

Diese Abweichungen können aufgrund ihrer Größenordnung vernachlässigt werden, wodurch bestätigt wird, daß die Profilmessung die Anforderungen beim Bestimmen der Kennwerte des Bodenaufbruchs erfüllt.

### Zusammenfassung

Beim Einsatz von Werkzeugen zur Bodenlockerung wird der Boden in den Bruchzustand überführt. Der Bruchzustand ist durch den entstehenden Bodenaufbruch und die sich bildenden Bruchkörper gekennzeichnet.

Zur experimentellen Bestimmung des Bodenaufbruchs wurde eine Profilmessung entwickelt. Der Aufbau und die

Wirkungsweise der Profilmessung sowie das Gewinnen und Aufbereiten der Kennwerte zum Charakterisieren des Bodenaufbruchs aus dem Profilmessschrieb werden beschrieben. Abschließend werden die Erfahrungen bei der Anwendung der Profilmessung bei den Untersuchungen unter Labor- und Praxisbedingungen /1/ dargelegt.

### Literatur

- /1/ Plötner, K.: Untersuchungen über den Bodenwiderstand und den Bodenaufbruch beim Einsatz von Lockerungswerkzeugen. Dissertation TU Dresden, 1970 (vertrauliche Dienstsache)  
 /2/ Feuerlein, W.: Die Pflugarbeit und ihre Beurteilung. Grundlagen der Landtechnik (1960) H. 12, S. 44–50 A 8790

## Über den Einfluß der Pflugkörperform auf den Zugwiderstand

Dipl.-Ing. H. Sommerburg, KDT\*

Ein Beitrag zur höheren Effektivität der landwirtschaftlichen Produktion ist die rationelle Pflugarbeit. Die Pflugarbeit erfolgt stets unter technischen, technologischen, arbeitsorganisatorischen, ökonomischen und bodenseitigen Bedingungen — im folgenden Einsatzparameter genannt. Man unterscheidet die beeinflussbaren Einsatzparameter, wie Pflugkörperform, Motormenleistung, jährliche Einsatzstunden u. a., von den unbeeinflussbaren (Bodenart, Stundenlohn, Kraftstoffpreis), deren Werte entsprechend den Bedingungen der landwirtschaftlichen Praxis festliegen. Ein Verändern der Werte der beeinflussbaren Einsatzparameter — beispielsweise eine veränderte Pflugkörperform — ist nur dann sinnvoll, wenn dadurch eine höhere Effektivität erzielt wird. Wichtige Effektivitätskriterien der Pflugarbeit sind z. B. die Arbeitsproduktivität in ha/AKh, die Verfahrenskosten in M/ha, die Arbeitsqualität und die Arbeitsbedingungen.

Eine höhere Effektivität der Pflugarbeit ist dann erreicht, wenn die Werte der beeinflussbaren Einsatzparameter innerhalb der vom Stand der Wissenschaft und Technik gesetzten Grenzen so gewählt worden sind, daß eine höhere Arbeitsproduktivität erreicht wird, ohne daß die Verfahrenskosten, die Arbeitsqualität und die Arbeitsbedingungen vorgegebene Grenzen überschreiten. Um diese optimalen Werte finden zu können, muß bekannt sein, welche Einsatzparameter auf welches Effektivitätskriterium Einfluß ausüben und welchen Charakter und Grad diese Einflüsse besitzen, d. h. durch welches mathematisches Modell sie ausgedrückt werden können.

### 1. Zugwiderstand und Einsatzparameter

Der Zugwiderstand des Pflugs ist eine für die Effektivität der Pflugarbeit entscheidende Komponente. Die Effektivität erhöht sich, wenn es gelingt, ihn im Interesse einer größeren Arbeitsproduktivität zu senken und dabei innerhalb der durch die anderen Effektivitätskriterien gesetzten Grenzen zu bleiben. Um eine technische Lösung z. B. in Gestalt einer geeigneten Pflugkörperform finden zu können, werden quantitative Aussagen über die anteiligen Einflüsse der entscheidenden Parameter der Pflugkörperform, des Bodens und anderer Einsatzparameter auf den Zugwiderstand benötigt. Mit Hilfe solcher Aussagen lassen sich die Grenzen der durch Formänderung erreichbaren Zugwiderstandssenkung einschätzen, wenn dabei die vom Stand der Fertigungstechnik abhängigen Grenzen der realisierbaren Formen des Streichblech-Pflugkörpers beachtet werden, und lassen sich notfalls

Aufgaben zur weiteren Zugwiderstandssenkung durch andere Werkzeugmaterialien, Wirkprinzipien o. a. begründen.

Die Ergebnisse bisher durchgeführter Untersuchungen ermöglichen noch keine quantitative Beschreibung der anteiligen Einflüsse. So sagt Gorjatschkin /1/ nur aus, daß die Koeffizienten  $f$ ,  $k$  und  $\varepsilon$  der von ihm entwickelten „rationalen Formel der Zugkraft“

$$Z = f \cdot G + k \cdot B \cdot T + \varepsilon \cdot B \cdot T \cdot v^2$$

von der Bodenart, der Bodenfeuchtigkeit und der Bauart des Pflugs abhängen und  $\varepsilon$  außerdem von der Pflugkörperform, dem Werkstoff der Arbeitsorgane und den Abmessungen des Erdbalkens bestimmt wird. Für die Koeffizienten gibt er Wertebereiche an.

Kirjuchin /2/ schreibt: „Da  $B$ ,  $T$  und  $v$  nur die Betriebsbedingungen bestimmen, muß der Wert des Koeffizienten  $\varepsilon$  die Bodeneigenschaften und die wichtigsten Parameter des Pflugkörpers berücksichtigen.“ Er berechnet den Koeffizienten  $\varepsilon$  anhand experimentell gewonnener Bewegungsbahnen des Erdbalkens auf einer Pflugkörper-Arbeitsfläche mit geraden, horizontalen Mantellinien.

Mehrere Autoren /3/ /4/ /5/ /6/ nennen Gleichungen für die Abhängigkeit des Koeffizienten  $\varepsilon$  von einer vereinfacht als zweiflächiger Keil angenommenen Werkzeugform.

Nikiforow /7/ berichtet über die Ergebnisse mehrjähriger Untersuchungen, wonach für Schnelppflugkörper ein kleinerer Winkel des Streichblechs zur Arbeitsrichtung und des Scharns zur Furchensohle und somit eine langgezogenere Form charakteristisch sind.

Nach Söhne /8/ /9/ /10/ ist der Seitenrichtungswinkel  $\varphi$  am furchenseitigen Ende der in 160 bis 200 mm Höhe gelegenen horizontalen Streichblechformlinien (bei 25 cm Arbeitstiefe) für die Größe des dynamischen Zugwiderstandes

$$\varepsilon \cdot B \cdot T \cdot v^2$$

maßgebend.

Er gibt dafür die Beziehung

$$\varepsilon = c (1 - \cos \varphi)$$

an, nennt aber keine quantitative Abhängigkeit des Koeffizienten  $c$  von Bodenparametern. Bezüglich des statischen Zugwiderstandes

$$f \cdot G + k \cdot B \cdot T$$

sagt er aus, daß Abhängigkeiten von Formparametern des Pflugkörpers nicht gefunden werden konnten.

Werschinin /11/ berichtet über Versuche auf lehmhaltigen, podsoligen Böden, bei denen ein Zusammenhang zwischen Zugwiderstand und Bodenfeuchtigkeit festgestellt wurde.

\* Institut für Landmaschinentechnik Leipzig im VEB Weimar-Kombinat Landmaschinen (amt. Direktor: Dipl.-Ing. J. Gieske)

Von diesem Erkenntnisstand ausgehend, beauftragte der VEB Bodenbearbeitungsgeräte Leipzig des VEB Weimar-Kombinat das Institut für Landmaschinentechnik, Untersuchungen durchzuführen mit dem Ziel, Parameter der Pflugkörperform, des Bodens u. a. zu finden, die den Zugwiderstand des Streichblechkörpers beeinflussen, und die anteiligen Einflüsse dieser Einsatzparameter auf den Zugwiderstand quantitativ zu formulieren.

Zu diesem Zweck wurden der Zugwiderstand unterschiedlicher Pflugkörperformen im Feldeinsatz auf verschiedenen Böden gemessen und die Meßergebnisse statistisch ausgewertet.

## 2. Messungen im Feldeinsatz

Es sollten die anteiligen Einflüsse folgender Einsatzparameter auf den Zugwiderstand ermittelt werden:

- Arbeitsgeschwindigkeit
- Pflugkörperform als Komplex verschiedener Formparameter
- Arbeitstiefe des Pflugkörpers
- Vorarbeitswerkzeugform
- Bodenbedingungen als Komplex verschiedener Parameter der Bodenart und des Bodenzustands.

Zu diesem Zweck mußten die Einsatzparameter bei den Messungen variieren. Für die Arbeitsgeschwindigkeit  $v$  wurden bis zu 5 Geschwindigkeitsstufen (je nach Bodenbedingung) vorgegeben ( $\approx 2,0$  bis  $15,0$  km/h).

Als Varianten der Arbeitstiefe  $T$  galten die versuchsbedingt von der Nennarbeitstiefe abweichenden tatsächlichen Tiefenwerte.

Um den Einfluß des Vorarbeitswerkzeugs auf den Zugwiderstand zu klären, arbeiteten einige Pflugkörper-Varianten sowohl mit als auch ohne Vorarbeitswerkzeug. Die Form des Vorarbeitswerkzeugs, seine Arbeitstiefe und sein Abstand vom Pflugkörper wurden entsprechend den Bodenbedingungen der jeweiligen Pflugkörperform individuell angepaßt. Der Zugwiderstand des Vorarbeitswerkzeugs war dann eine unvermeidbare Folge.

Die Messungen erfolgten auf 16 verschiedenen Böden. Ihrer Charakterisierung dienten folgende Bodenparameter:

GG	Grobsandgehalt	} Korngroßenzusammensetzung
GF	Feinsandgehalt	
GS	Schluffgehalt	
GT	Tongehalt	
GA	Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen, wobei $GA = GS + GT$	
GW	Wassergehalt	
GB	Dichte in $g/cm^3$	

Es wurden 11 nach einem einheitlichen Verfahren konstruierte und 2 empirisch entstandene Streichblechpflugkörperformen eingesetzt, die für das Pflügen in der Ebene und mit einer Konstruktions-Arbeitsbreite von  $bk_N = 35$  cm ausgelegt worden waren. Ihrer Charakterisierung dienten u. a. folgende Formparameter (Bild 1):

- $\Phi_4$  Seitenrichtungswinkel am furchenseitigen Ende der 250 mm (Nennarbeitstiefe) über der Scharspitze befindlichen horizontalen Streichblechformlinie
- $\bar{D}_0$  Mittelwert der in die Vorderansicht des Pflugkörpers projizierten Abstände in mm, die sich auf der 250 mm über der Scharspitze liegenden horizontalen Formlinie zwischen den  $\Delta L = 50$  mm voneinander entfernt und senkrecht zur Arbeitsrichtung liegenden Vertikal-schnitten befinden
- $\bar{D}$  Mittelwert der entsprechenden Abstände in mm, die sich auf den jeweils 20 mm voneinander entfernt liegenden horizontalen Formlinien befinden
- $\Delta_3$  Scharschnittwinkel (bei verwundenen Scharen: mittlerer Schnittwinkel)

Den Formparameter  $\bar{D}_0$  bzw.  $\bar{D}$  kann man auch bezeichnen als das mit einem Faktor ( $\Delta L = 50$  mm) multiplizierte Mittel der Tangenswerte der Seitenrichtungswinkel aller Formlinien-Abstände.

Die Messungen erfolgten stets in einer 100 m langen Meßstrecke. Die Arbeitsbreite  $B$  und die Arbeitstiefe  $T$  wurden manuell mit einer Meßlatte (20 Einzelwerte je Meßstreckendurchfahrt) gemessen. Die Zugkraft  $Z$  des Traktors übertrug ein hydraulischer Zugkraftgeber auf den Meßschrieb. Die mittlere Arbeitsgeschwindigkeit jeder Meßstreckendurchfahrt wurde aus der mit der Stoppuhr gemessenen Zeit und der Meßstreckenlänge berechnet. Als Meßpflug diente ein dreifurchig ausgerüsteter Anhängereepflug B 187/1. Für alle Messungen betrug die Arbeitsbreite des Pflugkörpers (Abstand am Pflugrahmen) einheitlich  $bk_n = 35$  cm.

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit

Für die Analyse des Einflusses der Arbeitsgeschwindigkeit auf den Zugwiderstand wurde die „rationale Formel der Zugkraft“ von Gorjatschkin /1/

$$Z = f \cdot G + k \cdot B \cdot T + \epsilon \cdot B \cdot T \cdot v^2 \quad (1)$$

als geeigneter Typ der Regressionsgleichung vorausgesetzt. Um trotz der versuchsbedingt unterschiedlichen Arbeitstiefen und Arbeitsbreiten der einzelnen Meßstreckendurchfahrten die Meßergebnisse bezüglich des Zugwiderstands vergleichen zu können, mußte dieser auf  $1 \text{ dm}^2$  Bearbeitungsquerschnitt bezogen werden:

$$\frac{Z}{B \cdot T} = \frac{f \cdot G}{B \cdot T} + k + \epsilon \cdot v^2 \quad (2)$$

Daraus folgt

$$ZW = k_{ZW} + \epsilon \cdot v^2, \quad (3)$$

wenn man

$$\frac{Z}{B \cdot T} = ZW \quad \text{und} \quad \frac{f \cdot G}{B \cdot T} + k = k_{ZW}$$

einsetzt.

$ZW$  spezifischer, auf  $1 \text{ dm}^2$  Bearbeitungsquerschnitt bezogener Zugwiderstand des Pflugs in  $\text{kp/dm}^2$

$k_{ZW}$  statischer spezifischer Zugwiderstand in  $\text{kp/dm}^2$

$\epsilon$  Koeffizient des dynamischen Zugwiderstands in  $\text{kp s}^2/\text{dm}^2 \text{ m}^2$

$v$  Arbeitsgeschwindigkeit in  $\text{m/s}$

Für jede bei den Messungen realisierte Kombination  $i$  von Boden-Variante und Pflugkörper-Variante wurden die Werte  $k_{ZW i}$  und  $\epsilon_i$  nach der Methode der kleinsten Quadratsumme berechnet, d. h., Gl. (3) wurde den Meßergebnissen optimal angepaßt.

### 3.2. Einfluß des Vorarbeitswerkzeugs

Um zu klären, ob die eingesetzten Vorarbeitswerkzeuge einen wesentlichen Einfluß auf den Zugwiderstand ausübten, wurden die Werte  $a_{ZW i}$  und  $\epsilon_i$  der Einsatzvarianten „Pflugkörper ohne Vorarbeitswerkzeug“ denen der Einsatzvarianten „Pflugkörper mit Vorarbeitswerkzeug“ gegenübergestellt. Mit Hilfe einer Varianzanalyse /12/ konnte mit Irrtumswahrscheinlichkeiten bis maximal 5 Prozent kein wesentlicher Einfluß der Vorarbeitswerkzeuge auf die  $k_{ZW i}$  und  $\epsilon_i$  nachgewiesen werden, d. h., es konnte deren Einfluß als zufällig angenommen werden.

### 3.3. Einflüsse der Einsatzparameter auf die Koeffizienten der „rationalen Formel“

Mit der „rationalen Formel“ (1) von Gorjatschkin /1/ ist ein allgemeines mathematisches Modell der quantitativen Beziehungen zwischen dem Zugwiderstand und den entschei-

denden Einsatzparametern vorgegeben, denn in den Koeffizienten  $f$ ,  $k$  und  $\epsilon$  sind alle die Bedingungen zusammengefaßt, die außer den durch  $G$ ,  $B$ ,  $T$  und  $\nu$  ausgedrückten noch Einfluß üben. Davon ausgehend war zu klären, von welchen Einsatzparametern der Koeffizient  $k_{ZW}$  bzw.  $\epsilon$  abhängt. Dabei wurden der Koeffizient  $k_{ZW}$  bzw.  $\epsilon$  als abhängige Zufallsvariable  $K_{ZW}$  bzw.  $E$ , die verschiedenen Einsatzparameter als unabhängige Zufallsvariable  $T$ ,  $Q$  usw. und die vorgegebenen, berechneten bzw. gemessenen Werte als ihre Realisierungen  $k_{ZW i}$ ,  $\epsilon_i$ ,  $t_i$ ,  $\omega_i$  usw. aufgefaßt.

Voraussetzung war, daß die Variable  $K_{ZW}$  bzw.  $E$  von mehr als einem Einsatzparameter linear abhängt. Die Analyse bestand aus der Schätzung der partiellen Regressionskoeffizienten der allgemeinen Gleichung

$$Y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_p \cdot x_p \quad (4)$$

und ihrer statistischen Prüfung /12/. Für  $x_1, \dots, x_p$  wurden nacheinander verschiedene Gruppen von Einsatzparametern gewählt, bis bei einem Minimum der Restvarianz die einzelnen Regressionskoeffizienten mit einer maximalen statistischen Sicherheit ( $\geq 95\%$ ) als von Null und als untereinander verschieden nachgewiesen werden konnten. Die Grundlage bildeten die Ergebnisse sowohl der Messungen mit Vorarbeitswerkzeug als auch der ohne Vorarbeitswerkzeug. Für  $K_{ZW}$  ergab sich

$$K_{ZW} = 173,500 + 77,452 \cdot ga - 87,614 \cdot gb \quad (5)$$

Standardfehler  $s = 11,311 \text{ kp/dm}^2$

Variationskoeffizient  $\nu = 20,92\%$

$E$  folgt der Gleichung

$$E = 10,012 + 0,064 \cdot \omega + 23,018 \cdot g\omega - 7,581 \cdot gb \quad (6)$$

mit  $s = 0,609 \text{ kp s}^2/\text{dm}^2 \text{ m}^2$  und  $\nu = 29,22\%$

Das Ergebnis dieser Analyse zeigt, daß  $E$  sowohl vom Boden ( $GW$ ,  $GB$ ) als auch vom Pflugkörper ( $Q$ ),  $K_{ZW}$  aber nur vom Boden ( $GA$ ,  $GB$ ) beeinflusst wird, so daß die Frage entstand, mit welcher Restvarianz die Abhängigkeit des Koeffizienten  $E$  von  $K_{ZW}$  und  $Q$  dargestellt werden kann. Aus dieser Analyse resultierte die Gleichung

$$E = -2,613 + 0,05 \cdot k_{ZW} + 0,06 \cdot \omega \quad (7)$$

mit  $s' = 0,547 \text{ kp s}^2/\text{dm}^2 \text{ m}^2$  und  $\nu = 28,33\%$

Setzt man diesen Ausdruck für  $E$  in Gl. (3) ein, so erhält diese die Form

$$ZW = k_{ZW} + (0,05 \cdot k_{ZW} + 0,06 \cdot \omega - 2,613) \cdot \nu^2 \quad (8)$$

Da der spezifische Rollwiderstand  $f \cdot C/B \cdot T$  in Gleichung (2) gegenüber dem spezifischen Bodenwiderstand  $k$  relativ gering ist, kann bei der Berechnung nach Gleichung (8) der statische spezifische Zugwiderstand  $k_{ZW}$  als die nur von den Bodenbedingungen abhängige Größe angesehen werden, für die Werte in der Größenordnung des bisher benutzten spezifischen Bodenwiderstands  $k$  vorgegeben werden können.

### 3.4. Einflüsse der Einsatzparameter auf den Zugwiderstand

Die Aussagen nach Gleichung (5), (6) und (7) besitzen entscheidende Mängel:

- Es ist nicht bekannt, innerhalb welches Vertrauensbereichs der, spezifische Zugwiderstand bei gegebenen Einsatzbedingungen zu erwarten ist, d. h. in welcher Weise die Standardfehler der für  $K_{ZW}$  und  $E$  getrennt vorgenommenen Regressions-schätzungen zusammenzuführen sind.
- Da die Einflüsse der Einsatzparameter nur mittelbar, d. h. nur durch die Analyse der Koeffizienten  $K_{ZW}$  und  $E$ ,

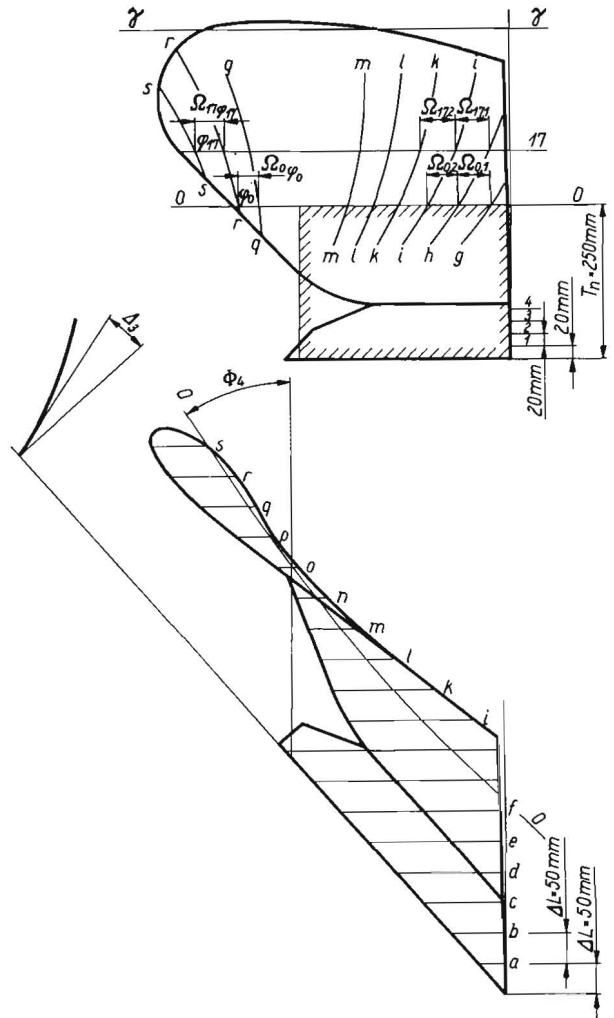


Bild 1. Formparameter des Streichblechpflugkörpers

$$\bar{D}_0 = \frac{\sum_{\alpha=1}^{\epsilon_0} \omega_{0,\alpha}}{\epsilon_0} \quad \bar{D} = \frac{\sum_{\beta=1}^{\gamma} \sum_{\alpha=1}^{\epsilon\beta} \omega_{\beta,\alpha}}{\sum_{\beta=1}^{\gamma} \epsilon\beta}$$

nicht aber durch eine Regressions-schätzung des spezifischen Zugwiderstands aufgedeckt wurden, sind keine quantitativen Aussagen über die relative Einflußstärke jedes Einsatzparameters ableitbar.

- Die Ungenauigkeiten der zu Beginn der Auswertung berechneten  $k_{ZW i}$  und  $\epsilon_i$  (Streuungen der Zugwiderstandswerte um die Ausgleichsparabeln) konnten bei der anschließenden Analyse der Koeffizienten  $K_{ZW}$  und  $E$  nicht berücksichtigt werden, so daß den erzielten Aussagen im Grunde eine größere als die durch  $s$  charakterisierte Ungenauigkeit anhaftet, weswegen vermutlich die Einflüsse einiger Einsatzparameter nicht als wesentlich nachgewiesen werden konnten (z. B. weitere Formparameter). Hierzu kommt, daß für die Analyse des Einflusses der Arbeitstiefe auf  $K_{ZW}$  und  $E$  nur jeweils der Mittelwert der in den verschiedenen Geschwindigkeitsstufen (3 bis 5) realisierten unterschiedlichen Tiefen verwendet werden konnte, der vermutlich zu ungenau war und darum keinen Nachweis des Einflusses der Tiefe zuließ.

Um eine von diesen Mängeln freie Aussage zu erzielen, mußte eine nichtlineare Mehrfachregressionsschätzung /13/ des spezifischen Zugwiderstands erfolgen, für die der Einfluß der

Arbeitsgeschwindigkeit als quadratisch und alle anderen Einflüsse als linear vorausgesetzt wurden. Die Analyse ergab

$$ZW = 14,176 + 0,253 \cdot \bar{\omega} - 0,434 \cdot \delta_3 + 92,172 \cdot ga + 1,047 \cdot v^2 \quad (9)$$

mit  $s = 11,9 \text{ kp/dm}^2$  und  $v = 21,8\%$

sowie mit  $\bar{\omega}$  in mm,  $\delta_3$  in Grad,  $v$  in m/s und  $ga$  als dimensionslosem Wert.

Die partiellen Regressionskoeffizienten sind mit 99 Prozent Wahrscheinlichkeit als von Null und als untereinander verschieden anzunehmen. Einflüsse anderer Einsatzparameter konnten mit Irrtumswahrscheinlichkeiten bis maximal 5 Prozent nicht nachgewiesen werden, d. h., ihr Einfluß ist als zufällig anzusehen.

Nach Frenkel [13] sollen die in die Mehrfachregressionsanalyse einzubeziehenden unabhängigen Variablen nicht stark korreliert sein. Da dies aber für die drei Bodenparameter ( $G_1$ ,  $GW$ ,  $GB$ ) zutrifft, wurde nur  $GA$  (Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen) in diese Analyse einbezogen.

Gleichung (9) drückt aus, daß sich die partiellen Einflüsse (die Pflugkörperform, der Boden und die Arbeitsgeschwindigkeit) summieren. Das widerspricht der „rationalen Formel“, deren Koeffizient  $\epsilon$  von Gorjatschkin [1] als Produkt aus form- und bodenbedingten Einflüssen theoretisch begründet wird und multipliziert mit  $v^2$  den dynamischen Anteil des spezifischen Zugwiderstands ausmacht. Darum wurde in Anlehnung hieran im Verlauf der Analyse auch eine Regressionsschätzung nach einer Gleichung vorgenommen, in der als einer der Summanden das Produkt  $b_p \cdot (\bar{\omega} \cdot ga \cdot v^2)$  enthalten war. Es ergab sich aber kein kleinerer Standardfehler als bei Gleichung (9). Demnach hatten die nicht erfaßten Einsatzbedingungen (einschließlich Meßfehler) einen so starken Einfluß auf die Varianz der Zugwiderstandswerte, daß die Einflüsse der absichtlich variierten Einsatzbedingungen nicht genauer als mit Gleichung (9) dargestellt werden können.

Zur Ermittlung der relativen Einflußstärke jedes in Gleichung (9) enthaltenen Einsatzparameters diente der von Frenkel [13] angegebene partielle Elastizitätskoeffizient, der die Unterschiede in den Maßeinheiten behebt:

$$E_j = \frac{b_j \cdot \bar{x}_j}{\bar{y}} [0,0] \text{ mit } j = 1 \dots p, \text{ s. Gl. (4)} \quad (10)$$

Der Koeffizient  $E_j$  sagt aus, um wieviel Prozent sich der spezifische Zugwiderstand — bezogen auf das Mittel seiner Meßwerte — verändert, wenn — bei festen Werten der anderen Einsatzparameter — sich der Einsatzparameter  $X_j$  um 1 Prozent — bezogen auf das Mittel seiner Meßwerte — verändert. Die Berechnung ergab:

$$E_{ga} = 0,624\%; \quad E_{\delta_3} = -0,156\%; \\ E_{\bar{\omega}} = 0,156\%; \quad E_{v^2} = 0,117\%$$

Die Stärke des Einflusses ist aber nicht gleichbedeutend mit der Einflußmöglichkeit. Zur Ermittlung der relativen Einflußmöglichkeit diente der von Frenkel [13] angegebene  $\beta$ -Koeffizient, der die Unterschiede in der Variabilität der Einsatzparameter berücksichtigt:

$$\beta_j = \frac{b_j \cdot s_{xj}}{s_y} \quad (11)$$

mit  $j = 1 \dots p$ , s. Gl. (4)

Der  $\beta$ -Koeffizient sagt aus, um welchen Teil des Standardfehlers seiner Meßwerte sich der spezifische Zugwiderstand verändert, wenn — bei festen Werten der anderen Einsatzparameter — sich der Einsatzparameter  $X_j$  um den Wert des Standardfehlers seiner Meßwerte verändert. Die Berechnung ergab:

$$\beta_{ga} = 0,706; \quad \beta_{v^2} = 0,307; \\ \beta_{\bar{\omega}} = 0,110; \quad \beta_{\delta_3} = -0,070$$

#### 4. Schlussfolgerungen

Die mit Gleichung (9) gefundene Beziehung zwischen dem spezifischen Zugwiderstand und verschiedenen Einsatzparametern gilt streng genommen nicht absolut, sondern nur für die Bedingungen, unter denen auch die Messungen im Feld-einsatz erfolgten, d. h. für die gleichen Bodenbedingungen, Pflugkörperformen, Arbeitstiefen, Arbeitsgeschwindigkeiten usw. Nur unter diesen Bedingungen gilt auch der Standardfehler  $s$  der Regressionsschätzung. Innerhalb des Bereichs  $ZW \pm s$  ist im allgemeinen, d. h. in etwa 68 Prozent aller unter gleichen Bedingungen wie bei den Messungen auftretenden praktischen Fälle, der tatsächliche Wert des spezifischen Zugwiderstands zu erwarten, unter davon abweichenden Bedingungen (z. B. Anbaupflug statt Anhängerflug) innerhalb eines entsprechend größeren Bereichs.

Da bei den Messungen außer den 11 nach einem einheitlichen Verfahren konstruierten auch 2 empirisch entstandene Pflugkörper-Varianten eingesetzt worden waren und außerdem die Pflugkörperform stark variierte — von kurzen, steilen Formen ( $\bar{\omega} = 48,3 \text{ mm}$  beim Serienpflugkörper 30 Z) bis zu langgestreckten, stärker verwundenen Formen ( $\bar{\omega} = 22,6 \text{ mm}$ ), ist anzunehmen, daß Gleichung (9) einschließlich des dazu angegebenen Standardfehlers  $s$  für beliebige Streichblech-Pflugkörperformen (mit oder ohne Vorarbeitswerkzeuge) in Normalausführung (z. B. ohne Durchsteckmeißel, kein Hangpflugkörper) gilt, die  $\bar{\omega}$ -Werte in diesem Bereich aufweisen und für eine Arbeitsbreite von 35 cm ausgelegt sind.

Der Scharschnittwinkel  $\Delta_3$  variierte von 17,0 bis 23,4°. Der Bereich der realisierten Arbeitsgeschwindigkeiten lag zwischen 0,23 und 4,59 m/s (0,83 bis 16,50 km/h) und der der tatsächlichen Arbeitstiefen zwischen 20,0 und 34,0 cm. Die Bodenart variierte von Sandboden ( $ga = 0,169$ ) bis Tonboden ( $ga = 0,774$ ). Für Einsatzbedingungen in diesen Bereichen und bei einer Nennarbeitsbreite des Pflugkörpers von 35 cm (durch entsprechenden Abstand der Körper am Pflug) dürfte der spezifische Zugwiderstand im Durchschnitt aller Fälle den nach Gleichung (9) zu berechnenden Wert besitzen und unter Berücksichtigung des Standardfehlers  $s$  der erzielten Aussage (zufällige bzw. nicht aufgedeckte Einflüsse) im allgemeinen zwischen  $ZW - s$  und  $ZW + s$  liegen. Gleichung (9) bedeutet, daß unter gegebenen Bodenbedingungen ( $ga_i$ ) und Betriebsbedingungen ( $v_i$ ;  $t_i$  zwischen 20 und 34 cm) ein möglichst geringer spezifischer Zugwiderstand nur durch eine möglichst gestreckte Pflugkörperform ( $\bar{\omega}_i$ ) und durch eine nicht zu flach angestellte Schar ( $\delta_{3i}$ ) zu erreichen ist. Da aber für vorgegebene Parameterwerte im allgemeinen mit einem Zugwiderstand im Bereich  $ZW \pm s$  zu rechnen ist, wären beträchtliche Formänderungen nötig, um mit großer Sicherheit in jedem praktischen Fall einen geringeren Zugwiderstand zu erreichen. Wie die Elastizitätskoeffizienten zeigen, ist die Wirkung einer Formänderung auf den spezifischen Zugwiderstand schwach ( $E_{\bar{\omega}}$ ,  $E_{\delta_3}$ ) im Vergleich mit der Wirkung, die durch den Einsatz auf unterschiedlichen Böden ( $E_{ga}$ ) entsteht und sowieso bei der konstruktiven Auslegung des Traktor-Pflug-Aggregats berücksichtigt werden muß. Außerdem weisen die  $\beta$ -Koeffizienten darauf hin, daß zur Erzielung einer bestimmten Zugwiderstandsänderung die Formänderung weniger Möglichkeiten bietet im Vergleich mit der praktisch möglichen Bodenänderung. Da die in die Messungen einbezogenen Bodenarten etwa den praktischen Bedingungen entsprachen und die realisierten Pflugkörperformen ungefähr die technisch möglichen bzw. in der Praxis üblichen Varianten umfaßten, kann die Aussage der betreffenden  $\beta$ -Koeffizienten als annähernd richtig angesehen werden. Der Koeffizient  $\beta_{v^2}$  dagegen widerspiegelt nicht die praktischen Verhältnisse, da bei den Messungen die Variationsbreite der Arbeitsgeschwindigkeit — im Interesse der statistischen Auswertung — größer gewählt wurde als die praktisch auftretende und die Verteilung der realisierten Geschwindigkeitsstufen nicht übereinstimmte mit den unterschiedlichen optimalen Arbeitsgeschwindigkeiten der für die

Pflugarbeit in Betracht kommenden verschiedenen Traktortypen.

Änderungen des Formparameters  $\bar{D}$  des Streichblech-Pflugkörpers allein zum Zweck der Verringerung des spezifischen Zugwiderstands sollten aufgrund der oben erläuterten Aussagen bei Beachtung des damit verbundenen Kostenaufwands gut überlegt sein. Effektiver sind Formänderungen, wenn durch sie auch eine Verbesserung der Arbeitsqualität erreicht wird. Welche Form optimal ist, kann nur unter Beachtung aller entscheidenden Einsatzparameter der Pflugarbeit und ihrer Wirkung auf die verschiedenen Effektivitätskriterien geklärt werden.

## 5. Zusammenfassung

Die Frage nach geeigneten Wegen zur Erhöhung der Effektivität der Pflugarbeit kann beantwortet werden, wenn die entscheidenden Einsatzparameter der Pflugarbeit sowie Charakter und Grad ihres Einflusses auf die Effektivitätskriterien bekannt sind. Um zu diesen Voraussetzungen beizutragen, wurden Untersuchungen durchgeführt mit dem Ziel, quantitative Aussagen über die für den Zugwiderstand beim Pflügen mit Streichblechkörpern entscheidenden Einsatzparameter und ihre anteiligen Einflüsse zu erhalten. Durch die statistische Auswertung von Meßergebnissen aus Feldeinsätzen konnten die Einflüsse eines Bodenparameters, eines Betriebsparameters und zweier Formparameter als Mehrfachregressionsgleichung formuliert werden.

## Literatur

- /1/ Gorjatschkin, W.: Rationale Formel der Zugkraft in: Krutikow, N.: Theorie, Berechnung und Konstruktion von Landmaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1955, S. 290
- /2/ Kirjuchin, W.: Der Einfluß der Pflügeschwindigkeit auf den Zugwiderstand des Pflugkörpers. Teoreticeskie Trudy WISCHOM. Moskau (1967) Ausgabe 55
- /3/ Demidko, M.: Der Einfluß der Geschwindigkeit auf den Widerstand eines zweiflächigen Keiles. Usovsernstvovanie pocvoobraty-vajuscich masin, Materialy Vischoma, Serija 111-63, Moskau (1963) S. 196-211
- /4/ Gjatschew, L.: Theorie der Schar-Streichblech-Fläche. Trudy Azovo-Cernomorskogo instituta mehanizacii sel'skogo chozjajstva. Zerno-grad 1961
- /5/ Manjuta, I.: Einige Fragen der Theorie eines Keiles. (Arbeiten von der wiss.-techn. Konferenz 1957) Belorusskij institut mehanizacii i elektrifikacii sel'skogo chozjajstva, Minsk 1959
- /6/ Poltawzew, I.: Über das dritte Glied der rationalen Gleichung. Trakt. i Sel'chozmas. 28 (1958) H. 2
- /7/ Nikiforow, P.: Pflüge für hohe Geschwindigkeiten. Trakt. i Sel'chozmas. 35 (1965), S. 19-21
- /8/ Söhne, W. / R. Möller: Das Pflügen mit höherer Geschwindigkeit. Landtechnik 19 (1965) H. 19
- /9/ Söhne, W.: Pflugkörperformen für höhere Fahrgeschwindigkeiten. Grundlagen der Landtechnik (1960) H. 12, S. 51-62
- /10/ Söhne, W.: Untersuchungen über die Form von Pflugkörpern bei erhöhter Fahrgeschwindigkeit. Grundlagen der Landtechnik (1959) H. 11, S. 22-39
- /11/ Werschinin, P. / A. Kosartschuk: Über den Einfluß der Feuchtigkeit auf die Zugkräfte beim Pflügen mit hohen Geschwindigkeiten. Vestn. sel.-choz. Nauki Moskau (1960) H. 2, S. 61-64
- /12/ Weber, E.: Grundriß der biologischen Statistik. 6. Auflage. Jena: VEB Gustav-Fischer-Verlag 1967
- /13/ Frenkel, A.: Mathematische Analyse der Arbeitsproduktivität. Berlin: Die Wirtschaft 1970

A 8939

## Buchbesprechungen

### Getriebetechnik – Aufgabensammlung

Von einem Autorenkollektiv, Herausgeber Prof. Dr.-Ing. habil. J. Volmer. Berlin: VEB Verlag Technik 1972. 17,0 cm  $\times$  24,5 cm, 183 Seiten, 170 Bilder, 8 Tafeln, Kunstleder, 12,— M.

Mit der Zunahme an Mechanisierungseinrichtungen in der Landtechnik wird die Notwendigkeit immer größer, daß nicht nur Konstruktionsingenieure landtechnischer Maschinen und Geräte die wissenschaftlichen Verfahren der Getriebetechnik beherrschen, sondern auch die in der landwirtschaftlichen Produktion und die in der Instandhaltung landtechnischer Arbeitsmittel eingesetzten Ingenieure. Sie müssen in der Lage sein, selbst notwendige Untersuchungen an Getrieben und Mechanismen vorzunehmen oder getriebetechnische Aufgabenstellungen zu formulieren, die dann in einschlägigen Konstruktionsbüros weiter bearbeitet werden.

Die vorliegende Aufgabenstellung ist besonders auch für den nicht ständig mit getriebetechnischen Fragen beschäftigten Ingenieur geeignet, um sich anhand von Aufgabenstellungen rasch in ein bestimmtes Teilgebiet einarbeiten zu können. Die einzelnen Aufgaben der vorliegenden Sammlung wurden aus verschiedenen Zweigen der Technik entnommen. Sämtliche Aufgaben enthalten erläuternden Text (meist mit Bild), Präzisierung der gesuchten Größen, Literaturangaben, Lösung der Aufgabe sowie eine zusätzliche Frage zur Verdeutlichung des bestehenden Zusammenhangs.

Im einzelnen werden behandelt: Struktureller Aufbau von Getrieben, Bewegungsanalyse, Kraftanalyse, Übersetzungsverhältnis, Bestimmung an Zahnradgetrieben, Konstruktion von Schritt- und Kurvengetrieben sowie Konstruktion von Koppelgetrieben mit Hilfe der Burmesterschen Lagengeometrie.

Die Aufgabensammlung zeichnet sich durch übersichtliche textliche Gestaltung und vorzügliche Bildqualität aus; ihre Verwendung zur Vertiefung getriebetechnischer Kenntnisse neben der Vorlesung oder im Selbststudium kann sehr empfohlen werden.

AB 8981

Prof. Dr. J. Müller

### Lufttechnische Berechnungstabellen

Von E. Stief. Berlin: VEB Verlag Technik 1971. 1. Auflage, 14,7 cm  $\times$  21,5 cm, 123 Seiten, 28 Bilder, 98 Tafeln, Halbleinen, 12,— M., Sonderpreis für die DDR 9,— M.

Der Übergang zu industriemäßigen Produktionsmethoden in der Landwirtschaft erfordert objektiv in stets steigendem Maß die Anwendung moderner Produktionsmittel. In diesem Prozeß besitzen lufttechnische Anlagen — vor allem zur Klimagegestaltung in Produktions- und Lagerbauten — eine große Bedeutung.

In diesem Buch werden die Grundsätze der Strömungstechnik, soweit sie für das Verständnis der weiteren Ableitungen benötigt werden, zusammengestellt und erläutert. An praktischen Beispielen werden die einzelnen Berechnungsschritte bei Anwendung der Methode der Geschwindigkeitsgleichheit zur Auslegung von Anlagen demonstriert und die wichtigsten Parameter ermittelt. Den Schwerpunkt stellt dabei die Widerstandsberechnung der Luftleitungen dar. Diese Werte, wie Reibungsverlust je m Rohrleitung, dynamischer Druckverlust sowie Druckverlust durch Einzelwiderstände, werden in den Tabellen für den Durchmesserbereich von  $d_R = 71$  bis 1 500 mm in der Reihe R 40 für Strömungsgeschwindigkeiten von  $v_R = 5$  bis 30 m/s sowie für unter-