

# Zugkraft der Raupenschlepper und Geschwindigkeit des Pflügens

Von Prof. N. D. LUTSCHINSKII, Moskau<sup>1)</sup>

DK 629.114.2: 631.312

*Veranlassung zu dieser Studie war die Tatsache, daß die seitlich der Symmetrieachse erforderliche Anhängung des Pfluges erhöhte Zugleistungen beansprucht. Die hierfür zu entwickelnden stärkeren Schlepper können aber nur dann wirtschaftlich ausgenutzt werden, wenn die Arbeitsgeschwindigkeit gesteigert wird. Für diese ist wiederum eine neue Pflugkörperform Voraussetzung, damit die Arbeitsqualität auch beim Schnellpflügen gesichert bleibt. Zu dem Gesamtkomplex aller dieser Fragen stellt der Autor des nachstehenden Aufsatzes umfassende Überlegungen an und berechnet die Möglichkeit für reale Lösungen. Sein Aufruf zur Mitarbeit an die Techniker und Praktiker sollte auch unsere Wissenschaftler und Konstrukteure veranlassen, sich mit der Materie zu befassen und ihre Erkenntnisse hierüber zum Vorteil der Landwirtschaft beizusteuern.*  
Die Redaktion

Die Zugkraftkomponente der Raupenschlepper mittlerer Leistung verläuft gewöhnlich links von der Zugwiderstandskomponente des Pfluges. Beide Raupenketten bewegen sich auf ungepflügtem Felde, ein Pflug von geringer Arbeitsbreite arbeitet von der Symmetrieachse des Schleppers nach rechts verschoben. Der Widerstand eines solchen Pfluges erzeugt ein Moment, das den Schlepper in die Furche drängt. Hierbei müssen die Raupen nicht nur die Widerstandskraft des Pfluges, sondern auch dieses Moment überwinden. Zu seiner Überwindung muß zusätzliche Energie aufgewendet werden, die vom Zug-Dynamometer nicht verzeichnet wird. Apparate, die die gesamte aufgewendete Energie verzeichnen, gibt es z. Z. nur bei den Elektroschleppern. Die Beobachtung der Arbeit der Elektroschlepper zeigte, daß auf gleichem Wege Pflüge mit vier oder fünf Pflugkörpern fast den gleichen Energieaufwand verlangten. Auf diese Weise führt ein ungünstiges mißglücktes Verhältnis der Querabmessungen des Vierscharpfluges und des gegebenen Elektroschleppers zu einem unnötigen Energieverbrauch von 20%. Bei den Schleppern mit Verbrennungsmotoren besteht keine unmittelbare Abhängigkeit zwischen der Gesamtarbeit des Raupenganges und dem Brennstoffverbrauch. Bei diesen dürfte der unnötige Energieverbrauch wohl geringer sein als bei den Elektroschleppern, aber seine Bestimmung ist schwierig.

Immer, wenn der Pflug rechts von der Achse des Schleppers angehängt ist, muß der Schlepperführer seine Maschine mit dem linken Steuerhebel vom Eindreihen in die Furche zurückhalten. Die linksseitige Übertragung wird hierbei wegen der wiederholten unvollständigen Abschaltungen abgenutzt. Die Sorge um die Erhaltung des Schleppers verlangt, den Anhängpunkt des Pfluges näher an die Schlepperachse heranzubringen. Dann arbeitet der Pflug jedoch in schräger Stellung. Eine solche Schräglage des Pfluges vergrößert den Verschleiß der Räder und der Anlagen des Pfluges, sie verringert die Stabilität seines Tiefganges, es verschlechtert sich die Krümelung und das Umlegen der Schicht, und so vergrößert sich wieder der allgemeine Energieverbrauch.

Je kleiner das Verhältnis der Arbeitsbreite des Pfluges zur Breite des Raupenschleppers ist, um so bemerkbarer wird die erwähnte Unstimmigkeit. Der heutige Schlepper KD-35 hat eine genügende Querstabilität nur bei der Arbeit mit einem dreischarigen Pflug. Die Schlepper STS-NATI und DT-54 mit gleichem Raupengang sind in der Querrichtung stabil bei der Arbeit mit einem Pflug, der mindestens fünf Pflugkörper hat. Die Verringerung der Arbeitsbreite der Pflüge für Schlepper ähnlichen Typs ist durchaus unerwünscht. In den nächsten Jahren wird die Pflugtiefe jedoch vergrößert werden; außerdem dürften die unter Luzerne stehenden Flächen mit ihrem größeren Bodenwiderstand zunehmen. Unter diesen Bedingungen verlangt das Pflügen mit Geschwindigkeiten von 4,5 bis 5,5 km/h 13 bis 14 PS für jeden Pflugkörper. Für einen Dreischarpflug sind somit 40 bis 45 PS erforderlich, statt der 35 PS des Schleppers KD-35. Für den Fünfscharpflug muß man 60 bis 70 PS haben, statt 54 bis 57 PS des Schleppers DT-54.

Um nun die erhöhte Leistung der neuen Schlepper besser ausnutzen zu können, ist es wünschenswert, in höherem Maße die Grenzen der Arbeitsgeschwindigkeiten und der Zugkräfte mit den gewöhnlichen Schwankungen des Pflugwiderstandes in Einklang zu bringen. Dieser Widerstand ändert sich am schnellsten beim Wechsel der Bodenfeuchtigkeit. Eine solche Änderung kann eine positive oder negative sein. Ihre absolute Größe erreicht 25% des mittleren Bodenwiderstandes. Hiervon ausgehend müßte man beim Pflügen außer der zweiten und dritten Arbeitsgeschwindigkeit noch eine vierte Arbeitsgeschwindigkeit anwenden.

Der Schlepper KD-35 ist für das Pflügen mit der vierten Geschwindigkeit (6,13 km/h) nicht verwendbar, da er hierbei seine Längsstabilität wegen ungünstiger Aufhängung der Raupen verliert. Der Schlepper DT-54 bleibt beim Arbeiten im vierten Gang (6,28 km/h) stabil. Diese Geschwindigkeit wird jedoch beim Schlepper DT-54 selten angewendet, weil die Unvollkommenheit seiner Raupen dabei zu unnützen Energieverlusten führt. Durch Verbesserung der Raupenkonstruktion und Änderung des Verhältnisses vom Gewicht des Schleppers zu seiner Leistung können neue Modelle geschaffen werden, die geeignet sind, ohne größere Verluste im vierten Gang zu arbeiten. Bei diesen Schleppern wird die größte Leistung am Haken  $N_k$  bei allen Geschwindigkeiten fast die gleiche sein.

Wählt man für die neuen Schlepper als dritte Geschwindigkeit  $v_3 = 5,2$  km/h, so berechnen sich die zweite und die vierte Geschwindigkeit

( $v_2$  und  $v_4$ ), die eine Änderung der Zugkraft um 25% nach beiden Seiten gewährleisten, wie folgt:

Aus der Bedingung  $75 N_{k\max} \approx \text{konst.}$  erhalten wir

$$P_2 v_2 = \left( P_3 \cdot \frac{P_3}{4} \right) v_2 = P_3 v_3 = \left( P_3 - \frac{P_3}{4} \right) v_4,$$

und hieraus:

$$v_2 = \frac{4}{5} v_3 = \frac{4}{5} \cdot 5,2 \approx 4,16 \text{ km/h,}$$

$$v_4 = \frac{4}{3} v_3 = \frac{4}{3} \cdot 5,2 \approx 6,80 \text{ km/h.}$$

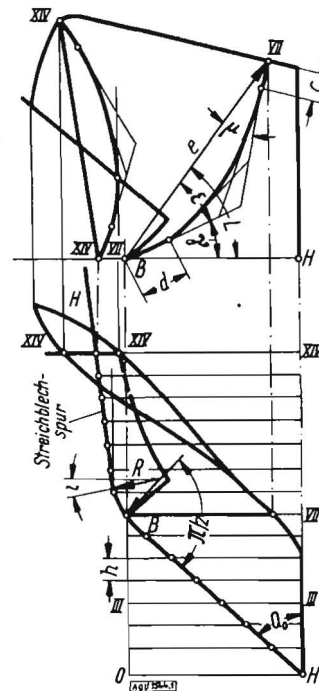


Bild 1

<sup>1)</sup> Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства (Mechanisierung und Elektrifizierung der sozialistischen Landwirtschaft Moskau Nr. 5 (1953) S. 15 bis 23. Übersetzer: Prof. v. Denjler.

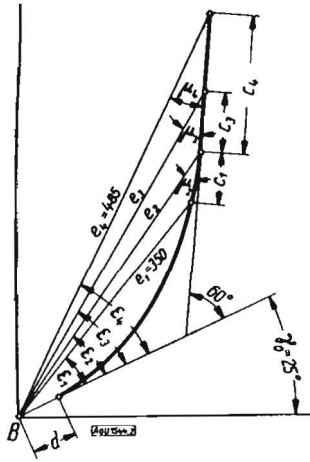


Bild 2

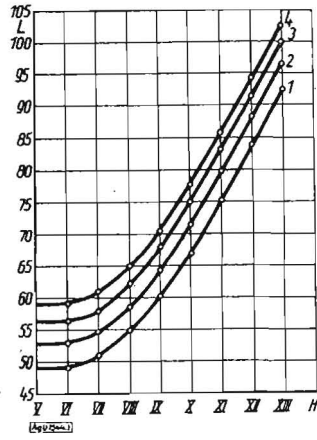


Bild 3

Ein Modell des neuen Schleppers DT-54 mit verbesserten Raupen kommt diesen Daten nahe. Seine Arbeitsgeschwindigkeiten sind gleich

4,4 km/h, 5,16 km/h, 6,45 km/h.

Eine spätere Herabsetzung der zweiten Geschwindigkeit auf 4,16 km/h erscheint zweckmäßig. Die verringerte zweite Geschwindigkeit bei erhöhter Motorleistung gestattet in vielen Fällen Luzernefelder zu bearbeiten, ohne daß ein Pflugkörper abgenommen werden muß oder daß man auf die erste Geschwin-

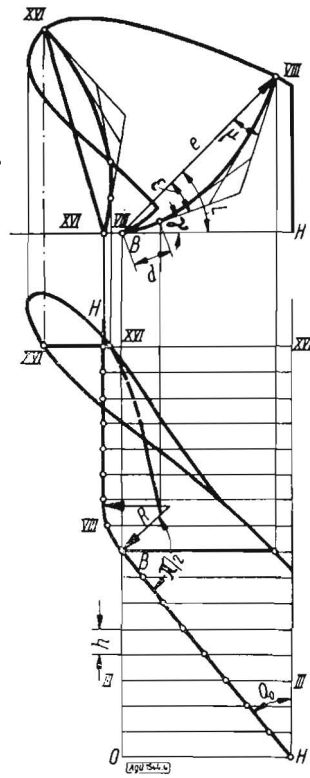


Bild 4

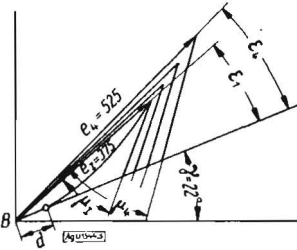


Bild 5

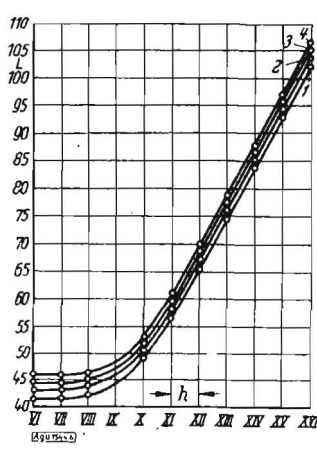


Bild 6

digkeit übergehen muß, bei der sich die Arbeitsleistung verringert und das Umwenden der Schicht verschlechtert. Die Erhöhung der vierten Geschwindigkeit auf 6,8 km/h ist wünschenswert. Beim Entwerfen der Streichbleche, die den Forderungen von Qualitätsarbeit bei 6,8 km/h Geschwindigkeit entsprechen, kann man den Schnittwechsel des Schar verringern und die ganze Fläche des Streichblechs durch Schraubebewegung einer unveränderlichen Schablone, senkrecht zur Pflugrichtung, erzeugen.

Solche Flächen des Kulturtyps K sind bequem zu entwickeln, indem man von der waagerechten Linie H—H ausgeht (Bild 1).

Diese verläuft zunächst längs der Schneide des Schar, unter dem Winkel  $\theta_0 = 42,5^\circ$  gegen die Furchenwand, dann weiter längs des Kreisbogens mit dem Radius  $R = 125$  mm, der an das Ende der Schneide anschließt, und endlich längs der Tangente an diesen Kreisbogen unter dem Winkel  $i = 15^\circ$  zur Furchenwand. In den Grenzen der Fläche des gegebenen Typs müssen in gleichem Abstand voneinander vierzehn Frontalschnitte gelegt werden. Der siebente Schnitt geht durch den rechten Rand des Schar B und der vierzehnte durch das Ende des Streichblechs.

Bei gleicher Anzahl der Schnitte vergrößert sich der Abstand  $h$  zwischen den Schnitten mit der Breite der Schicht  $b$ .

Zum Beispiel: für  $b = 250, 300, 350$  und  $400$  mm werden die entsprechenden  $h$  gleich  $40, 50, 55$  und  $60$  mm. Für die K-Streichbleche beliebiger Abmessungen läßt sich eine gemeinsame Frontalschablone finden. Verschieden wird nur die Länge des verwendeten Bogens der Schablone sein. Bei großen Streichblechen geht die Sehne der Schablone  $l$  bis an den entferntesten Punkt der Parabel. Deshalb werden bei großen Streichblechen die Sehnen der entsprechenden Schnitte steiler geneigt sein als bei kleinen Streichblechen. Die Berührungsebene zum unteren Teil des Schar kann dagegen die gleiche Neigung haben bei Streichblechen, die sich nur in den Abmessungen unterscheiden.

In Bild 2 und Tafel 1 sind die Kennzeichen der Frontalschablonen der Form K im Schnitt VII, und in Bild 3 und Tafel 2 sind die Neigungswinkel  $\varphi$  der Sehnen in Abhängigkeit von der Bewegung längs des Streichblechs angegeben.

Die Streichbleche des Typs P, die den halbschraubenförmigen nahestehen, sind nach diesem Verfahren noch bequemer zu entwerfen. Bei diesen verläuft die Spur längs der Schneide unter einem etwas kleineren Winkel  $\theta_0 = 42^\circ$ , dann nach einem Kreisbogen mit dem Radius  $R = 160$  mm und endlich nach der Tangente parallel der Furchenwand (Bild 4). Die Streichbleche Form P müssen ein wenig länger als die der Form K sein. Deshalb geht durch den rechten Rand des Schar nicht der siebente, sondern der achte Schnitt, und das ganze Streichblech muß in 16 Teile geteilt werden. Der Abstand  $h$  der Schnitte voneinander kann dann gleich dem Abstand wie bei der Form K gehalten werden. Die Schablonen der Streichbleche verschiedenen Durchmessers sind unterschiedlich: je größer das Streichblech, um so größer ist der Krümmungsradius der Schablone. Die Sehnen der großen Schablonen sind steiler als die Sehnen der kleinen Schablonen. Bei Form P dagegen ist dieser konstante Unterschied in den Winkeln der Sehnen geringer als bei Form K.

Hierbei muß der untere Teil der Schablonen, die sich mit dem Schar berühren, die gleiche Neigung für die ganze Form haben. In Bild 5 und Tafel 3 sind die Kennzeichen der Scha-

Tafel 1					Tafel 3					
Nr. des Streichblechs	$\epsilon^\circ$	$\mu^\circ$	$l$	$c$	$d$	Nr. des Streichblechs	$\epsilon^\circ$	$\mu^\circ$	$l$	$d$
1	24	—	350	-50	55	1	20,0	27,0	375	60
2	28	32	305	0	55	2	21,5	27,5	420	60
3	31,5	28,5	440	+55	55	3	22,5	28,0	470	60
4	34,5	25,5	485	+105	55	4	23,5	28,5	525	60

Tafel 2					Tafel 4				
Schnitte	Winkel $\varphi$ (in Grad) Streichbleche				Schnitte	Winkel $\varphi$ (in Grad) Streichbleche			
	1	2	3	4		1	2	3	4
V	49	53	56,5	59,5	VI	42,0	43,5	44,5	45,5
VI	49	53	56,5	59,5	VII	42,0	43,5	44,5	45,5
VII	50,5	54,5	58	61	VIII	42,5	44,0	45,0	46,0
VIII	54,5	58,5	62	65	IX	44,0	45,5	46,5	47,5
IX	60	64	67,5	70,5	X	48,5	50,0	51,0	52,0
X	67	71	74,5	77,5	XI	57,5	59,0	60,0	61,0
XI	75	79	82,5	85,5	XII	66,5	68,0	69,0	70,0
XII	83	87,5	91	94	XIII	75,5	77,0	78,0	79,0
XIII	92	96	99,5	102,5	XIV	84,5	86,0	87,0	88,0
XIV	100,5	104,5	108	111 <sup>1)</sup>	XV	93,5	95,5	96,0	97,0
					XVI	102,5	104,0	105,0	106,0

<sup>1)</sup> Bei verkürzten Streichblechen ist der Schnitt XIV überflüssig.

blonen von Form  $P$  angegeben, in Bild 6 und Tafel 4 die Winkel der Sehne gegen den Furchenboden.

Keht man zur Beurteilung der Zugeigenschaften des Schleppers zurück, so ist hier auf die Bedeutung der Lage seines Anhängenhakens hinzuweisen. Diese ist höher anzuordnen, als es bei dem Schlepper KD-35 und sogar bei dem Schlepper DT-54 der Fall ist. Die Zugschere des Pfluges muß nach oben, unter einem Winkel von 10 bis 14° geneigt zum Zughaken des Schleppers gerichtet sein. Wenn diese Neigung fehlt und die Zugschere fast waagrecht liegt, dann wirkt auf den Pflug ein Moment, das das vordere Schar und die vorderen Räder andrückt und die Sohle des hinteren Pflugkörpers hebt. Dieser

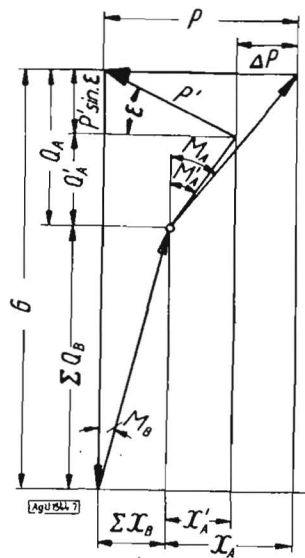


Bild 7

Übelstand vergrößert den Widerstand des Pfluges um 6 bis 9% und kann den Brennstoffverbrauch um 3 bis 4% erhöhen. Der Mangel an Apparaten, die diese Verluste registrieren, führte dazu, daß ihnen nur wenig Beachtung geschenkt wurde.

Der Schlepper KD-35 kann nur in waagerechter Richtung ein Gerät ziehen. Bei geneigtem Zug verliert er seine Längsstabilität nicht nur im vierten Gang, sondern auch bei den anderen niedrigeren Arbeitsgeschwindigkeiten.

Der Schlepper DT-54 hat eine genügende Reserve seiner Längsstabilität. Bei diesem kann man den Anhängenhaken höher legen, damit die Zugschere des Pfluges unter der Neigung von 10 bis 14° nach oben zu liegen kommt.

Eine solche Richtung der Zugkraft der neuen Schlepper des Typs DT-54 wäre auch zweckmäßig bei der Arbeit mit Anhängerkombines. Es würde sich dadurch die Reaktion  $Q_A$  des vorderen Rades der Kombine verringern, wobei jedoch die Reaktion  $\Sigma Q_B$  der hinteren Räder fast unverändert bleibt. Der waagerechte Widerstand  $\Sigma X_B$  der beiden hinteren Räder bliebe ebenfalls nahezu unverändert. Aber die Verringerung des gesamten Widerstandes der Kombine würde dann durch die Verringerung des waagerechten Widerstandes  $X_A$  des vorderen Rades bei geneigtem Zuge bestimmt werden.

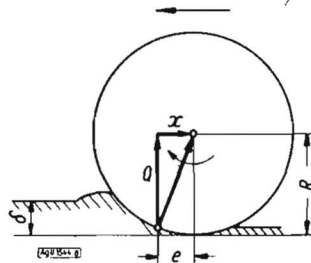


Bild 8

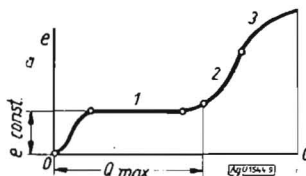


Bild 9

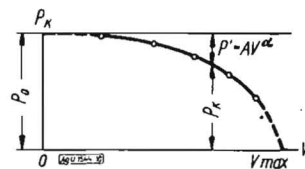


Bild 10

Aus Bild 7 ist zu ersehen, daß diese Verringerung gleich

$$P - P' \cos \epsilon \approx X_A - X'_A = Q_A \operatorname{tg} \mu_A - Q'_A \operatorname{tg} \mu'_A = Q_A \operatorname{tg} \mu_A - (P' \sin \epsilon \operatorname{tg} \mu'_A)$$

ist, hierin bedeuten:

- $Q_A$  die Reaktion des vorderen Rades bei waagerechtem Zug,
- $Q'_A$  die Reaktion desselben Rades bei geneigtem Zug,
- $\mu_A$  und  $\mu'_A$  die diesen Fällen entsprechenden Reibungswinkel der rollenden Reibung,
- $P'$  die geneigte Zugkraft,
- $\epsilon$  den Neigungswinkel der Zugkraft zur Waagerechten.

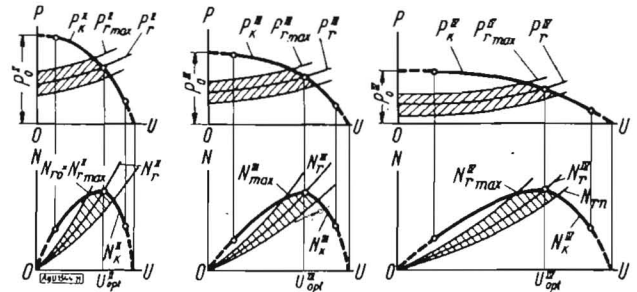


Bild 11

Ersetzt man den  $\sin \epsilon$  durch den Winkel  $\epsilon$  und setzt man

$$\operatorname{tg} \mu_A = \frac{e_A}{R_A} \text{ und } \operatorname{tg} \mu'_A = \frac{e'_A}{R_A},$$

hierin ist  $e_A$  der lineare Koeffizient der rollenden Reibung bei waagerechtem Zug:

$e'_A$  derselbe Koeffizient bei geneigtem Zug,  
 $R_A$  der Radius des vorderen Rades,

dann ist:

$$X_A - X'_A \approx Q_A \frac{l_A - l'_A}{R_A} + \epsilon P' \frac{e'_A}{R_A}.$$

Das zweite Glied der rechten Seite dieser Formel ist nicht gleich Null, wenn  $\epsilon = 0$  ist. Deshalb verringert der geneigte Zug immer den Widerstand der Kombine.

Das erste Glied der rechten Seite dieser Formel ist nicht gleich Null, wenn  $e'_A$  kleiner als  $e_A$  ist. Bei  $e'_A = e_A = \text{const}$  wird dieses Glied gleich Null. Die Erfahrung anderer Zweige der Technik zeigt, daß bei der Änderung der Reaktion  $Q$  innerhalb bestimmter Grenzen  $e = \text{const}$  ist.

Wenn aber  $Q$  und die Tiefe der Radspur  $\delta$  (Bild 8) sich in weiten Grenzen ändern, wie bei den Rädern der Landmaschinen,

so hört  $e$  auf, eine konstante Größe zu sein. Bei äußerst geringem  $Q$  und  $\delta = 0$  fällt die Richtung von  $Q$  mit dem senkrechten Durchmesser des Rades zusammen, d. h.  $e = 0$ . Deshalb geht das Schaubild der Änderungen von  $e$  in Abhängigkeit von  $Q$  durch den Koordinaten-Anfangspunkt und kann erst nachher eine waagerechte Teilstrecke 1

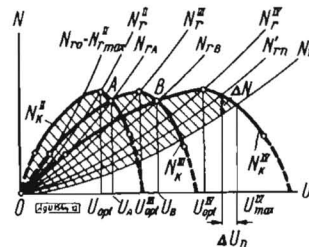


Bild 12

haben, entsprechend  $e = \text{const} 0$  (Bild 9).

Für die Räder der Landmaschinen sind solche Schaubilder noch nicht vorhanden. Aber sie könnten zur Lösung folgender drei Fragen beitragen:

1. für einen gegebenen Boden die äußerste, den Transport gestattende Reaktion des Rades  $Q_{\max}$  zu bestimmen;
2. die Standardabmessungen der Räder festzulegen;
3. den Rollwiderstand einiger Maschinen herabzusetzen, um so eine Treibstoffeinsparung zu erreichen.

Die Entwicklung der Elektroschlepper gibt Veranlassung, an einige allgemeine Anforderungen, die an die Schleppermotore gestellt werden, zu erinnern.

Um die Verbrennungsmotore besser auszunutzen, werden sie mit verschiedenen Reglern versehen. Aber mit diesen Reglern können nicht die gesamten Grundeigenschaften des Motors geändert werden. Die Arbeitsmöglichkeiten eines Motors werden erst ersichtlich nach einer vorläufigen Beurteilung der Schleppereigenschaften bei ausgeschaltetem Regler.

Bei guten Schleppermotoren wächst - ohne Regler - das Drehmoment beim Sinken der Drehzahlen. Entsprechend wächst auch die Zugkraft am Haken  $P_k$  mit sinkender linearer Geschwindigkeit bei der gegebenen Übersetzung. Ein Motor mit einer solchen „unregulierten Charakteristik“ wird auch bei zeitweiliger Überlastung des Schleppers stabil arbeiten.

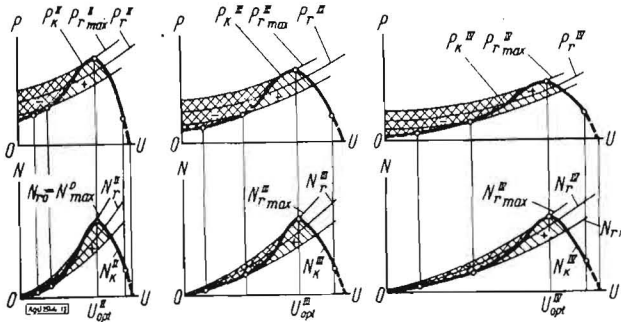


Bild 13

Gleichzeitig ist es auch nicht schlecht, wenn mit Verringerung der Drehzahlen und der linearen Geschwindigkeit im Rahmen der gegebenen Übersetzung das Drehmoment des Motors und die Zugkraft am Haken  $P_k$  immer langsamer anwachsen, indem sie sich einem Grenzwert nähern. Bei einer derartigen Form des Schaubildes  $P_k = f(v)$  erscheint das Maximum der Leistung am Haken  $N_{kmax}$  nach der Seite der großen Drehzahlen des Motors hin verschoben, was unbedingt vorteilhaft ist.

Außerdem ist es nicht schwierig, für ein solches Schaubild (Bild 10) die ideelle waagerechte Verlängerung bis zur Nullgeschwindigkeit anzugeben und auf diese Weise  $P_{kmax} = P_0$  bei  $v_0 = 0$  zu finden. Dann kann man der Gleichung  $P_k = f(v)$  folgende einfache Form geben:

$$P_k = P_0 - A v^\alpha$$

oder

$$P_0 - P_k \cdot P' = A v^\alpha.$$

Indem man die nacheinanderfolgenden Werte für  $P'$  und  $v$  in ein logarithmisches Koordinatennetz einträgt, verwandelt man diese Gleichung in ein geradliniges Schaubild und findet aus diesem die Werte der Koeffizienten  $A$  und  $\alpha$ . Hat man diese Koeffizienten  $A$  und  $\alpha$ , so ist es nicht schwierig, den Schnittpunkt der Linie  $P_k = f(v)$  mit der Abszissenachse zu finden. Aus der Gleichung

$$0 = P_0 - A v_{max}^\alpha$$

erhält man

$$v_{max} = \sqrt[\alpha]{\frac{P_0}{A}}.$$

Es ist ersichtlich, daß auch die Leistung am Haken  $N_k$  bei  $v_{max}$  gleich Null ist.

Die Geschwindigkeit  $V_{opt}$  der größten Leistung am Haken  $N_{kmax}$  ermittelt sich für die gegebene Übersetzung aus der Bedingung:

$$75 \frac{\alpha N_k}{d v} = 0 = P_0 (\alpha + 1) A v_{opt}^\alpha$$

und hieraus:

$$V_{opt} = \sqrt[\alpha]{\frac{P_0}{A (\alpha + 1)}}^3$$

Die Größe  $V_{opt}$  erscheint als grundlegende Berechnungsgeschwindigkeit der gegebenen Übersetzung.

3) Ausführlicher ist diese Frage im IV. Bande der Werke des Akad. W. P. Gorjatschkin behandelt worden.

Bei dieser Geschwindigkeit ist die Leistung am Haken gleich:

$$N_{kmax} = \frac{\alpha}{75} \sqrt[\alpha]{\frac{1}{A} \left( \frac{P_0}{\alpha + 1} \right)^{\alpha + 1}}$$

Die übrigen Punkte der Leistungsparabel kann man aus folgenden Gleichung bestimmen:

$$N_k = \frac{1}{75} (P_0 v - A v^{\alpha + 1})$$

Zur Kontrolle ist es zweckmäßig, die Differenz zu errechnen:

$$v_{max} - v_{opt} = v_{opt} \left( \sqrt[\alpha]{\alpha + 1} - 1 \right) = \sqrt[\alpha]{\frac{P_0}{A (\alpha + 1)}} \left( \sqrt[\alpha]{\alpha + 1} - 1 \right)$$

Wenn man nach diesen Gleichungen die „Charakteristik ohne Regler“  $P_k$  und  $N_k$  für drei Übersetzungen entwirft, so erhält man Kurven, die in Bild 11 dargestellt sind. Dort sind auch die Kurven des reaktiven Widerstandes  $P_r$  und der reaktiven Leistung  $N_r$  bei entsprechender Änderung des Bodenwiderstandes angegeben. Die gestrichelten Flächen begrenzen die Schwankungen des Widerstandes, die in den Grenzen einer Übersetzung zulässig sind.

Bild 12 erleichtert die Zusammenstellung dieser Charakteristiken der Leistungen  $N_k$  und  $N_r$  für drei Übersetzungen. Im Gebiet zwischen den äußersten Kurven der reaktiven Leistungen  $N_{r0}$  und  $N_{rn}$  wird der Motor stabil arbeiten. Wenn z. B. statt  $N_{rn}$  die reaktive Leistung  $N'_{rn}$  gefordert wird, so verringert der Motor seine Drehzahl, arbeitet in den Grenzen derselben Übersetzung und überwindet den anwachsenden Widerstand; denn bei Verringerung der Geschwindigkeit des Schleppers um die Größe  $\Delta v_n$ , erscheint beim Motor eine Leistungsreserve  $\Delta N$ , wie ebenfalls aus Bild 12 zu ersehen ist.

Ist jedoch noch größerer Widerstand zu überwinden, der eine reaktive Leistung  $N_{rB}$  hervorruft, so ist es zweckmäßig, auf die nächste niedrigere Geschwindigkeitsstufe überzugehen (z. B. von der vierten auf die dritte), bei einer reaktiven Leistung  $N_{rA}$  muß man sogar auf die niedrigste Arbeitsgeschwindigkeit übergehen.

Betrachten wir jetzt zum Vergleich die Charakteristik eines Schleppers mit einem Motor, dessen Drehmoment sich bei niedrigen Drehzahlen stark verringert. Es sind dieses die asynchronen Elektromotoren mit kurzgeschlossenem Läufer.

In Bild 13 sind die Schaulinien der Zugkraft am Haken  $P_k$  und der aktiven Hakenleistung  $N_k$  des Schleppers mit einem solchen Elektromotor dargestellt. Dort sind auch die Schaulinien des reaktiven Widerstandes  $P_r$  und der reaktiven Leistung  $N_r$  für jede Übersetzung angegeben. Zwischen den Schaulinien  $P_k$  und  $P_r$  und auch den Schaulinien  $N_k$  und  $N_r$  sind durch doppelte Schraffierung die Gebiete der Unstabilität gekennzeichnet, innerhalb derer der Elektromotor bei sinkender Drehzahl nicht mehr den angewachsenen Widerstand überwinden kann. Um in diesem Falle die normale Arbeit des Aggregats wiederherzustellen, muß man den Schlepper mit dem Pflug zurücksetzen, den Elektromotor hochtreiben und dann von neuem den Vorwärtsgang versuchen.

In Bild 14 sind die Schaulinien der Hakenleistung  $N_k$  desselben Schleppers mit einer rasch anwachsenden reaktiven Leistung  $N_r$  zusammengestellt. Hier erscheinen außer den durch Schraffierung kenntlich gemachten Gebieten der Unstabilität die Intervalle der Geschwindigkeiten  $\Delta v_B$  und  $\Delta v_A$ , bei denen auch ein Umschalten von der höheren Übersetzung auf die nächstniedere nicht hilft.

Wenn man die äußerste reaktive Leistung  $N_{rmax}$  stark verringert, dann kann man einen solchen Schlepper auch zum stabilen Arbeiten bringen. Hierzu müssen die Kurven  $N_r$  im Koordinatenanfangspunkt die nach unten ausgebauchten Kurven  $N_k$  berühren (Bild 15). Aber in diesem Falle wird der nicht ausgenutzte Leistungsüberschuß  $\Delta N = N_{kmax} - N_{rmax}$  unzulässig groß. Die vorliegenden Darlegungen haben den Zweck, darauf hinzuweisen, daß die Verbesserungen der neuen Schlepper von der übereinstimmenden Lösung der Fragen, die von den Schlepperspezialisten, den Motorspezialisten und den Landmaschinenspezialisten gestellt werden, abhängig sind.