

Ein Rechenmodell zur vergleichenden Beurteilung der Verfahrenskosten bei Bodenbearbeitungsgeräten.

Von Winfried Schäfer, Stuttgart-Hohenheim*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik in der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 631.51:631.312:631.316

Die Fortschritte in der Agrartechnik bezüglich der Ermittlung des Leistungsbedarfs und des Arbeitszeitbedarfs insbesondere bei den Verfahren der Bodenbearbeitung ermöglichen die Erstellung detaillierter Modelle zur Berechnung der Verfahrenskosten. Unter Einsatz der EDV kann problemlos eine Vielzahl von Einflußgrößen sowohl für den Modellfall als auch für den gegebenen Betrieb berücksichtigt werden. Die Bewertung der Verfahrenskosten für den Verfahrenvergleich läßt sich dabei mit Hilfe graphischer Methoden für verschiedene Kriterien vornehmen. In diesem Beitrag wird beispielhaft ein Modell zur Ermittlung der Verfahrenskosten für den Grubber und den Schälpluf vorgestellt.

1. Einleitung

Neben Arbeitszeitbedarf und Leistungsbedarf sind auch die Verfahrenskosten ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung verschiedener Verfahren. Viele Arbeiten, die sich mit der Ermittlung der Verfahrenskosten befaßen [1, 2, 3], haben den Nachteil, daß die errechneten Werte nur für fest vorgegebene Bedingungen wie eine bestimmte Schlepperleistung, Arbeitsbreite, Flächengröße, Bodenart usw. gelten und daß die gemachten Aussagen in relativ kurzer Zeit durch die sich ständig ändernden Anschaffungspreise, Energie- und Lohnkosten an Aktualität verlieren. Zoz [4] umging diese Nachteile, indem er die Kosten als Funktion der Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit mit Hilfe der EDV berechnete. Das dabei verwendete Rechenprogramm läßt die Variation von Schlepperleistung und Gerätebreite ebenso zu wie die Anpassung an sich ändernde Kostenfaktoren. Es gilt jedoch nur für hinterradgetriebene Schlepper und bei einem je nach Bodenart fest vorgegebenen Schlupf. In diesem Beitrag wird eine Methode verwendet, die die Berechnung der Verfahrenskosten für Allrad Schlepper und Geräte der Bodenbearbeitung bei variablem Schlupf ermöglicht. Das dazu verwendete Rechenprogramm wurde in [5] vorgestellt und erlaubt jederzeit eine Anpassung der Daten an den neuesten Stand. Zur Berechnung der Verfahrenskosten ist zunächst die Ermittlung des Leistungs- und Arbeitszeitbedarfs erforderlich.

2. Ermittlung des Arbeitszeitbedarfs

Der Arbeitszeitbedarf errechnet sich aus der Ausführungszeit sowie der Rüst- und Wegezeit. In Anlehnung an [6] gilt für die Ausführungszeit:

$$t'_{AZ} = z \left(\frac{10}{b \cdot v} + \frac{t_w}{60 A_p} \left(\frac{100 \sqrt{A_p}}{\sqrt{\beta} b} + \frac{2 b_v}{b} \right) \right) (1 + \varphi/100) \quad (1)$$

In dieser Gleichung bedeuten:

t'_{AZ}	h/ha	Ausführungszeit
z		Anzahl der Bearbeitungen
b	m	Arbeitsbreite
v	km/h	Arbeitsgeschwindigkeit
t_w	min	Wendezeit pro Wendung
A_p	ha	Parzellenfläche
β		Längen-Breitenverhältnis der Parzelle
b_v	m	Vorgewendebreite
φ	%	Verlustzeitfaktor.

Unter der Annahme, daß einmal an einem Arbeitstag eine Mittagspause auf dem Hof abgehalten wird und diese Unterbrechung sowie das Ende eines Arbeitstages für einen Parzellenwechsel genutzt wird, lassen sich zwei Wege zur Berechnung der Rüst- und Wegezeit einschlagen:

1. Je Arbeitstag sind im Durchschnitt weniger als zwei Parzellen zu bearbeiten.
2. Je Arbeitstag sind im Durchschnitt zwei oder mehr Parzellen zu bearbeiten.

Im ersten Fall berechnet sich die Rüstzeit mit der Gleichung

$$t_p = n_T t_{p,H} + 2 n_T t_{p,F} \quad (2)$$

und die Wegezeit mit

$$t_i = 4 n_T \frac{s_{HP}}{v_{HP}} \quad (3)$$

In diesen Gleichungen bedeuten:

t_p	h	Rüstzeit
n_T		Anzahl der benötigten Arbeitstage
$t_{p,H}$	h	Rüstzeit auf dem Hof je Arbeitstag
$t_{p,F}$	h	Rüstzeit auf dem Feld je Parzelle
t_i	h	Wegezeit
s_{HP}	km	Weg Hof-Parzelle
v_{HP}	km/h	Geschwindigkeit auf dem Weg s_{HP} .

Die Anzahl der benötigten Arbeitstage errechnet sich mit

$$n_T = \frac{A t'_{AZ} + t_p + t_i}{t^*} \quad (4)$$

Dabei bedeuten zusätzlich zu den bisherigen Formelzeichen:

A	ha	die gesamte zu bearbeitende Fläche
t^*	h/d	die Anzahl der Arbeitsstunden je Tag.

Streng genommen müßte n_T für die folgenden Rechnungen auf ganze Tage aufgerundet werden. Doch ist der bei Verwendung der tatsächlichen Werte von n_T auftretende Fehler bei den im folgenden verwendeten Flächengrößen vernachlässigbar klein.

*) Dipl.-Ing. agr. W. Schäfer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim.

Im zweiten Fall müssen noch die Wegezeiten zwischen den Parzellen berücksichtigt werden. Für die Rüstzeit gilt dann:

$$t_p = n_T t_{p,H} + n t_{p,F} \quad (5)$$

und für die Wegezeit

$$t_i = (n - 2 n_T) \frac{s_{PP}}{v_{PP}} + \frac{4 n_T s_{HP}}{v_{HP}} \quad (6),$$

wobei

n	Anzahl der Parzellen
s _{PP} km	Weg Parzelle-Parzelle
v _{PP} km/h	Geschwindigkeit auf dem Weg s _{PP}

bedeuten. Für beide Fälle läßt sich nun der Gesamtarbeitszeitbedarf t'_{GAZ} in h/ha mit

$$t'_{GAZ} = t'_{AZ} + \frac{t_p + t_i}{A} \quad (7)$$

berechnen, wobei für t'_{AZ} , t_p und t_i die entsprechenden Gleichungen eingesetzt werden müssen.

3. Ermittlung des Leistungsbedarfs

Allgemein ermittelt man die für Bodenbearbeitungsgeräte erforderliche Schlepperleistung mit der Gleichung

$$P_M = \frac{P_Z}{\eta_G \eta_L \lambda} + \frac{P_{ZW}}{\eta_{GZ} \lambda} \quad (8).$$

In dieser Gleichung bedeuten:

P _M kW	Motorleistung des Schleppers nach DIN
P _Z kW	Zugleistungsbedarf des Gerätes
P _{ZW} kW	Zapfwellenleistungsbedarf des Gerätes
η _G	Getriebewirkungsgrad
η _L	Laufwerkwirkungsgrad
η _{GZ}	Zapfwellenwirkungsgrad
λ	Motorauslastungsgrad.

Die Zugleistung läßt sich mit der Gleichung

$$P_Z = \frac{b v F_Z}{3600} \quad (9)$$

berechnen, wobei für die Zugkraft F_Z in N/m die Gleichung

$$F_Z = c_1 + c_2 v + c_3 v^2 \quad (10)$$

verwendet wird. Der Zapfwellenleistungsbedarf errechnet sich mit

$$P_{ZW} = b (c_4 + c_5 v + c_6 v^2) \quad (11).$$

In den Gln. (9), (10) und (11) bedeuten:

F _Z	N/m	arbeitsbreitenbezogener Zugkraftbedarf
b	m	Arbeitsbreite
v	km/h	Arbeitsgeschwindigkeit
c ₁ ... c ₆ ¹⁾		boden- und gerätespezifische Konstanten.

Der Laufwerkwirkungsgrad η_L berechnet sich bei Allradsschleppern mit der Gleichung

$$\eta_L = \frac{\kappa(1 - \sigma)}{\kappa + \rho} \quad (12),$$

wobei

κ	Triebkraftbeiwert
σ	Schlupf
ρ	Rollwiderstandsbeiwert

bedeuten. Der Triebkraftbeiwert läßt sich bei Allradsschleppern mit

$$\kappa = \frac{F_Z b}{F_S + F_G} \quad (13)$$

¹⁾ Beispiele für die Werte der Konstanten in Tafel 2

berechnen, wobei für die Zugkraft F_Z Gl. (10) eingesetzt werden kann. Die beiden anderen Unbekannten F_S und F_G lassen sich nach *Stroppel* [6] mit

$$F_S = c_7 + c_8 P_M \quad (14)$$

und

$$F_G = (c_9 + c_{10} b + c_{11} b^2) \gamma \quad (15)$$

ermitteln. Dabei bedeuten:

F _S	N	Schleppergewicht
F _G	N	auf den Schlepper übertragenes Gerätegewicht
γ		Gewichtsübertragungsfaktor
c ₇ , c ₈		schlepperspezifische Konstanten ¹⁾
c ₉ ... c ₁₁		gerätespezifische Konstanten ¹⁾ .

Unbekannt in Gl. (12) sind σ und ρ , die sich nach [6] mit den Funktionen

$$\sigma = c_{12} c_{13}^K \quad (16),$$

$$\rho = c_{14} + c_{15} \sigma \quad (17)$$

berechnen lassen. Dabei sind $c_{12} \dots c_{15}$ von Bodenart und Bodenzustand abhängige Konstanten¹⁾, die über entsprechende Triebkraft-Schlupf- und Rollwiderstandsbeiwert-Schlupf-Kurven ermittelt werden müssen.

Mit den Gln. (8) bis (17) läßt sich der Leistungsbedarf in Abhängigkeit von b und v berechnen. Laufwerkwirkungsgrad und Schlupf ergeben sich bei dieser Rechenmethode aus dem Kräftegleichgewicht zwischen gezogenem Gerät und ziehendem Schlepper unter Berücksichtigung eines konstanten Motorauslastungsgrades.

4. Berechnung der Kosten

Die Verfahrenskosten setzen sich zusammen aus den Kosten für den Schlepper, den Kosten für das Gerät sowie den Lohnkosten für die Arbeitskräfte. Die hier vorgestellte Berechnung erfolgt in Anlehnung an die Methode von *Schaefer-Kehnert* [7].

Für den Schlepper läßt sich der Anschaffungspreis $P_{A,S}$ in Abhängigkeit von der Schleppernennleistung P_M als Polynom ersten Grades darstellen:

$$P_{A,S} = a_1 + a_2 P_M \quad (18).$$

Aus dem Anschaffungspreis lassen sich die fixen Kosten für den Schlepper berechnen:

$$k_1 = \frac{P_{A,S}}{t_{N,S} t_{N,S}^*} \quad (19),$$

$$k_2 = \frac{P_{A,S}}{2} \frac{p}{100 t_{N,S}^*} \quad (20).$$

In den Gln. (18) bis (20) bedeuten:

P _{A,S}	DM	Schlepperanschaffungspreis
a ₁ , a ₂		schlepperspezifische Konstanten ¹⁾
k ₁	DM/h	Abschreibungskosten auf und unter der Abschreibungsschwelle
t _{N,S}	a	Schleppernutzungsdauer
t _{N,S} [*]	h/a	jährliche Schleppernutzung
k ₂	DM/h	Zinskosten
p	%/a	Kapitalzinsfuß.

Die Versicherungskosten k_3 in DM/h werden mit

$$k_3 = \frac{P_{V,i}}{t_{N,S}^*} \quad (21)$$

berechnet, wobei $P_{V,i}$ in DM/a der Versicherungspreis für die Schleppernennleistung $P_{M,i}$ ist. Die variablen Kosten für den Schlepper setzen sich zusammen aus den Reparaturkosten, den Brennstoffkosten und den Ölkosten. Mit

$$k_4 = \frac{P_{A,S} r}{100 \cdot 1000} \quad (22)$$

werden die Reparaturkosten berechnet. Dabei bedeuten:

k_4 DM/h Reparaturkosten des Schleppers
 r %/1000 h Reparaturkostenfaktor.

Die Brennstoffkosten werden unter der Annahme berechnet – diese Annahme bedarf noch der Überprüfung –, daß der Schlepper außerhalb der Hauptzeit nur zur Hälfte ausgelastet wird und daß der spezifische Brennstoffverbrauch bei Teillast um 50 % über dem bei Vollast liegt.

$$k_5 = t_e' \lambda P_M P_B + (t_{GAZ}' - t_e') 0,5 P_M \lambda 1,5 P_B \quad (23)$$

Dabei gilt für die Gesamtarbeitszeit t_{GAZ}' die Gl. (7) und für die Hauptzeit t_e' der Quotient $z/10/b v$ aus Gl. (1).

Des weiteren bedeuten:

k_5 DM/ha Brennstoffkosten
 t_e' h/ha Hauptzeit
 P_B DM/kWh Brennstoffpreis bezogen auf eine kWh.

Für den auf eine kWh bezogenen Brennstoffpreis P_B wird der Wert 0,159 DM/kWh eingesetzt, der sich aus einem spezifischen Brennstoffverbrauch von 250 g/kWh, einem Brennstoffpreis von 0,54 DM/l und einer Brennstoffdichte von 850 g/l ergibt. Analog werden die Ölkosten k_6 in DM/ha mit

$$k_6 = t_e' P_M P_{\ddot{O}} + (t_{GAZ}' - t_e') 0,5 P_M P_{\ddot{O}} \quad (24)$$

berechnet, wobei der auf eine kWh bezogene Ölpreis $P_{\ddot{O}}$ mit 0,007 DM/kWh eingesetzt wird, der sich aus einem angenommenen, von der Auslastung unabhängigen Ölverbrauch von 2,7 g/kWh und einem Ölpreis von 2,70 DM/kg ergibt.

Im Gegensatz zu den fixen Schlepperkosten, die auf die Einsatzstunde bezogen sind, werden die fixen Gerätekosten auf die Fläche bezogen. Zur Berechnung der fixen Kosten des Gerätes muß wieder der Anschaffungspreis bekannt sein. In den meisten Fällen läßt sich der Anschaffungspreis eines Gerätes $P_{A,G}$ in DM in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite b als Polynom zweiten Grades darstellen:

$$P_{A,G} = a_3 + a_4 b + a_5 b^2 \quad (25)$$

Mit

$$k_7 = \frac{P_{A,G}}{A t_{N,G}} \quad (26)$$

und

$$k_8 = \frac{P_{A,G}}{2} \frac{P}{100 A} \quad (27)$$

erhält man die fixen Kosten für das Gerät. Dabei bedeuten zusätzlich zu den genannten Formelzeichen:

$a_3 \dots a_4$ gerätespezifische Konstanten¹⁾
 k_7 DM/ha Abschreibungskosten des Gerätes unter der Abschreibungsschwelle
 $t_{N,G}$ a Nutzungsdauer des Gerätes
 k_8 DM/ha Zinskosten des Gerätes.

Die Reparaturkosten für das Gerät k_9 in DM/ha berechnen sich aus den Reparaturkosten k_R in DM/ha und der Zahl der Bearbeitungen z

$$k_9 = k_R z \quad (28)$$

Damit berechnen sich die gesamten Verfahrenskosten K' in DM/ha zu:

$$K' = t_{GAZ}' (k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_L) + k_5' + k_6' + k_7' + k_8' + k_9' \quad (29)$$

wobei k_L die Lohnkosten in DM/h sind.

5. Verfahrensvergleich

Mit den bisher angeführten Gleichungen lassen sich für verschiedene Geräte zur Bodenbearbeitung die Verfahrenskosten ermitteln. Hier sollen beispielhaft zwei Geräte durchgerechnet werden. In den **Tafeln 1 und 2** sind die verwendeten Daten zusammengestellt. Die Nomogramme in **Bild 1 und 2** zeigen die Zusammensetzung von Schlepper-, Geräte- und Lohnkosten. **Bild 2** weist ein deutliches Kostenoptimum auf, dessen Lage vom Verhältnis der Maschinen- zu den Lohnkosten bestimmt wird und hier nur für die in **Tafel 1 und 2** angeführten Daten gilt. Bei einem Arbeitszeitbedarf von 1,7 h/ha liegen die Verfahrenskosten des Grubbers bei 98,- DM/ha. Die dabei benötigte Schlepperleistung liegt bei 53 kW. Beim Pflug liegen die Kosten um 82,- DM/ha und die Schlepperleistung bei 51 kW. Die höheren Werte beim Grubber ergeben sich durch die Annahme, daß der Grubber die Fläche zweimal bearbeiten muß. Man beachte, daß die Nomogramme in **Bild 1 und 2** nur für die angegebenen Arbeitsgeschwindigkeiten gelten. Aussagefähiger im Hinblick auf weitere Fragen des Verfahrensvergleiches sind die schon in [5, 6] vorgestellten b,v -Diagramme. In **Bild 3** sind die Linien gleichen Arbeitszeitbedarfs (---), gleicher Schlepperleistung (—) und gleicher Kosten (- · -) eingetragen. Unter der Voraussetzung, daß die verfügbare Zeit zur Bearbeitung einer Fläche von 14 ha 24 h beträgt, ergibt sich ein maximaler Arbeitszeitbedarf von 1,7 h/ha. In den b,v -Diagrammen kommen dann nur noch die rechts der 1,7 h/ha-Arbeitszeitbedarfslinie liegenden b,v -Wertepaare für die weiteren Überlegungen in Frage, da die links dieser Zeitbedarfsgrenze liegenden b,v -Wertepaare keine fristgerechte Arbeiterledigung gewährleisten. Nimmt man ferner einen Geschwindigkeitsbereich an, der für die Geräte Voraussetzung zur Erzielung eines optimalen Arbeitseffektes ist, erhält man zwei weitere Grenzen. In **Bild 3** liegt beim Grubber die Untergrenze bei 7 km/h und die Obergrenze bei 9 km/h und beim Pflug entsprechend bei 5 km/h und 7 km/h. Durch Festsetzen der größten in Betracht gezogenen Schlepperleistung, hier mit 80 kW angenommen, erhält man in den b,v -Diagrammen das Viereck ABCD, das die für den Vergleich in Frage kommenden b,v -Wertepaare umfaßt.

		Grubber mit Nachlaufgerät	Schälpflug	Quelle
Zahl der Bearbeitungen	z	2	1	
Fläche	A ha		14	
Arbeitsbreite	b m	1,6–3,6	0,5–3,0	
Arbeitsgeschwindigkeit	v km/h	6–12	4–10	
Zahl der Parzellen	n		6	
Seitenverhältnis	β		1	
Vorgewendebreite	b_V m		6	
Weg Hof–Parzelle	s_{HP} km		1	
Geschwindigkeit auf s_{HP}	v_{HP} km/h		15	[8]
Weg Parzelle–Parzelle	s_{PP} km		0,1	
Geschwindigkeit auf s_{PP}	v_{PP} km/h		10	[8]
Rüstzeit auf dem Hof	$t_{p,H}$ h/d	0,2	0,3	[9,10]
Rüstzeit auf dem Feld	$t_{p,F}$ h		0,03	[9,10]
Wendezeit je Wendung	t_w min	0,2	0,6	[9,10]
Verlustzeitfaktor	φ %	2	5	[9,10]
Arbeitsstunden je Tag	t^* h/d		8	

Tafel 1. Daten zur Berechnung des Arbeitszeitbedarfs.

Größe	Dimension	Grubber mit Nachlaufgerät	Schälpflug	Quelle
c ₁	N/m	4509	8000 ¹⁾	[10]
c ₂	N/m · h/km	339,5	0 ¹⁾	[10]
c ₃	N/m·h ² /km ²	0	60 ¹⁾	[10]
c ₇	N	5963	5963	[5]
c ₈	N/kW	537	537	[5]
c ₉	N	2162	500	[5]
c ₁₀	N/m	1712	2800	[5]
c ₁₁	N/m ²	0	0	[5]
γ		0,6	0,6	[11,6]
c ₁₂		0,013	0,013	[11,5]
c ₁₃		146,1	146,1	[11,5]
c ₁₄		0,033	0,033	[11,5]
c ₁₅		0,167	0,167	[11,5]
η _G		0,85	0,85	[6]
λ		0,83	0,83	[6]
Tiefe	cm	13–15	15	[10]
Bodenart		L–LT ²⁾	L–LT	[10]
a ₁	DM	-1797	-1797	[5]
a ₂	DM/kW	851	851	[5]
t _{N,S}	a	12	12	[8]
t _{N,S}	h/a	1000	1000	
p	%/a	6	6	[8]
P _{V,i} ³⁾	DM/a	bis 19 kW 34,70 bis 26 kW 95,60 bis 34 kW 125,00 bis 45 kW 186,90 bis 56 kW 297,00 bis 74 kW 345,00 über 74 kW 464,00		
r	%/1000 h	7,55	7,55	[8]
a ₃	DM	1000	-213	[5]
a ₄	DM/m	2463	3623	[5]
a ₅	DM/m ²	0	-328	[5]
t _{N,G}	a	14	14	[8]
k _R	DM/ha	6,81	6,36	[8]
k _L	DM/h	10	10	

- 1) geschätzt; 2) L Lehm, LT lehmiger Ton;
3) nach Angaben einer Versicherungsgesellschaft 1976

Tafel 2. Daten zur Berechnung des Leistungsbedarfs und der Kosten.

Vorgegeben:	Arbeitszeitbedarf	Schlepperleistung	
Ziel:	1,7 h/ha	80 kW	
Minimale Kosten	81,- DM/ha 97,- DM/ha	87,- DM/ha 105,- DM/ha	Schälpflug Grubber
Minimaler Arbeitszeitbedarf	–	96,- DM/ha 118,- DM/ha	Schälpflug Grubber
Minimaler Leistungsbedarf	84,- DM/ha 102,- DM/ha	–	Schälpflug Grubber

Tafel 3. Verfahrenskosten bei vorgegebener Arbeitszeit bzw. bei vorgegebener Schlepperleistung für verschiedene Kriterien.

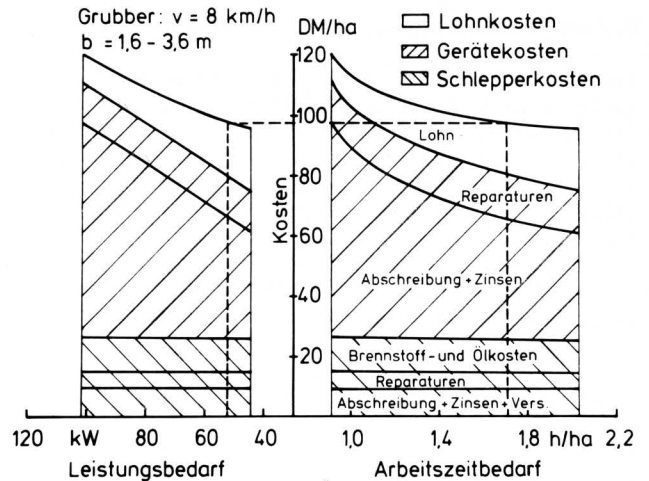


Bild 1. Verfahrenskosten in Abhängigkeit von Leistungs- und Arbeitszeitbedarf beim Grubber.

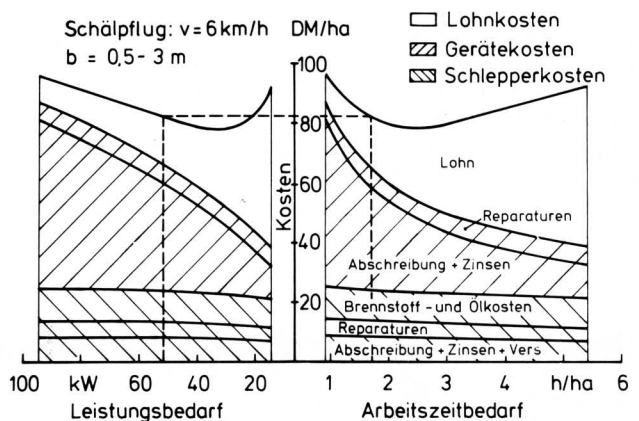


Bild 2. Verfahrenskosten in Abhängigkeit von Leistungs- und Arbeitszeitbedarf beim Schälpflug.

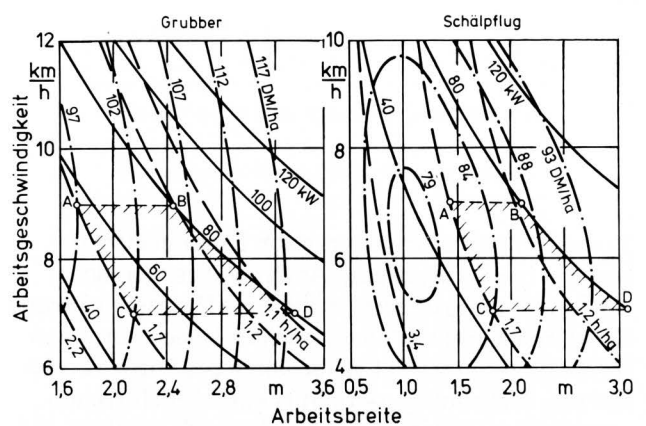


Bild 3. Linien gleicher Arbeitszeit, gleicher Leistung und gleicher Kosten in Abhängigkeit von Arbeitsbreite und -geschwindigkeit bei Grubber und Schälpflug.

Je nach Zielsetzung lassen sich nun verschiedene Kombinationen von Schlepper und Gerät ermitteln [12]. Die dabei anfallenden Verfahrenskosten sind in Tafel 3 zusammengefasst und ermöglichen eine individuelle Beurteilung der beiden Verfahren.

6. Zusammenfassung

Aufbauend auf einer Methode von Zoz [4] und Stroppe [6] werden die für die Berechnung der Verfahrenskosten verwendeten Funktionen vorgestellt. Damit ist es möglich, für Allradschlepper und Geräte der Bodenbearbeitung die Verfahrenskosten unter verschiedenen Bedingungen zu ermitteln. Anhand zweier Beispiele wurden die Verfahrenskosten in Abhängigkeit von Arbeitszeit- und Leistungsbedarf graphisch dargestellt. Diagramme, die Linien gleicher Kosten, Linien gleicher Leistung und Linien gleichen Arbeitszeitbedarfs enthalten, ermöglichen die graphische Bestimmung der Verfahrenskosten für verschiedene Kriterien.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] Rosegger, S. u. K. Hell: Einsatz von Anbaubeetpflügen und Schleppern mit Regelhydraulik aus betriebstechnischer Sicht. *Grundl. Landtechnik* Bd. 17 (1967) Nr. 4, S. 125/31.
- [2] Rosegger, S., H.-C. Olfe, F.-P. Sörgel u. H. Steinkampf: Voraussetzungen für die optimale Nutzung leistungsstarker Schlepper bei der Bodenbearbeitung. *Landbauforschung Völknerode* Bd. 26 (1976) H. 1, S. 40/48.
- [3] Hartmann, W. u. J.-P. Ratschow: Kosten schwerer Schlepper beim Einsatz in der Bodenbearbeitung. *Landtechnik* Bd. 32 (1977) H. 9, S. 347/51.
- [4] Zoz, F.: Optimum width and speed for least cost tillage. *Transaction of ASAE* Bd. 17 (1974) Nr. 5, S. 845/50.
- [5] • Schäfer, W.: Verfahrensvergleich gezogener und zapfwel-lengetriebener Bodenbearbeitungsgeräte hinsichtlich des Leistungs- und Arbeitszeitbedarfs sowie der Verfahrenskosten. *Tutkimustiedote* Nr. 25 (1978) 79 S., Helsinki: Maatalousteknologian laitoksen Helsingin yliopisto.
- [6] Stroppe, A.: Eine Methode zur Beurteilung von Bodenbearbeitungsverfahren im Hinblick auf die Schlagkraft. *Grundl. Landtechnik* Bd. 27 (1977) Nr. 4, S. 108/14.
- [7] Schaefer-Kehnert, W.: Kostenberechnung von Landmaschinen. *Agrarwirtschaft* Bd. 4 (1955) H. 1, S. 72/80.
- [8] • Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.: *KTBL-Taschenbuch für Arbeits- und Betriebswirtschaft*, Münster-Hiltrup, 8. Auflage, 1976, 310 S.
- [9] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.: *Liste der Planungselemente*. Unveröffentlichter Ausdruck der Datenbank, Darmstadt 1977.
- [10] • Rosegger, S. u. F.-P. Sörgel: Ermittlung von technischen und arbeitswirtschaftlichen Planungsdaten für die pflanzliche Produktion. *Landbauforschung Völknerode Sonderheft* 32 (1976) 135 S.
- [11] • Steinkampf, H.: Ermittlungen von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. *Landbauforschung Völknerode Sonderheft* 7 (1975) 105 S.
- [12] • Schäfer, W.: Zur Ermittlung der optimalen Kombination von Allradschleppern und Geräten der Bodenbearbeitung anhand von b,v-Diagrammen. *Symposium der Sektion V der CIGR v. 28.–30. März 1979, Planungsunterlagen für die Landwirtschaft, Dokumentation* Bd. 2, S. 39/49, Darmstadt 1979.

Möglichkeiten der Nachzerkleinerung bei Exaktfeldhäckslern

Von Karl-Hans Kromer, Weihenstephan*)

DK 631.363

Konventionelle Schneidwerke von Exaktfeldhäckslern genügen den verschiedenen Anforderungen für einen universellen Einsatz nicht mehr. Eine Nachzerkleinerung des Häckselgutes löst dieses Problem jedoch nur, wenn sie die biotechnischen Eigenschaften des Futters berücksichtigt. Aufgrund dessen gibt es eine Vielfalt technischer Lösungen, für deren Auswahl die Kenntnis der theoretischen Zusammenhänge, der Zerkleinerungsqualität, des Energiebedarfes und des technischen Aufwandes unerlässlich ist.

*) Dr.-Ing. K.-H. Kromer ist Obering. und Leiter der Abt. Landtechnische Grundlagen am Institut für Landtechnik (Direktor: Prof. Dr. H.-L. Wenner) der TU München-Weihenstephan.

Inhalt

1. Einleitung
2. Aufgabenstellung
3. Theoretische Betrachtung der Nachzerkleinerung
4. Versuchsaufbau
5. Versuchsdurchführung
6. Versuchsergebnisse
 - 6.1 Prüfstandsversuche
 - 6.1.1 Projizierte Schnittkantenlänge
 - 6.1.2 Zerkleinerung und Leistungsbedarf
 - 6.1.2.1 Stroh
 - 6.1.2.2 Luzerne
 - 6.1.2.3 Mais
 - 6.2 Feldversuche
7. Zusammenfassung