

# Untersuchungen zur Optimierung von Betriebs- und Konstruktionsparametern schwingender Dammaufnahmeelemente für Kartoffelerntemaschinen

Dozent Dr. agr., Dipl.-Ing. M. Delitz, KDT/Dr.-Ing. H. Adermann, KDT/Dr.-Ing. J. Neef, KDT  
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

## Verwendete Formelzeichen

A	mm	Amplitude
A <sub>DAE</sub>	cm <sup>2</sup>	Scharquerschnitt
B <sub>W</sub>	% Massen-	Beschädigungswert
	anteil	
B <sub>WOA</sub>	% Massen-	Beschädigungen ohne Anschnitte
	anteil	
E	kJ/m	spezifischer Energiebedarf
f	Hz	Schwingfrequenz
h <sub>Sch</sub>	mm	Gutschichthöhe
P <sub>DD</sub>	kW	Dammaufnahmedrehleistung
P <sub>DL</sub>	kW	Leerlaufdrehleistung
P <sub>E</sub>	kW	effektive Motorleistung
P <sub>Gas</sub>	kW	Gesamtleistung
P <sub>R</sub>	kW	Rollwiderstandsleistung
P <sub>Z</sub>	kW	Zugleistung
P <sub>ZGes</sub>	kW	Gesamtzugleistung
V <sub>Kes</sub>	dt/ha	Kartoffelverluste
v <sub>f</sub>	m/s	Fahrgeschwindigkeit
α	°	Scharanstellwinkel
β <sub>1</sub>	°	Ablösegeschwindigkeit zum Ab-
		wurfzeitpunkt
Γ		Wurfkennzahl
η <sub>Ga</sub>		Getriebewirkungsgrad des akti-
		ven Dammaufnahmeelements
η <sub>r</sub>		Rollreibungswirkungsgrad
η <sub>s</sub>		Schlupfwirkungsgrad

## 1. Einleitung

Mit Hilfe aktiv schwingender Dammaufnahmeelemente in Kartoffelerntemaschinen läßt sich bei extremen Einsatzbedingungen, z. B. auf zur Klutenbildung neigenden verhärteten und verkrusteten Lehmböden, der Arbeitserfolg gegenüber starren passiven Dammaufnahmeelementen verbessern.

Das betrifft besonders folgende Effekte [1]:

- verringerter Zugkraftbedarf bis zu 40% bei v<sub>f</sub> = 2 m/s
- verringerte Verdichtung des Bodens als Folge der reduzierten Umfangskraft an den Treibrädern
- intensive Zerkleinerung, Krümelung und Lockerung des Bodens
- besserer Gutfluß durch den entstehenden Fördereffekt und damit geringere Verstopfungsgefahr auf dem Dammaufnahmeelement
- geringerer Verschleiß der Dammaufnahmeelemente
- geringere Knollenbeschädigungen.

Dazu wurden im VEB Weimar-Werk und an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg theoretische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Das Ziel bestand in der Ermittlung optimaler Betriebs- und Konstruktionsparameter für schwingende Dammaufnahmeelemente, wie

- Amplitude
  - Schwingfrequenz
  - Scharanstellwinkel
  - Ablösegeschwindigkeit zum Abwurfzeitpunkt
  - Scharquerschnitt,
- bei denen der Zugleistungsbedarf, der Gesamtleistungsbedarf, die Gutschichthöhe auf dem Dammaufnahmeelement, die Kartoffelverluste und die Kartoffelbeschädigungen möglichst gering waren. Die experimentel-

len Untersuchungen wurden im Labor, auf einem Sandstandort mit geschlagenem Kraut und auf einem nach anhaltender Trockenheit stark verkrusteten Lehmstandort mit un bearbeitetem, bis 1 m langem, fest anhaftendem Kraut durchgeführt.

## 2. Versuchseinrichtungen

Die Versuchseinrichtungen bestanden aus von unten angelenkten Dammaufnahmeelementen (Bild 1), die über einen Exzenterantrieb in Schwingungen versetzt wurden. Die Laborversuchseinrichtung war einreihig, die Feldversuchseinrichtung vierreihig. Bei letzterer wurde das vordere Schwingenpaar durch eine Gleitführung ersetzt. Die theoretischen Untersuchungen basieren auf einer Kurbelschwinge als Ersatzgetriebe (Bild 2). Gemessen wurden folgende Größen:

- Fahrgeschwindigkeit
- Gutschichthöhe
- Geschwindigkeit der oberen Gutschicht relativ zum Dammaufnahmeelement
- Ablösegeschwindigkeit zum Abwurfzeitpunkt
- Zugleistung
- Leerlaufdrehleistung
- Dammaufnahmedrehleistung
- Gesamtleistung
- Beschädigungswert
- Kartoffelverluste
- Absiebleistung der Siebkette.

## 3. Ergebnisse der Laborversuche

Die Laborversuche wurden statistisch ausgewertet und durch Regressionspolynome dargestellt. Dazu waren die Parameter in transformierter Form x\* einzusetzen:

$$x^* = \frac{x - x_0}{x_0 - x_{\min}}; \quad (1)$$

- x absoluter Wert des jeweiligen Eingangsparameters
- x<sub>0</sub> mittlerer Wert der entsprechend der statistischen Versuchsplanung vorgegebenen drei Stufen des jeweiligen Parameters
- x<sub>min</sub> entsprechender unterer Wert.

Die einzelnen Zielgrößen werden durch die Betriebs- und Konstruktionsparameter in folgender Weise beeinflusst.

### 3.1. Gutschichthöhe

$$h_{Sch} = (352,6 \pm 2,4) - (8,6 \pm 3,2) A^* - (12,0 \pm 2,9) f^* + (31,8 \pm 2,9) \alpha^* + (76,2 \pm 2,4) v_f^* + (23,2 \pm 5,5) A^* \alpha^* + (8,8 \pm 5,0) f^* \alpha^* - (12,5 \pm 4,8) A^{*2} + (11,0 \pm 4,0) \alpha^{*2} \quad (2)$$

Erwartungsgemäß steigt die Gutschichthöhe mit der Fahrgeschwindigkeit und mit dem Anstellwinkel an, nimmt aber mit zunehmender Amplitude und Frequenz, also mit wachsender Schwinggeschwindigkeit, ab.

### 3.2. Zugleistung

$$P_Z = (2,00 \pm 0,07) - (0,33 \pm 0,11) A^* + (1,60 \pm 0,10) v_f^* + (1,10 \pm 0,20) v_f^{*2} \quad (3)$$

Die Zugleistung steigt mit wachsender Fahrgeschwindigkeit parabolisch an. Von den beiden Komponenten der Schwinggeschwindigkeit wird nur die Amplitude als von signifikantem Einfluß ausgewiesen.

Bild 2. Ersatzgetriebe; 1 Gestell, 2 Kurbel (Exzenter), 3 Schubstange, 4 Schar, 5, 6 Schwingen

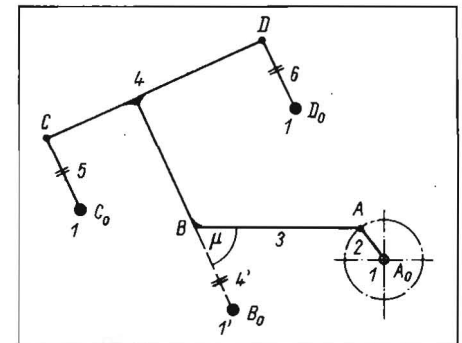
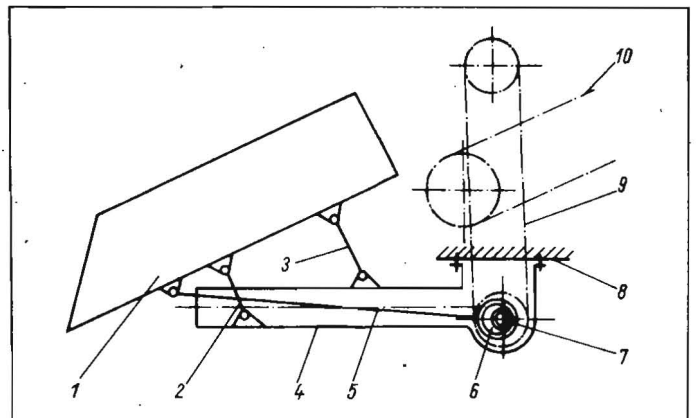


Bild 1 Versuchseinrichtung;

- 1 Rodeschar,
- 2, 3 Schwingen,
- 4 Längsholm,
- 5 Schubstange,
- 6 Exzenter,
- 7 Exzenterwelle,
- 8 Maschinenrahmen,
- 9 Exzenterantrieb,
- 10 Siebkette



### 3.3. Leerlaufdrehleistung

$$P_{DL} = (3,3 \pm 0,06) + (0,93 \pm 0,09) A^* + (0,95 \pm 0,08) f^* + (0,40 \pm 0,08) \beta_1^* + (0,84 \pm 0,08) \alpha^* + (0,35 \pm 0,15) f^* \alpha^* \quad (4)$$

Mit wachsender Amplitude und steigender Frequenz nimmt die in die schwingenden Massen zu indizierende kinetische Energie zu, und mit zunehmendem Scharanstellwinkel und Ablöschwingwinkel verschlechtern sich die Übertragungsverhältnisse.

### 3.4. Dammaufnahmedrehleistung

$$P_{DD} = (2,60 \pm 0,07) + (1,16 \pm 0,11) A^* + (0,35 \pm 0,10) f^* + (0,71 \pm 0,08) v_F^* + (0,65 \pm 0,11) A^* v_F^* + (0,37 \pm 0,20) \beta_1^* + (0,55 \pm 1,00) \alpha^{*2} \quad (5)$$

Der im Vergleich zur Frequenz starke Einfluß der Amplitude ist auf die mit der Amplitude wachsende Mehraufnahme an Bodenvolumen zurückzuführen.

### 3.5. Gesamtleistung

$$P_{Ges} = (7,96 \pm 0,13) + (1,78 \pm 0,19) A^* + (1,40 \pm 0,17) f^* + (0,70 \pm 0,17) \beta_1^* + (0,90 \pm 0,17) \alpha^* + (2,30 \pm 0,14) v_F^* + (0,44 \pm 0,20) \beta_1^* v_F^* + (0,90 \pm 0,24) \alpha^{*2} + (1,06 \pm 0,25) v_F^{*2} \quad (6)$$

Von bestimmendem Einfluß auf den Gesamtleistungsbedarf ist die Fahrgeschwindigkeit.

## 4. Ergebnisse der Feldversuche

Die Auswertung der Messungen erfolgte durch Regressionsanalyse mit Hilfe der Gaußschen Methode der kleinsten Quadrate.

### 4.1. Kartoffelbeschädigungen

Von Bedeutung sind die Kartoffelbeschädigungen ohne Anschnitte, da sie nicht durch das Wirkprinzip verursacht werden, sondern von der Lage der Kartoffelnester im Boden und von der Maschineneinstellung abhängig sind. Die empirischen Regressionsgeraden (Bild 3) haben mit zunehmender Frequenz fallende und mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit steigende Tendenz. Die Breite des Vertrauensbereichs bei  $p = 95\%$  zeigt jedoch, daß die genannten Tendenzen nicht signifikant sind. Als Aussage bleibt, daß die im Ergebnis der durchgeführten Versuchsfahrten ermittelten  $B_{w0A} = 0,2\%$  Massenanteil sehr niedrig waren. Sie werden damit erklärt, daß sich bereits bei den relativ geringen Schwinggeschwindigkeiten ( $f = 10$  Hz,  $A = 30$  mm) ein fließbettähnlicher Zustand einstellte, der mit Auftrieb der gegenüber den übrigen Haufwerken geringere Dichte aufweisenden Kartoffeln verbunden war. Außerdem führte die Übergabe des Gutes auf die Siebkette durch Werfen zu geringeren Beschädigungen, als das Abfräsen der Gutschicht durch die Siebkette bei passiven Dammaufnahmeelementen.

### 4.2. Kartoffelverluste

Mit steigender Frequenz nahmen die Kartoffelverluste zu (Bild 4). Das wird damit erklärt, daß entweder der Zeitpunkt des Dammaufbruchs früher eintrat und damit das Gut seitlich wegfließen konnte, noch bevor es von den Scharseitenwänden erfaßt wurde, oder daß an der Übergabestelle Schar – Siebkette mehr Knollen austraten.

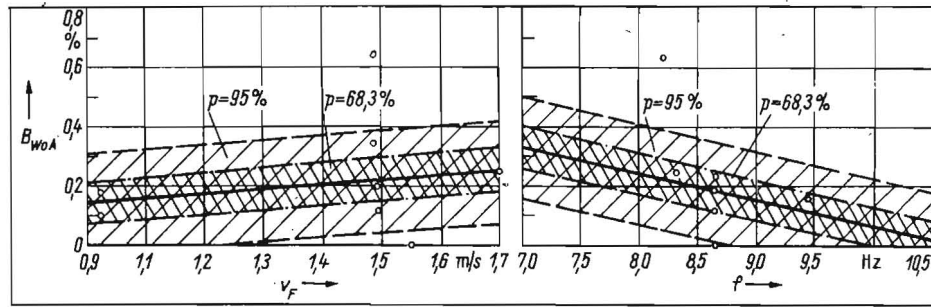


Bild 3. Beschädigungswert  $B_{w0A}$  als Funktion der Schwingfrequenz und der Fahrgeschwindigkeit

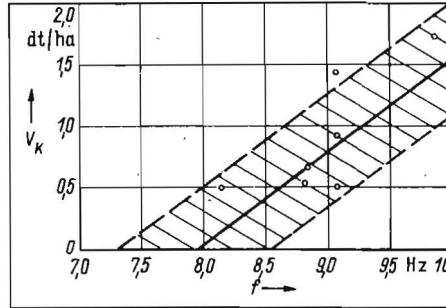


Bild 4. Kartoffelverluste als Funktion der Schwingfrequenz

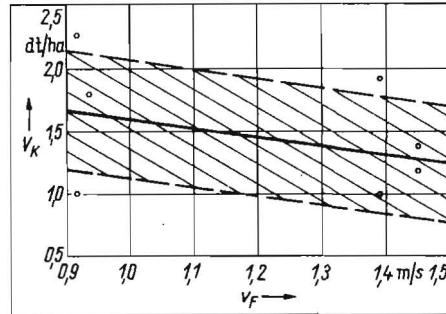


Bild 5. Kartoffelverluste als Funktion der Fahrgeschwindigkeit

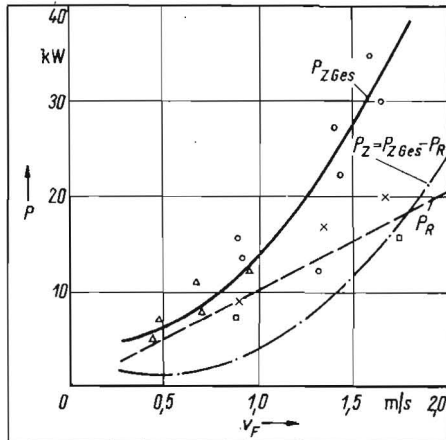
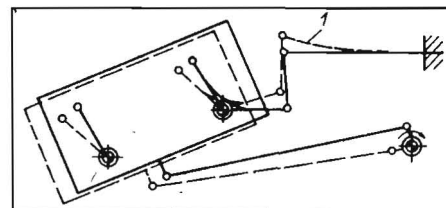


Bild 6. Zugleistung der Feldversuchseinrichtung als Funktion der Fahrgeschwindigkeit

Bild 7. Laborversuchseinrichtung mit Federspeicher (1)



Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit ist eine fallende Tendenz der Kartoffelverluste erkennbar (Bild 5). Zur Signifikanz dieser Aussage müssen jedoch die gleichen Einschränkungen wie bei den Beschädigungen getroffen werden.

### 4.3. Zugleistung

Die Zugleistung stieg mit der Fahrgeschwindigkeit parabolisch an. Sie wurde aus  $P_{ZGes}$  mit arbeitenden Dammaufnahmeelementen und  $P_R$  bei ausgehobenen Dammaufnahmeelementen gebildet (Bild 6):

$$P_Z = P_{ZGes} - P_R \quad (7)$$

## 5. Leistungsbedarf beim Einsatz eines Energiespeichers

Die Laborversuchseinrichtung wurde mit einem Biegeblatfederspeicher (Bild 7) Vergleichsuntersuchungen unterzogen. Dabei sank im Leerlauf der Leistungsbedarf durchschnittlich um 47% gegenüber der Ausführung ohne Energiespeicher, unter Belastung um 34% bei  $v_F = 0,5$  m/s, um 26% bei  $v_F = 1,0$  m/s und um 20% bei  $v_F = 1,5$  m/s. In jeder Versuchsreihe war die absolute Verringerung der Dammaufnahmedrehleistung konstant. Das bedeutet, daß die gespeicherte Energie von der angekoppelten Gutmenge unabhängig ist und nur von den Schwingungsparametern (hier Federweg und Frequenz) und den Konstruktionsparametern des Energiespeichers abhängt. Der absolute Wert der Leistungsbedarfsminderung war aber größer als im Leerlauf, also wurde ein Teil der kinetischen Energie der angekoppelten Gutmenge ebenfalls gespeichert.

## 6. Optimierungsrechnungen

Die Optimierungsrechnungen hatten das Ziel, diejenigen Werte ausgewählter Einflußgrößen zu bestimmen, bei denen die Zielgrößen Leistungsbedarf und Fördereffekt ihr Optimum erreichten.

### 6.1. Minimieren der Gesamtleistung

Der bestimmende Anteil an der Gesamtleistung ist die Zugleistung. Sie steigt wie beim passiven Dammaufnahmeelement parabolisch mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit an, während die Dammaufnahmedrehleistung auf relativ niedrigem Niveau nahezu konstant bleibt (Bild 8). Die Gutschichthöhe nimmt mit der Fahrgeschwindigkeit bei wachsender Fördergeschwindigkeit wegen der Stützwirkung des Dammes linear zu. Bei Verdopplung der Amplitude und nur geringer Zunahme der Frequenz erhöht sich der Gesamtleistungsbedarf bei nahezu gleichbleibender Gutschichthöhe nur unwesentlich, die Wurfkennzahl steigt aber von  $\Gamma = 0,6 \dots 1,3$  auf  $\Gamma = 1,1 \dots 3,3$ . Der Betriebszustand auf dem Dammaufnahmeelement wechselt vom Schüttelrutschenbetrieb zum Wurförderbetrieb.

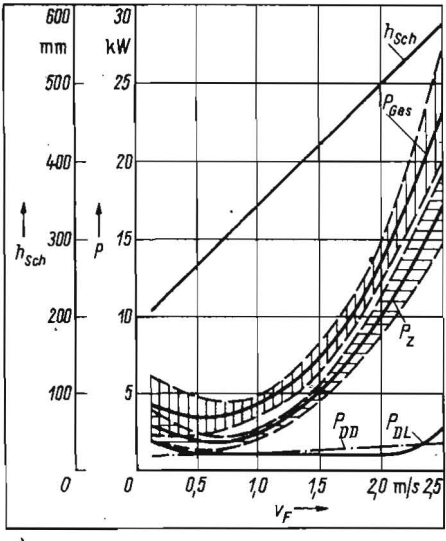


Bild 8. Leistungsbedarf und Gutschichthöhe als Funktion der Fahrgeschwindigkeit bei  $P_{Ges} \rightarrow$  Minimum

6.2. Minimieren der Zugleistung

Vergleicht man die Ergebnisse der Optimierungsrechnung zur Minimierung der Zugleistung mit der zur Minimierung der Gesamtleistung (Bild-9), so wird erkennbar, daß es nicht sinnvoll ist, das Schwingungsregime nach der Zugleistung auszurichten. Einer nur unwesentlichen Senkung der Zugleistung bei zunehmender Gutschichthöhe steht eine merklich höhere Gesamtleistung gegenüber.

6.3. Minimieren der Gutschichthöhe

Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse mit vergleichbaren Werten der Minimierung der Gesamtleistung ergibt sich eine deutliche Verminderung der Gutschichthöhe. Die Gesamtleistung nimmt um rd. 6 kW zu. Die Zugleistung wird noch stärker verringert als

bei der Minimierung von  $P_Z$  (Bild 10). Die Wurfkennzahl liegt bei  $\Gamma \geq 2$ .

6.4. Minimieren der Motorleistung

Mit angenommenen mittleren Werten für die Wirkungsgrade,  $\eta_\mu, \eta_S = 0,65$  und  $\eta_{Ga} = 0,86$  wurde über die Zugleistung und die Drehleistung die effektive Motorleistung berechnet (Bild 11). Im Bereich von  $0,5 \text{ m/s} \leq v_F \leq 1,5 \text{ m/s}$  ist die Auslegung des Schwingungsregimes nach der kleinsten Gesamtleistung der Minimierung der Zugleistung und der Gutschichthöhe überlegen. Diese Überlegenheit vermindert sich im Bereich  $1,5 \text{ m/s} \leq v_F \leq 2,5 \text{ m/s}$ , und es wird zunehmend auch energetisch günstiger, das Schwingungsregime nach der kleinsten Gutschichthöhe auszuwählen und damit die geforderten technologischen Effekte zum Wirken zu bringen.

6.5. Spezifischer Energiebedarf

Der spezifische Energiebedarf ist der Energiebedarf je 1 m bearbeiteter Dammlänge. Er hat jeweils ein Minimum, das bei der untersuchten Versuchseinrichtung bei etwa  $1 \text{ m/s} \leq v_F \leq 1,5 \text{ m/s}$  liegt (Bild 12). Da die geforderten technologischen Effekte nur bei Wurfkennzahlen  $1,6 < \Gamma < 2,6$  eintreten [2], sollte das Schwingungsregime nach der kleinsten Gutschichthöhe ausgelegt werden.

7. Zusammenfassung

Die Untersuchungen zeigten, daß der Einsatz schwingender Dammaufnahmeelemente unter extremen Einsatzbedingungen sinnvoll ist, wenn bestimmte optimale Konstruktions- und Betriebsparameter eingehalten werden. Dann werden technologische Effekte, wie Klutenzerkleinerung, gutschonende Kartoffelaufnahme bei niedrigen Verlusten und hohe Förderleistung, wirksam. Die günstigste Fahrgeschwindigkeit liegt bei etwa  $1,5 \text{ m/s}$ . Die aus den Bildern ablesbaren Werte für

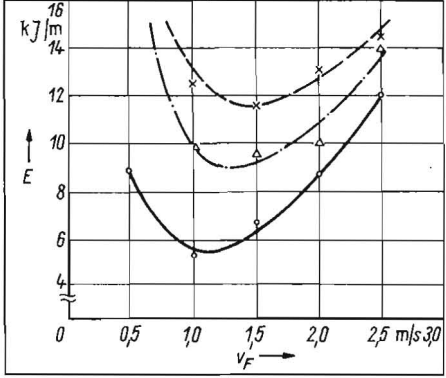


Bild 12. Spezifischer Energiebedarf als Funktion der Fahrgeschwindigkeit;  
 —  $P_{Ges} \rightarrow$  Minimum ( $\Gamma = 0,7$ )  
 - - -  $P_Z \rightarrow$  Minimum ( $\Gamma = 1,1$ )  
 - - -  $h_{Sch} \rightarrow$  Minimum ( $\Gamma = 2,7$ )

den Leistungsbedarf lassen sich nicht verallgemeinern, da die Laborversuchseinrichtung über Ausgleichmassen verfügte und dadurch eine größere Drehleistung benötigte, als für ein Dammaufnahmeelement an der mehrreihigen Feldversuchseinrichtung erforderlich war.

Literatur

[1] Delitz, M.: Untersuchungen zur Optimierung schwingender Dammaufnahmeelemente für Kartoffelerntemaschinen hinsichtlich Fördereffekt und Leistungsbedarf unter Beachtung agro-technischer Forderungen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation 1987 (unveröffentlicht).  
 [2] Sorokin, A. A.: Rasčet parametrov kolebanii lemecha kartofeleuboročnych mašin (Berechnung der Parameter des schwingenden Rodeschares von Kartoffelerntemaschinen). Mech. i. elektr. soc. sel'sk. choz., Moskva 21 (1963) 11, S. 4  
 A 5251

Bild 9. Leistungsbedarf und Gutschichthöhe als Funktion der Fahrgeschwindigkeit bei  $P_Z \rightarrow$  Minimum;

- Ergebnisse  $P_Z \rightarrow$  Minimum
- - - Schätzwerte der Gesamtleistung mit der Parameterkombination aus  $P_Z \rightarrow$  Minimum
- - - Vergleichswerte aus  $P_{Ges} \rightarrow$  Minimum

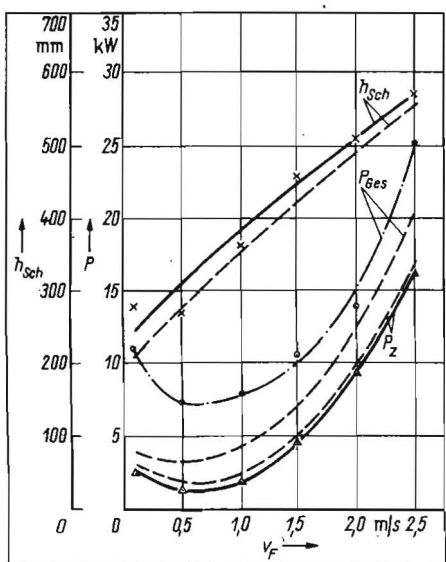


Bild 10. Leistungsbedarf und Gutschichthöhe als Funktion der Fahrgeschwindigkeit bei  $h_{Sch} \rightarrow$  Minimum;

- Ergebnisse  $h_{Sch} \rightarrow$  Minimum
- - - Schätzwerte der Zugleistung und der Gesamtleistung mit den Parameterkombinationen aus  $h_{Sch} \rightarrow$  Minimum
- - - Vergleichswerte aus  $P_{Ges} \rightarrow$  Minimum

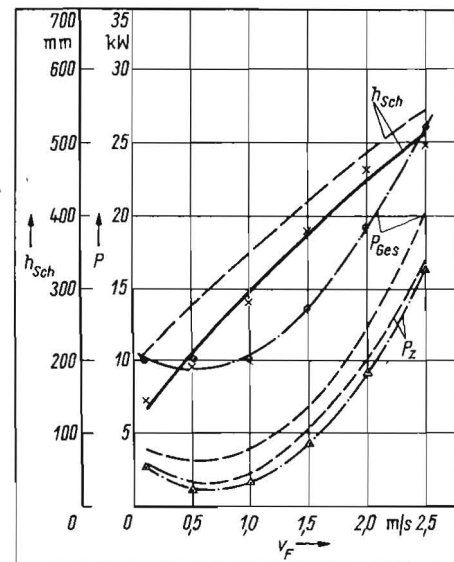


Bild 11. Zugleistung, Gesamtleistung und effektive Motorleistung als Funktion der Fahrgeschwindigkeit;

- $P_{Ges} \rightarrow$  Minimum
- - -  $P_Z \rightarrow$  Minimum
- - -  $h_{Sch} \rightarrow$  Minimum

