

tungsbedingter Krümmenbasisverdichtungen erfordert für die Fruchtfolgerotation 20 % Dieselkraftstoff zusätzlich.

**Literatur**

[1] Steinkampf, H.; Sommer, C.; Zach, M.: Möglichkeiten der Energieeinsparung beim Schleppereinsatz, insbesondere bei der Bodenbearbeitung. Landbauforschung Völknerode (1979) Sonderheft 49, S. 42—50.  
 [2] Steinkampf, H.: Problematik der Leistungsumwandlung über die Triebäder bei leistungsstarken Schleppern. Grundlagen der Landtechnik 27 (1977) H. 5, S. 168—172.  
 [3] Kalk, W.-D.; Bosse, O.: Betrachtungen zu optimalen Geschwindigkeiten beim Pflügen. agrartechnik 31 (1981) H. 8, S. 373—376.  
 [4] Stieglitz, E.: Prüfbericht Nr. 24 Radtraktor ZT 303. Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim 1970.

[5] Krutikow, N. P., u. a.: Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1955.  
 [6] Steinkampf, H.: Ermittlung von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. Landbauforschung Völknerode (1975) Sonderheft 27.  
 [7] Steinkampf, H.: Probleme der effizienten Umwandlung der Motorleistung in Zugleistung bei leistungsstarken Schleppern. Grundlagen der Landtechnik 24 (1974) H. 1, S. 14—20.  
 [8] Steinkampf, H.; Zach, M.: Leistungsbedarf und Krümelungseffekt von gezogenen und zapfwellengetriebenen Geräten zur Saatbettbereitung. Landbauforschung Völknerode 24 (1974) H. 1, S. 55—62.  
 [9] Soucek, R.: Zu einigen Problemen von Theorie und Praxis der Bodenbearbeitung. agrartechnik 30 (1980) H. 2, S. 69—70.  
 [10] Untersuchung der bestehenden technologischen

Prozesse auf dem Gebiet der Mechanisierung der Pflanzenproduktion mit dem Ziel der Senkung des Energieverbrauchs. ECE-Bericht der UdSSR-Vertretung auf der Sitzung der Arbeitsgruppe Mechanisierung der Landwirtschaft, Genf 1980.  
 [11] Kunze, A., u. a.: Richtwerte und Normative für die Bodenbearbeitung nach Standortgruppen und Fruchtarten als Bestandteil komplexer Verfahren zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit. FZB Münchenberg, Forschungsbericht 1979 (unveröffentlicht).  
 [12] Kalk, W.-D.: Maschinen und Geräte für die Bodenbearbeitung in der DDR. agrartechnik 29 (1979) H. 6, S. 241—243.  
 [13] Hollmann, P.: Ökonomische Aspekte des Energieeinsatzes in der Pflanzenproduktion. Landbauforschung Völknerode (1979) Sonderheft 49, S. 56—67. A 3031

# Betrachtungen zu optimalen Geschwindigkeiten beim Pflügen

Dr.-Ing. W.-D. Kalk, KDT/Dr. agr. O. Bosse, KDT  
 Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Münchenberg der AdL der DDR

**Verwendete Formelzeichen**

B, b	m	Arbeitsbreite des Pfluges
$d_r$	dm <sup>3</sup> /ha	flächenbezogener Kraftstoffverbrauch
B, $F_x$	dm <sup>3</sup> /h N	stündlicher Kraftstoffverbrauch Zugkraft
k	N/m <sup>2</sup>	spezifischer Widerstand des Bodens gegen Deformierung
mg	N	Gewichtskraft des Pfluges
t	cm	Arbeitstiefe des Pfluges
v	m/s	Arbeitsgeschwindigkeit
W	ha/h	Flächenleistung
$\epsilon$	N · s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	Beiwert, abhängig von der Form des Streichblechs und von der Bodenart
$\rho$		Rollwiderstandsbeiwert
$\tau$	N/cm <sup>2</sup>	Schubfestigkeit

**1. Problemstellung**

Die Produktivitätssteigerung von Traktoren-Landmaschinen-Aggregaten für die Bodenbearbeitung steht im engen Zusammenhang mit der Steigerung der Motorleistung der Traktoren [1, 2]. Die Masse der Traktoren wächst nicht linear, sondern degressiv mit der Motorleistung [3], d. h. die Masse der Traktoren nimmt in geringerem Maß als die Motorleistung zu, und das Masse-Leistungs-Verhältnis wird kleiner. Bei optimalem Fahrwerkwirkungsgrad können auf trockener, fester Bodenoberfläche bei einem Schlupf von etwa 10 % nur 30 bis 40 % der Treibachslast als Zugkraft übertragen werden (Bild 1,  $\alpha = 0,35$ ). Daraus folgt, daß mit zunehmender Motorleistung die Zugfähigkeit der Traktoren ebenfalls nur degressiv ansteigt. Um bei zunehmender Motorleistung die Traktoren mit gezogenen Geräten im optimalen Bereich des Fahrwerkwirkungsgrades auszulasten, sind demzufolge höhere Arbeitsgeschwindigkeiten erforderlich (Bild 2). Bei einer Nutzung von 35 % der Treibachslast als Zugkraft ergibt sich für die Auslastung der effektiven Motorleistung des Traktors ZT 303

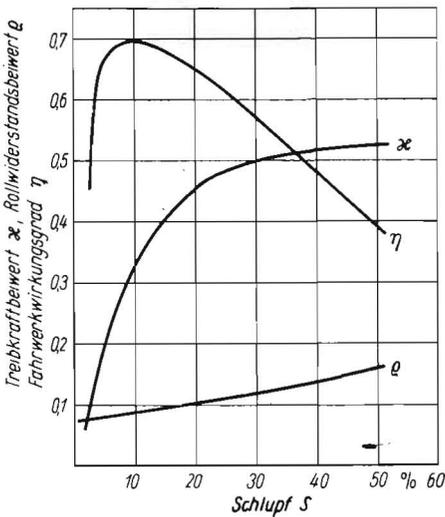


Bild 1. Betriebsverhalten eines Traktortreibradreifens auf trockener fester Bodenoberfläche (nach [4])

eine Arbeitsgeschwindigkeit von 5,4 km/h. Für den K-700 ohne Wasserfüllung der Reifen sind 7 km/h und für den T-150 K 7,8 km/h notwendig. Bei nassem, schmierenden Boden werden bei optimalem Fahrwerkwirkungsgrad nur 20 % der Treibachslast als Zugkraft übertragen [4]. Der ZT 303 müßte bei nasser Bodenoberfläche bereits 7,5 km/h fahren, um die installierte Motorleistung zu nutzen, beim K-700 wären 9,8 km/h erforderlich. Solche hohen Geschwindigkeiten sind jedoch wegen des quadratischen Einflusses der Geschwindigkeit auf den Zugkraftbedarf der Werkzeuge ungünstig [5]. Diese Aussage wird auch durch sowjetische Untersuchungen bestätigt, nach denen Arbeits-

geschwindigkeiten im Bereich von 9 bis 15 km/h beim Pflügen hinsichtlich des Zugkraftbedarfs und Kraftstoffverbrauchs nicht ökonomisch sind [6, 7]. Welche Arbeitsgeschwindigkeiten hinsichtlich der Flächenleistung und des Kraftstoffverbrauchs beim Pflügen optimal sind, kann anhand der Veröffentlichungen bisher nicht eindeutig beantwortet werden. Eine Aussage läßt sich finden, wenn mit einer experimentell-theoretischen Methode die Zugeigenschaften eines Traktors und der Zugkraftbedarf eines Geräts im Zusammenhang betrachtet werden.

**2. Methode zur Bestimmung der Flächenleistung und des flächenbezogenen Kraftstoffverbrauchs**

Der Zugkraftbedarf für einen Pflug beträgt nach Gorjatschkin [5]:

$$F_x = \rho (mg) + ktb + \epsilon t b v^2 \tag{1}$$

Durch Einführung der von der Arbeitsbreite b abhängigen Gewichtskraft des Pfluges (mg)/B anstelle der Gewichtskraft (mg) eines Pfluges mit der konstanten Arbeitsbreite B ergibt sich:

$$F_x = \rho (mg)b/B + t b (k + \epsilon v^2) \tag{2}$$

Der Klammerausdruck im zweiten Summanden kann nach Untersuchungen an der TU Dresden [8] für den Pflugkörper 30 Z ersetzt werden durch

$$k_n = 1,28 + 0,845\tau + 0,301 v^2 \tag{3}$$

Durch Einsetzen von Gl. (3) in Gl. (2) ergibt sich nach Umstellung eine Gleichung für die Arbeitsbreite:

$$b = \frac{F_x}{\rho (mg) / B + t (1,28 + 0,845\tau + 0,301 v^2)} \tag{4}$$

Die Flächenleistung beim Pflügen errechnet

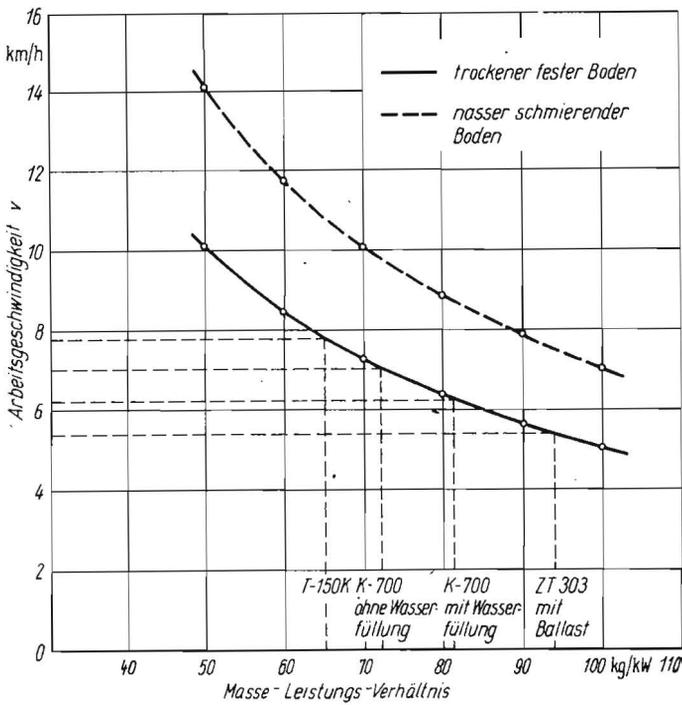


Bild 2 Arbeitsgeschwindigkeit, die die Auslastung des Traktors bei optimalem Fahrwerkwirkungsgrad ermöglicht, in Abhängigkeit vom Masse-Leistungs-Verhältnis (Getriebewirkungsgrad, Fahrwerkwirkungsgrad und Motorauslastungsgrad sind berücksichtigt)

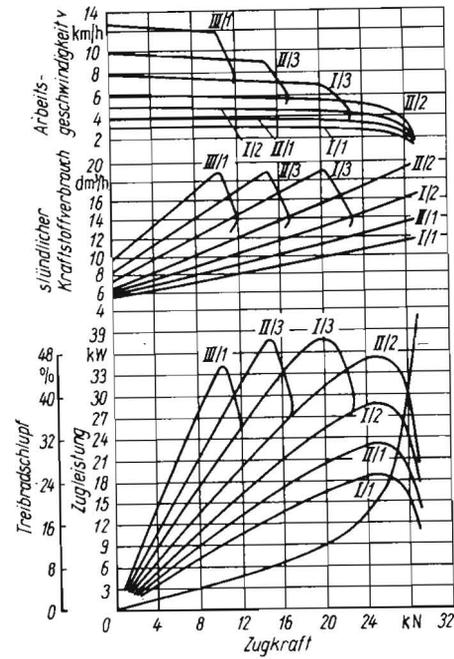


Bild 3 ► Zugcharakteristik des Traktors ZT 303 mit Ballast auf sandigem Lehmboden (nach [9])

sich unter Berücksichtigung der Maßeinheiten nach Gl. (5):

$$W = 0,0036 b v \quad (5)$$

Durch Einsetzen von Gl. (4) in Gl. (5) folgt:

$$W = \frac{0,0036 F_x v}{\rho (m g) / B + r (1,28 + 0,845 \tau + 0,301 v^2)} \quad (6)$$

Diese Gleichung gibt die Flächenleistung  $W$  als Funktion der Betriebsparameter Zugkraft  $F_x$ , Arbeitsgeschwindigkeit  $v$ , Rollwiderstandsbeiwert  $\rho$  und Arbeitstiefe  $t$ , der Konstruktionsparameter Arbeitsbreite  $B$ , Gewichtskraft des Pfluges ( $m g$ ) und Pflugkörperform (30 Z) sowie des Bodenparameters Schubfestigkeit  $\tau$  an.

Der je Hektar erforderliche Kraftstoffverbrauch  $b_f$  läßt sich als Quotient aus stündlichem Kraftstoffverbrauch  $B_s$  und Flächenleistung  $W$  ermitteln:

$$b_f = \frac{B_s}{W} \quad (7)$$

Zur Kennzeichnung der Zugeigenschaften eines Traktors dient in den Prüfberichten die Zugcharakteristik, die für Stopfflächen verschiedener Böden die Arbeitsgeschwindigkeit, den stündlichen Kraftstoffverbrauch und den Schlupf als Funktion der Zugkraft enthält. Mit Hilfe der in der Zugcharakteristik angegebenen Meßergebnisse lassen sich anhand der Gln. (6) und (7) die Flächenleistung und der flächenbezogene Kraftstoffverbrauch als Funktion der Arbeitsgeschwindigkeit sowie der Arbeitsbreite [Gl. (4)] darstellen.

Falls der spezifische Bodenwiderstand nach Gl. (3) für den untersuchten Pflugkörper unbekannt ist, kann auch die Gorjatschkinsche Formel ab Gl. (4) verwendet werden.

### 3. Anwendung der abgeleiteten Methode am Beispiel der Traktoren ZT 303 und ZT 300 mit dem Pflug B 201

Unter Ausnutzung der Zugcharakteristik des Traktors ZT 303 [9] für sandigen Lehmboden (Bild 3) und Tonboden sowie der Zugcharakteristik des ZT 300 [10] für sandigen Lehmboden

ergeben sich bei einer angenommenen Arbeitstiefe  $t = 25 \text{ cm}$  die im folgenden diskutierten Diagramme (Bilder 4 bis 6), wenn man folgende Konstanten berücksichtigt:

Gewichtskraft des Pfluges

$m g = 14,7 \text{ kN}$  (nach [11])

Pflugarbeitsbreite

$B = 175 \text{ cm}$  (nach [11])

Rollwiderstandsbeiwert

$\rho = 0,3$  für sandigen Lehmboden (nach [5])

$\rho = 0,2$  für Tonboden (nach [5])

Schubfestigkeit

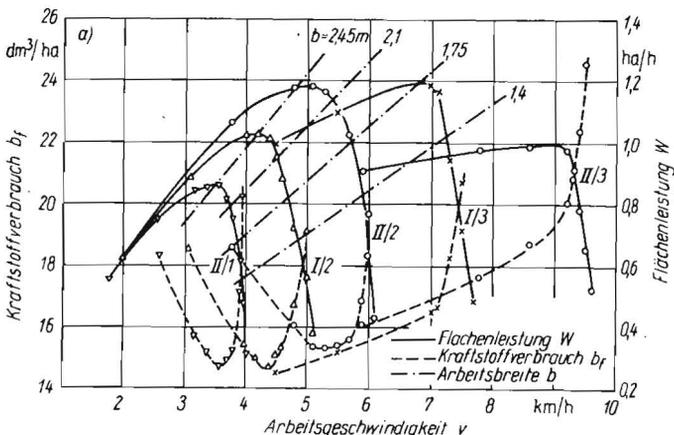
$\tau = 1,59 \text{ N/cm}^2$  für sandigen Lehmboden

$\tau = 7,74 \text{ N/cm}^2$  für Tonboden.

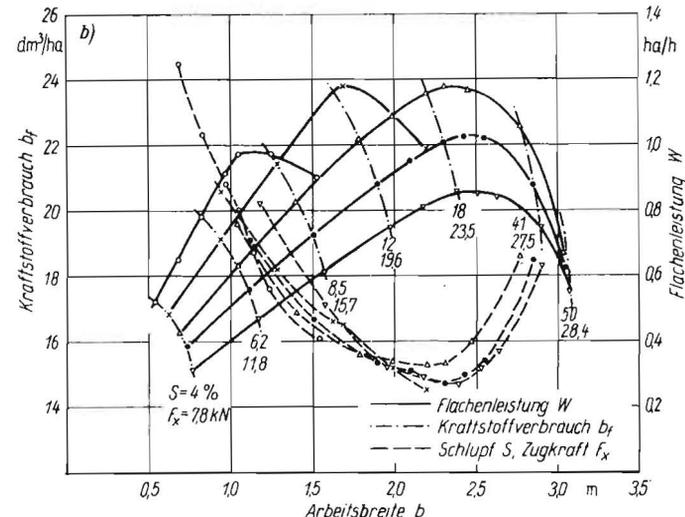
Die Schubfestigkeitswerte wurden auf Stopfflächen der genannten Böden mit einem in der TU Dresden entwickelten Schubfestigkeitsmeßgerät [12] ermittelt, allerdings nicht bei gleichen Bedingungen wie die Zugcharakteristiken.

Für den Traktor ZT 303 läßt sich beim Einsatz auf ebenen Flächen mit sandigem Lehmboden (Bild 4a) ableiten: Der optimale Geschwindigkeitsbereich liegt beim Pflügen hinsichtlich des

Bild 4. Kraftstoffverbrauch und Flächenleistung des Traktors ZT 303 beim Pflügen auf sandigem Lehmboden a) in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit



b) in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite



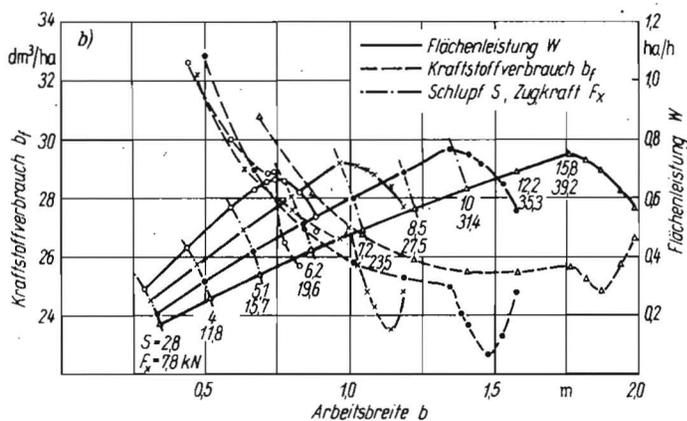
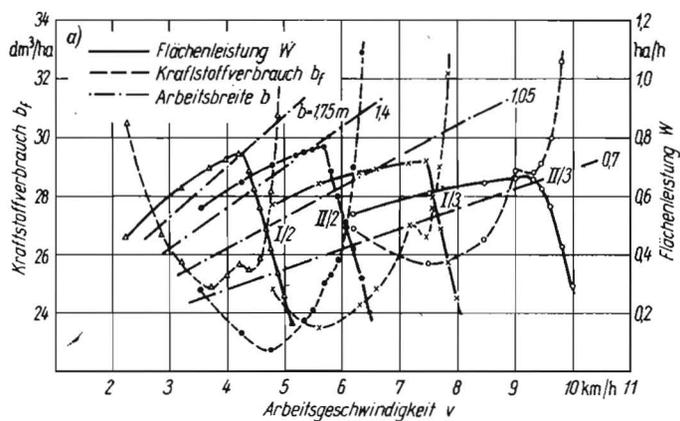


Bild 5. Kraftstoffverbrauch und Flächenleistung des Traktors ZT 303 beim Pflügen auf Tonboden  
a) in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit

b) in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite

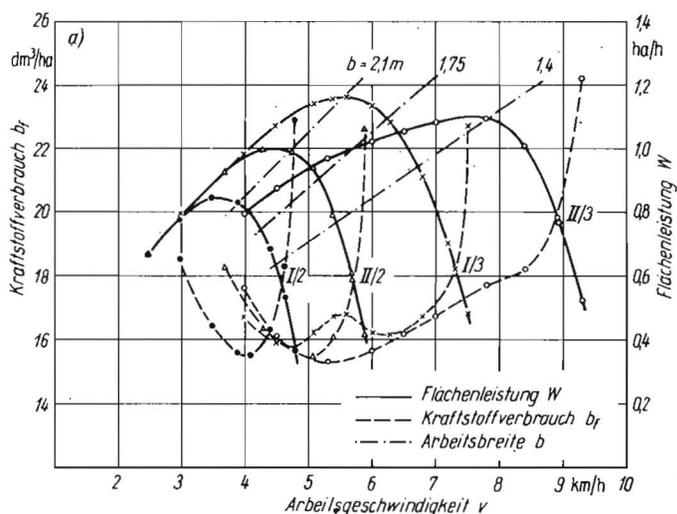
Kraftstoffverbrauchs je Hektar und der maximalen Flächenleistung relativ niedrig. Maximale Flächenleistungen werden bei Arbeitsgeschwindigkeiten von 5 bis 7 km/h erreicht. Der Kraftstoffverbrauch je Hektar nimmt von 4,5 km/h an kontinuierlich mit der Arbeitsgeschwindigkeit zu (im Beispiel zwischen 4,5 und 9 km/h um 32%). Einen optimalen Arbeitspunkt mit hoher Flächenleistung und relativ niedrigem Kraftstoffverbrauch gibt es bei etwa 5,2 km/h. Dieser Punkt stimmt auch recht gut mit der Geschwindigkeit bei optimalem Fahrwerkwirkungsgrad überein (Bild 2). Im optimalen Arbeitspunkt sind bei ebenem Gelände auf trockener Stoppelfläche Pflugarbeitsbreiten von 2,3 m notwendig, um den Motor auszulasten. Da der Pflug B 201 mit maximal 1,75 m Arbeitsbreite eingesetzt werden kann, ergibt sich der günstigste Arbeitspunkt bei 6,8 km/h, allerdings bereits mit einem um 1 dm<sup>3</sup>/ha ( $\approx 6,5\%$ ) höheren DK-Verbrauch. Bei der Saatfurche ist es besser, die optimale Arbeitsgeschwindigkeit von 5,2 km/h einzuhalten und den Motor durch Kombination des Pfluges mit einem Saatbettbereitungsgerät auszulasten. Stellt man Kraftstoffverbrauch und Flächenleistung als Funktion der Arbeitsbreite dar, wird die Aussage anschaulicher, daß sich ein minimaler Kraftstoffverbrauch bei relativ großer Arbeitsbreite ergibt (Bild 4b). Maximale Flächenleistung und minimaler Kraftstoffver-

brauch liegen im Vergleich zu Bild 1 bei relativ großem Schlupf ( $S = 18\%$ ). Daraus läßt sich ableiten, daß unter den Feldbedingungen während der Aufnahme der Zugcharakteristik der optimale Fahrwerkwirkungsgrad bei einem Schlupf von 18% erreicht wurde. Setzt man den ZT 303 auf Tonboden ein, bleibt die Flächenleistung im Geschwindigkeitsbereich zwischen 4 und 7,5 km/h relativ konstant (Bild 5a), wobei die Arbeitsbreite in einem weiten Bereich verändert werden muß. Es gibt ein Minimum des Kraftstoffverbrauchs bei etwa 4,7 km/h. Oberhalb und unterhalb dieser Geschwindigkeit nimmt der Kraftstoffverbrauch zu. Wegen der nur in Stufen veränderlichen Arbeitsbreite liegt der günstigste Arbeitspunkt im analysierten Beispiel bei 5,4 km/h (Arbeitsbreite 1,4 m). Ein anderer möglicher Arbeitspunkt mit einer Arbeitsbreite von 1,05 m liegt bei 6,6 km/h, allerdings mit einem zusätzlichen DK-Verbrauch von 1 dm<sup>3</sup>/ha. Die Flächenleistung ist gegenüber dem Einsatz auf sandigem Lehmboden (Bild 4a) wesentlich geringer, der flächenbezogene Kraftstoffverbrauch erheblich höher. In Abhängigkeit von der Arbeitsbreite ergeben sich hinsichtlich des flächenbezogenen Kraftstoffverbrauchs zwei nutzbare Minima (Bild 5b), wobei wegen der gestuften Arbeitsbreite nur die anhand des Bildes 5a erläuterten Arbeitspunkte möglich sind. Da bei einer Arbeitsgeschwindig-

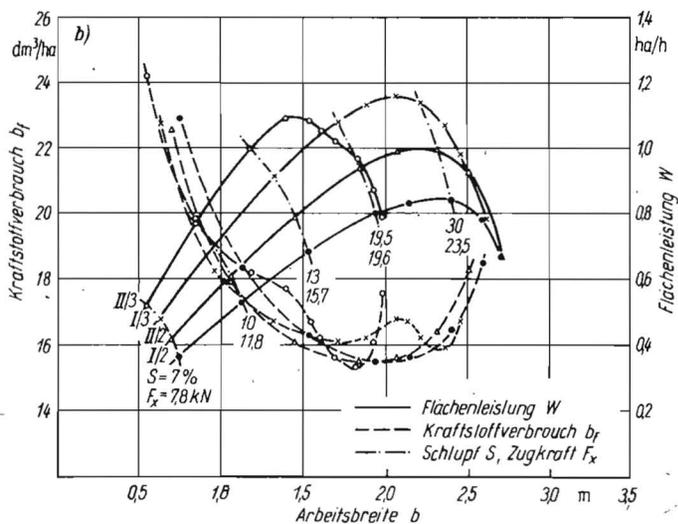
keit von 6,6 km/h der DK-Verbrauch höher liegt, ist die Nutzung des Arbeitspunktes bei 5,4 km/h und 1,4 m Arbeitsbreite günstiger. Der ZT 300 hat aufgrund seiner Getriebeauslegung nur ein Maximum in der Flächenleistung bei 5,5 km/h (Bild 6a). Dieses Maximum fällt aber nicht mit einem Minimum für den Kraftstoffverbrauch zusammen. Der günstigste Arbeitspunkt hinsichtlich Flächenleistung und Kraftstoffverbrauch liegt bei 6,2 km/h (Arbeitsbreite 1,75 m). Auch beim ZT 300 steigt der Kraftstoffverbrauch mit zunehmender Geschwindigkeit an. Der Schlupf im günstigsten Arbeitspunkt liegt bei etwa 20% (Bild 6b). Gegenüber dem allradgetriebenen ZT 303 sind mit dem hinterradgetriebenen ZT 300 nur geringere Pflugarbeitsbreiten möglich (Bilder 4 und 6). Im DK-Verbrauch je Hektar liegt der ZT 303 auf sandigem Lehmboden, wenn Pflugarbeitsbreiten von 2,1 m genutzt werden bzw. mit einem Pflug geringerer Arbeitsbreite ein Saatbettbereitungsgerät kombiniert wird, etwas günstiger als der ZT 300. Diese Aussagen unterliegen folgenden Einschränkungen:

- Die vorliegenden Meßergebnisse wurden anhand theoretischer Betrachtungen mit neuer Zielstellung ausgewertet. Experimentelle Untersuchungen zum Nachweis der ausgewiesenen optimalen Bereiche hinsichtlich geringen Kraftstoffverbrauchs sind noch notwendig.

Bild 6. Kraftstoffverbrauch und Flächenleistung des Traktors ZT 300 beim Pflügen auf sandigem Lehmboden  
a) in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit



b) in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite



— Die absoluten Größen sind mit Einschränkung anwendbar, da die Schubfestigkeitswerte zwar auf gleicher Bodenart, aber nicht unter den gleichen Bedingungen wie die Zugcharakteristik aufgenommen worden sind.

Unabhängig von diesen Einschränkungen ermöglicht die vorgestellte Methode, unter Nutzung von Meßwerten der Zugcharakteristik günstige Arbeitspunkte für das Pflügen mit Traktoren hinsichtlich hoher Flächenleistung und niedrigem Kraftstoffverbrauch zu finden.

#### 4. Zusammenfassung

Betrachtet man die Meßergebnisse der Zugcharakteristik eines Traktors und den theoretischen Zugkraftbedarf eines Pfluges nach Gorjatschkin [5] im Zusammenhang, lassen sich die Flächenleistung und der flächenbezogene Kraftstoffverbrauch als Funktion der Arbeitsgeschwindigkeit sowie der Arbeitsbreite darstellen. Die Anwendung der abgeleiteten Methode am Beispiel der Traktoren ZT 303 und ZT 300 beim Einsatz mit dem Pflug B 201 läßt folgende Aussagen zu:

— Der optimale Geschwindigkeitsbereich dieser Traktoren mit Pflug liegt hinsichtlich

des Kraftstoffverbrauchs je Hektar und der maximalen Flächenleistung relativ niedrig.

- Maximale Flächenleistungen werden bei Arbeitsgeschwindigkeiten von 5 bis 7 km/h erreicht.
- Der flächenbezogene Kraftstoffverbrauch nimmt beim ZT 303 ab 4,5 km/h, beim ZT 300 ab 6 km/h kontinuierlich mit der Arbeitsgeschwindigkeit zu.
- Die ermittelten optimalen Arbeitspunkte mit hoher Flächenleistung und niedrigem Kraftstoffverbrauch (z. B. 5,2 km/h beim ZT 303) lassen sich wegen der nur in Stufen veränderlichen Arbeitsbreite des Pfluges nicht immer erreichen.

#### Literatur

- [1] Blumenthal, R.: Gestaltung, Auslastung und Entwicklungstendenzen bei schweren Traktoren für die Bodenbearbeitung. *agrartechnik* 28 (1978) H. 10, S. 445—446.
- [2] Krupp, G.: Über die weitere Entwicklung der leistungsstärksten Traktoren. *agrartechnik* 29 (1979) H. 6, 243—246.
- [3] Libcis, S. E.; Musin, A. R.: Ausländische Landwirtschaftstraktoren mit hoher Motorleistung. *Traktory i sel'chozmaš.* 48 (1978) H. 1, S. 42—45.
- [4] Steinkampf, H.: Ermittlung von Reifenkenn-

linien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. *Landbauforschung Völknerode* (1975) Sonderheft 27.

- [5] Krutikow, N. P., u. a.: Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1955.
- [6] Kirguchin, W. G.: Entwicklungsperspektiven bei Universalpflügen. *Traktory i sel'chozmaš.* 47 (1977) H. 1, S. 22—25.
- [7] Orlov, N. M.; Safronov, V. S.; Trepnenkov, I. I.: Pflügetraktoren und dazugehörige Landmaschinen im X. Fünfjahrplan. *agrartechnik* 27 (1977) H. 10, S. 452—453.
- [8] Ganzuch, U.; Soucek, R.; Bernhardt, G.: Experimentell-theoretische Methode zum Bestimmen des spezifischen Bodenwiderstands von Pflugkörpern bei beliebigem Bodenzustand. *agrartechnik* 28 (1978) H. 9, S. 388—390.
- [9] Stieglitz, E.: Prüfbericht Nr. 24 zum Radtraktor ZT 303. Potsdam-Bornim: Zentrale Prüfstelle für Landtechnik 1970.
- [10] Stieglitz, E.: Prüfbericht Nr. 16 zum Radtraktor ZT 300. Potsdam-Bornim: Zentrale Prüfstelle für Landtechnik 1967.
- [11] Schmid, H.: Prüfbericht Nr. 510 zum Aufsattel-Beetpflug B 201. Potsdam-Bornim: Zentrale Prüfstelle für Landtechnik 1967.
- [12] Bernhardt, G.; Richter, R.: Meßgerät zum Bestimmen der Schubfestigkeit. *agrartechnik* 28 (1978) H. 9, S. 390—393. A 3017



Soeben erschienen in 7., stark bearbeiteter Auflage:

## VEM-Handbuch Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung in Niederspannungsanlagen

Von Dipl.-Ing. Rolf Müller. 388 Seiten, 294 Bilder, 31 Tafeln, Kunstleder, 26,— M. Bestell-Nr. 552 936 2

Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung dienen dem Schutz von Menschen und Nutztieren vor den Gefahren einer elektrischen Durchströmung; sie haben daher hervorragende Bedeutung im Hinblick auf das sichere Betreiben elektrotechnischer Anlagen.

In der jetzt vorliegenden Auflage sind die jüngsten Bestimmungen der staatlichen Standards, internationale Empfehlungen sowie neue Erkenntnisse und Weiterentwicklungen berücksichtigt. Aktualisiert, in seiner Aussage verbessert und z.T. wesentlich erweitert wurde auch der Abschnitt über Schutzmaßnahmen in Räumen der Tierproduktion.



Auslieferung durch den Fachbuchhandel

**VEB VERLAG TECHNIK BERLIN**