1 zusammengestellt (Stoppfeld).

Schlepper		T-150 K	K-700	Raba-Steiger
Motorleistung	kW (PS)	121 (165)	158 (215)	195 (265)
Masse	kg	7750	11600	11900
G/P <sub>e</sub>	kg/kW	64	73	61
max. Zugleistung	kW	76	99	135
Zone f. 90 % der max. Zugleistung:				
Zugkraft	daN	4300–1500	5800–2100	6700–2600
Fahrgeschw.	km/h	5,8–16,0	5,6–15,5	6,6–17,0
opt. Zugkraft	daN	2930	4520	4940
opt. Fahrgeschw.	km/h	9,5	8,0	10,0
P <sub>z max</sub> /P <sub>e</sub>		0,624	0,623	0,69
Z <sub>opt</sub> /G		0,38	0,39	0,415
Schlupf bei P <sub>z max</sub>	%	11,0	11,0	8,0
Bereifung vorne und hinten		530–610 R (Einzel)	20,8–26 (Einzel)	20,8–34 (Zwilling)

Tafel 1. Zusammenstellung von Schlepperdaten und Versuchsergebnissen.

#### 4. Zusammenfassung

Aufgrund der durchgeführten theoretischen und experimentellen Untersuchungen können die wichtigsten Ergebnisse wie folgt zusammengefaßt werden:

- 4.1 Die optimale Fahrgeschwindigkeit eines Schleppers hängt in erster Linie von dem auf die Leistung bezogenen Gewicht ab.
- 4.2 Der optimale Schlupf eines Schleppers ist eine Funktion des charakteristischen Schlupfes, d.h. er hängt von der Reifen-Boden-Wechselwirkung ab.
- 4.3 Die maximal erreichbare Zugleistung wird von den Werten von  $\mu_{\max}$  und  $\rho$  bestimmt.
- 4.4 Die optimale Zugkraft der großen Allrad-Schlepper liegt bei etwa 60 % der maximalen Zugkraft.
- 4.5 Der optimale Schlupf der großen Allrad-Schlepper beträgt bei richtiger Bereifung nur 8–10 %.
- 4.6 Bei den heute üblichen bezogenen Schleppergewichten liegt die optimale Fahrgeschwindigkeit bei 9–10 km/h. Die Arbeitsgeräte sollen möglichst zu dieser Geschwindigkeit passend gewählt und abgestimmt werden.

#### Schrifttum

- [ 1 ] Sitkei, G.: Nutzung der Motorleistung von großen Allrad-Schleppern im landwirtschaftlichen Betrieb. Vortrag, VDI-Tagung Landtechnik Braunschweig, 1977.
- [ 2 ] Söhne, W. u. F.J. Sonnen: Messung von Rollwiderstand und Zugkraft von luftbereiften Ackerschleppern sowie mechanischen Bodenkenngrößen und Versuch einer Zuordnung. Proc. 1st Int. Conference on the Mechanics of Soil-Vehicle Systems, Turin, 1961.