

Die Zuordnung von Schlepper und Pflug

Von Rüdiger Krause, Braunschweig-Völkenrode¹⁾

Die landwirtschaftliche Bodenbearbeitung findet unter besonders stark wechselnden Einsatzbedingungen statt. Diesen Bedingungen muß bei der Zusammenstellung von Gerät und Energiequelle Rechnung getragen werden. Durch eine gute Anpassung von Pflug und Schlepper kann die Wirtschaftlichkeit des Arbeitsaufwandes optimiert werden. Zeit und Energie können eingespart und der Arbeiterfolg verbessert werden. Ausgehend von den auf dem Markt befindlichen Schleppern und Pflügen sowie von den für die inländische Landwirtschaft maßgebenden Verhältnissen bei der Pflugarbeit wird ein Diagramm für die Zuordnung von Schlepper und Pflug entwickelt und erörtert.

Für Schlepper- und Pflugkonstruktoren sowie für den praktischen Landwirt ist es gleichermaßen wichtig, Unterlagen für die Zuordnung von Schlepper und Pflug zu erhalten. Die landläufigen Meinungen, daß beim Pflügen 17 oder 20 PS/Furche benötigt werden, oder daß der Schlepper ein Leistungsgewicht von 50 oder 60 kg/PS oder eine Gewichtsverteilung haben sollte, bei der die Hinterachslast im Stand 63% des Eigengewichts ausmacht ($B_0/G_{Schl} = 0,63$, Bild 1), treffen nicht zu.

Zahlreiche Faktoren beeinflussen die richtige Zuordnung von Schlepper und Gerät, weshalb es auch keine Darstellung gibt, aus der auf einfache Weise zu einem bestimmten Pflug der Schlepper passender Größe gefunden werden kann oder umgekehrt. Im folgenden wird versucht, eine Darstellung zu finden, die für durchschnittliche Verhältnisse ausreicht, extreme Fälle aber nicht berücksichtigt. Als Grundlage hierfür werden 13 einzelne Diagramme benutzt, wobei manche Annahmen zu machen sind.

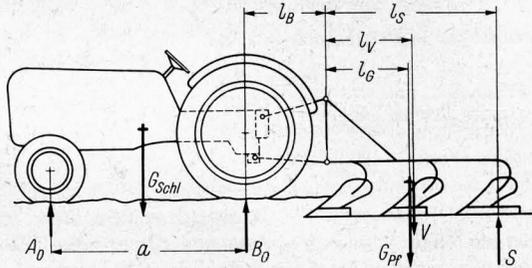


Bild 1. Vertikale Kräfte am Schlepper und am Pflug.

Die einzelnen Diagramme verfolgen häufig noch mehrere Varianten, um Tendenzen aufzuzeigen und dem Konstrukteur die Herstellung des Enddiagramms mit eigenen Werten zu erleichtern. Das ermittelte Enddiagramm gilt für Anbau-Beet- und -Kehrpflüge bei Arbeiten in der Ebene. Zur Ermittlung der optimalen Zuordnung von Aufsattelpflügen und Schleppern laufen noch Versuche.

Die Schlepper

Über hundert der 1964 in der Bundesrepublik am häufigsten verkauften Schleppertypen mit Hinterradantrieb werden hinsichtlich Leistung, Eigengewicht, Gewichtsverteilung, Zusatzlast und Radstand verglichen. Bei mehreren Kenngrößen ist weitgehende Übereinstimmung der verschiedenen Schleppertypen festzustellen. Bild 2 zeigt die Abhängigkeit von Motorleistung und Eigengewicht.

¹⁾ Der Verfasser dankt Herrn Dipl.-Ing. H. Skalweit, vormals am Institut für Schlepperforschung der FAL, jetzt Leiter der Dokumentationsstelle Landtechnik, für die Anregung zu dem Thema und die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit.

Dipl.-Ing. Rüdiger Krause ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Baader) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

ermöglichen, wurde für die Darstellung ein doppeltlogarithmisches Netz gewählt, bei dem die Linien konstanten Leistungsgewichtes parallel verlaufen. Im Vergleich zu den Vorjahren [1] wurden die Schlepper wieder ein wenig „kompakter“. Besonders in den Leistungsklassen unter 25 PS sind 70 kg/PS nicht selten.

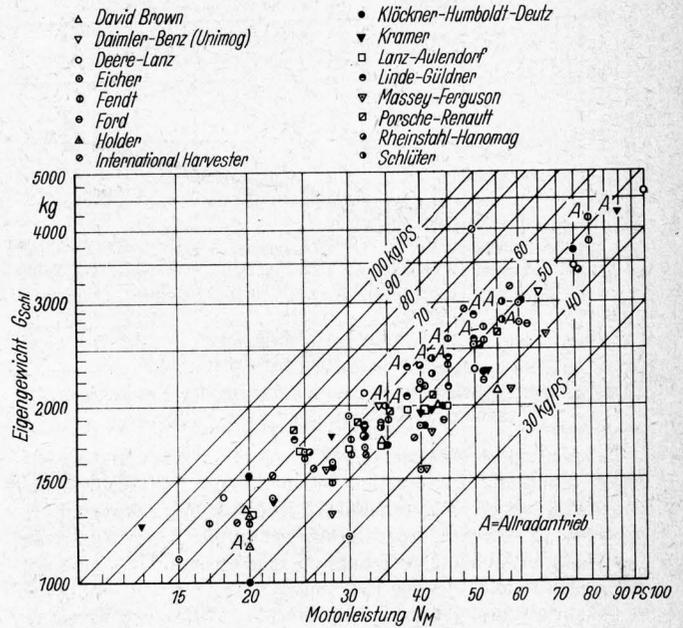


Bild 2. Eigengewicht und Motorleistung bei den 1965 in der Bundesrepublik am meisten verkauften Schleppern. Stand September 1965

Im Mittel ergeben sich 50 kg/PS. Die Streuungen sind nicht sehr hoch. Die Gewichtsverteilung nähert sich einem festen Wert ($B_0/G_{Schl} = 0,626$). In Bild 3 ist der Radstand der Schlepper in Abhängigkeit von der Motorleistung dargestellt, da eine eindeutige Zuordnung zu dem durch Zusatzlasten variablen Gesamtgewicht nicht möglich ist. Die Größe des Radstandes steigt nach einer Exponentialfunktion mit der Motorleistung. Die Schlepper würden bei linearer Abhängigkeit von Eigengewicht und Radstand zu lang werden und damit an Wendigkeit und freiem Blickfeld für den Fahrer verlieren. Starke Schwankungen treten bei den Angaben der möglichen Zusatzgewichte (25% bis 100% des Eigengewichtes) auf. Im Mittel werden bis 54% des Eigengewichtes an Zusatzlast, verteilt auf Vorder- und Hinterachse, angegeben.

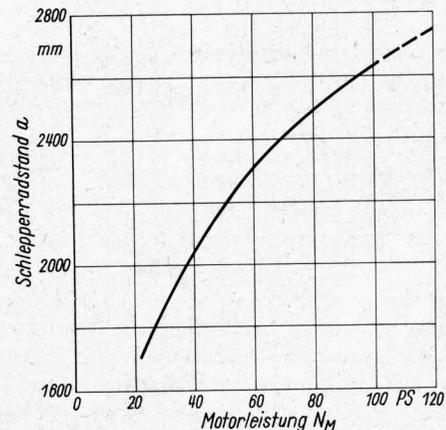


Bild 3. Mittlerer Radstand der in Bild 2 ausgewählten Schlepper in Abhängigkeit von der Motorleistung.

Die Pflüge

Ebenso wurde eine Vielzahl von Pflügen gleicher Nennarbeitstiefe und gleicher Pflugkörperform von fünf großen Herstellern verglichen. Es wurden drei Gewichtsklassen für Pflüge mit 25 cm Nenntiefe gebildet. Bild 4 läßt erkennen, daß das Gewicht nicht proportional mit der Furchenzahl sondern in Form von Exponentialfunktionen steigt. Der Grund dafür dürfte darin liegen, daß beim Übergang von n_F auf $n_F + 1$ Pflugkörper nicht einfach ein Körper an den Rahmen angehängt werden kann, sondern der ganze Rahmen entsprechend den größeren Kräften verstärkt werden muß.

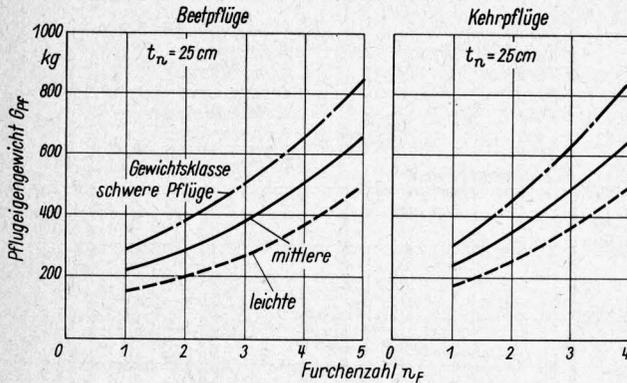


Bild 4. Eigengewichte in Abhängigkeit von der Furchenzahl für leichte, mittlere und schwere Pflüge.

Der horizontale Abstand der Pflugschwerpunkte von der vertikalen Kupplungsebene steigt bei den Beet- und Kehrpflügen progressiv mit der Furchenzahl. In Bild 5 ist der Schwerpunktsabstand zu der Schlepperhinterachse unter Berücksichtigung der veränderten Länge der unteren Lenker beim Übergang von Kategorie I auf Kategorie II (Sprung) aufgetragen. (Bei Pflügen mit mehr als zwei Scharen wurde mit den Maßen von Kategorie II, also mit den längeren unteren Lenkern, gerechnet.) Die geringfügige Verschiebung des Schlepperaufstandpunktes vor die senkrechte Ebene durch die Hinterachse, als Folge des Rollwiderstandes, wurde in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt.

Ermittlung der Achslasten und des Schleppergewichtes

Für die Zuordnung von Schlepper und Pflug müssen einige Annahmen und Voraussetzungen getroffen werden. Die Furchentiefe wird mit $t_n = 25$ cm gewählt; diese Größe ist für Deutschland nahezu Standardtiefe geworden. Bei einem Verhältnis der Breite zur Tiefe von 1,2 wäre die dazugehörige Breite $b_n = 30$ cm. Dieses Verhältnis sollte für eine einwandfreie Arbeit der jeweiligen Bodenart angepaßt werden (für sehr schwere Böden

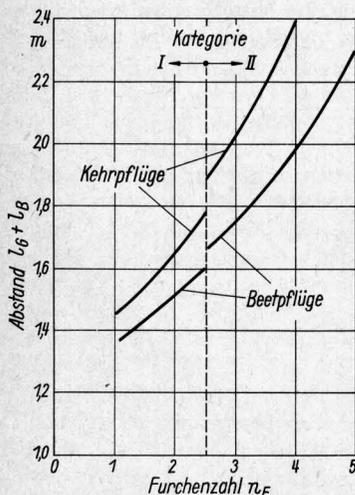


Bild 5. Horizontaler Abstand der Pflugschwerpunkte von der Aufstandslinie der Schlepperhinteräder in Abhängigkeit von der Furchenzahl.

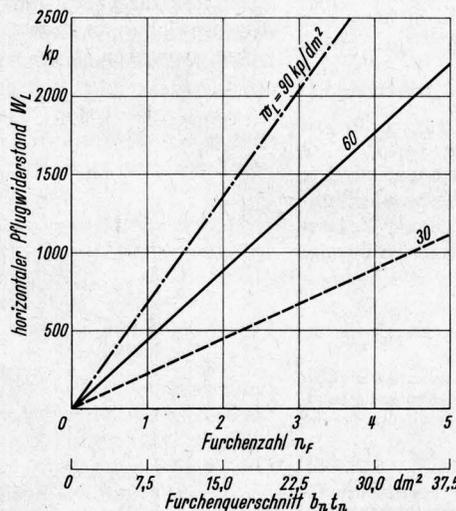


Bild 6. Längskraft W_L ein- und mehrfurchiger Pflüge für verschiedenen spezifischen Zugwiderstand auf unterschiedlichen Böden.

$b_n/t_n = 1,4$, für Sandböden $b_n/t_n = 1,0$ [2]). Bei dem gewählten Furchenquerschnitt von $7,5 \text{ dm}^2$ kann diese Fläche auch nach einem anderen Verhältnis aufgeteilt werden, ohne die Gültigkeit der Diagramme zu beeinflussen. Der horizontale Zugwiderstand ist zwar mit der Tiefe veränderlich, kann aber innerhalb der hier möglichen Grenzen als konstant angenommen werden. (Bei Verhältnis $b_n/t_n = 1,4$ ergibt sich für diesen Furchenquerschnitt eine Tiefe von 23 cm und eine Breite von 32,5 cm, bei einem Verhältnis $b_n/t_n = 1,0$ ein Quadrat von $27,5 \times 27,5$ cm.)

Um nun eine Furche des genannten Querschnittes zu pflügen, ist eine bestimmte Längskraft erforderlich. Bezieht man die Längskraft auf den Furchenquerschnitt, so kommt man zu einem spezifischen Zugwiderstand und unter Berücksichtigung der Pflugkörperform, Pflugeinstellung und des Bodenzustandes auf die für den Schlepper entscheidende Zugkraft.

Folgende Größen des spezifischen Zugwiderstandes sollen drei Böden charakterisieren, wobei auch Pflugkörperform und -einstellung einen gewissen Einfluß haben:

$$\begin{aligned} \text{leicht: } w_L &= 30 \text{ kp/dm}^2 \\ \text{mittel: } w_L &= 60 \text{ kp/dm}^2 \\ \text{sehr schwer: } w_L &= 90 \text{ kp/dm}^2. \end{aligned}$$

Leicht, mittel und sehr schwer beziehen sich auf die Bearbeitbarkeit des Bodens; insofern kann ein Sandboden durchaus schwer zu bearbeiten sein.

Der horizontale Pflugwiderstand W_L wird in Abhängigkeit vom Furchenquerschnitt für die genannten Werte der spezifischen Zugwiderstände w_L berechnet:

$$W_L = w_L b_n t_n$$

und in Bild 6 dargestellt.

Um diesen Pflugwiderstand abzudecken und den Rollwiderstand R_A der Vorderräder aufzubringen, ist eine Triebkraft T notwendig [3]:

$$T = W_L + R_A.$$

Die erforderliche Betriebsachslast ist

$$B_{\text{ert}} = T/\kappa,$$

wobei κ der Triebachsbeiwert ist. Damit wird

$$B_{\text{ert}} = \frac{W_L + R_A}{\kappa}.$$

Da der Rollwiderstand der Vorderachse infolge der starken Entlastung beim Pflügen klein ist und die erforderliche Zugleistung nur unwesentlich beeinflusst, soll er hier vernachlässigt werden:

$$B_{\text{ert}} = W_L/\kappa.$$

Der Triebkraftbeiwert ist abhängig von dem Bodenzustand (besonders Dichte, Feuchtigkeit, Kohäsion) und von den Reifen

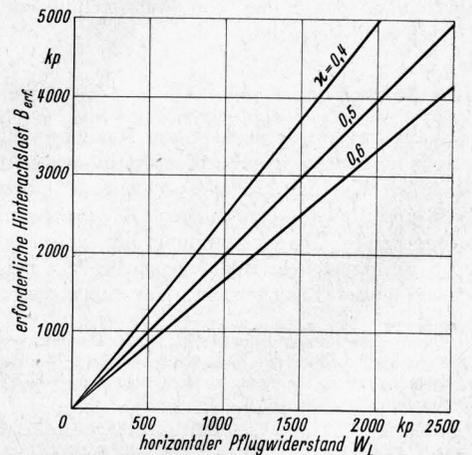


Bild 7. Zur Überwindung bestimmter Pflugwiderstände W_L erforderliche Hinterachslast für verschiedene Triebkraftbeiwerte (Annahme $R_A = 0$).

(Form, Luftdruck, Profil, Abnutzungsgrad, Belastung). In **Bild 7** ist für einige in Messungen ermittelte κ -Werte bei trockenem bis schmierigem Boden [4] die erforderliche Betriebsachslast in Abhängigkeit von dem horizontalen Pflugwiderstand dargestellt.

Bei Anbaupflügen — besonders mit regelndem Kraftheber — ergibt sich eine zusätzliche Belastung ΔB der Hinterachse durch die senkrechten Kräfte V auf die Pflugkörper und das Pfluggewicht G_{PF} , abzüglich der Sohlenkraft S , sowie durch die Entlastung der Schleppervorderachse:

$$\Delta B = G_{PF} + V - S + \frac{G_{PF}(l_G + l_B) + V(l_V + l_B) - S(l_S + l_B)}{a}$$

l_G , l_V und l_S sind die horizontalen Abstände der Kraftwirkungslinien von der Kupplungsebene, l_B der horizontale Abstand der Schlepperaufstandslinie von der Kupplungsebene und a der Radstand des Schleppers, Bild 1.

Die horizontale Komponente aller am Pflug angreifenden Kräfte leistet keinen Beitrag zur zusätzlichen Belastung der Schlepperrückachse. Nach den bisherigen Erfahrungen geht sie nämlich bei der gewählten Darstellung (Schlepperaufstandsebene waagrecht, Pflug aus der Vertikalebene gedreht) durch die sich deckenden Aufstandspunkte der Schleppertriebbräder, bildet also kein die Vorderachse entlastendes Moment um diese Linie.

Zur Berechnung der zusätzlichen Belastung ΔB werden die Pfluggewichte und die entsprechenden Schwerpunktsabstände — unter Berücksichtigung des Überganges auf Kategorie II bei Pflügen für mehr als zwei Furchen — aus Bild 4 und 5 verwendet. Der Schlepperradstand wird jeweils als mittlerer Wert der Radstände der zugrunde gelegten Schlepper gleicher Größe aus Bild 3 entnommen. In **Bild 8** ist die für jede Pflugart berechnete zusätzliche Hinterachsbelastung unter der Annahme aufgetragen, daß die senkrecht auf den Pflugkörper wirkende Kraft V Null und auch keine Sohlenkraft mehr vorhanden ist. Bei einer anderen Furchentiefe und Pflugkörperform könnte auch ein anderes V auftreten; es wurde hier $V = 0$ gewählt, um auf der sicheren Seite zu liegen.

Verwendete Formelzeichen

A_0 kp	statische Vorderachslast des Schleppers
A_{min} kp	Mindest-Vorderachslast des Schleppers
a mm	Radstand des Schleppers
B_0 kp	statische Hinterachslast des Schleppers
B_{ert} kp	erforderliche Hinterachslast des Schleppers
ΔB kp	zusätzliche Belastung der Hinterachse durch den Pflug
b_n cm	(Nenn =) Furchenbreite
G_{PF} kp	Pflugeigengewicht
G_{Schl} kp	Schleppereigengewicht
l_B mm	Abstand der Kupplungsebene von der Schlepperrückachse
l_G mm	Abstand des Pflugschwerpunktes von der Kupplungsebene
l_S mm	Abstand der Sohlenkraft S von der Kupplungsebene
l_V mm	Abstand der resultierenden Vertikalkraft V von der Kupplungsebene
n_F —	Furchenzahl
N_M PS	Motorleistung des Schleppers
R_A kp	Rollwiderstand der Schleppervorderachse
R_S kp	Rollwiderstand des gesamten Schleppers
S kp	Sohlenkraft
T kp	Triebkraft des Schleppers
t_n cm	(Nenn =) Furchentiefe
V kp	Summe der Vertikalkräfte auf die Pflugkörper durch den Bodenbalken
V_E kp	Entlastung der Schleppervorderachse
v km/h	Arbeitsgeschwindigkeit
v_0 km/h	konstruktive Fahrgeschwindigkeit (ohne Schlupf)
W_L kp	Längskraft — horizontale Komponente des Pflugwiderstandes
w_L kp/dm ²	spezifischer Pflugwiderstand
Z kp	parallel zur Fahrbahn verlaufende Zugkraft des Schleppers
η_G —	Wirkungsgrad des Schleppergetriebes
κ —	Triebkraftbeiwert des Schleppers
λ —	Motorbelastung
e —	Rollwiderstandsbeiwert

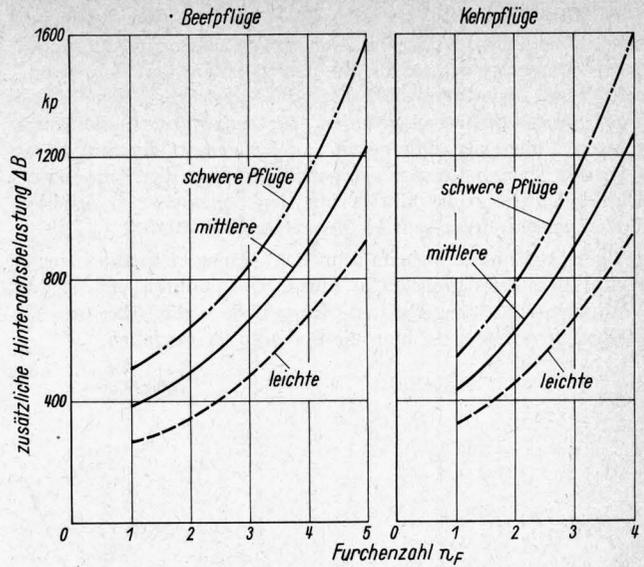


Bild 8. Durch Pflüge verschiedener Gewichtsklassen zu erwartende zusätzliche Belastung der Schlepperrückachse in Abhängigkeit von der Furchenzahl (Annahmen: $V = 0$, $S = 0$).

Die aus Bild 7 abgelesene erforderliche Hinterachslast, vermindert um die für Bild 8 berechnete Zusatzlast, ergibt die in **Bild 9** dargestellte statische Hinterachslast $B_0 = B_{ert} - \Delta B$.

Für einen Pflug bestimmter Furchenzahl und Gewichtsklasse kann die errechnete statische Hinterachslast B_0 des passenden Schleppers bei der Arbeit auf leichtem, mittlerem oder schwerem Boden mit den vorher erläuterten Annahmen abgelesen werden. Bei einfurchtigen schweren Kehrpfügen wird die für leichten Boden errechnete statische Hinterachslast B_0 des Schleppers negativ, d. h., allein der Pflug bringt schon mehr Hinterachslast als notwendig ($\Delta B > B_{ert}$). Man wird allerdings auch kaum einen schweren Kehrflug für leichten Boden verwenden. Ein zweiter Maßstab für die Ordinate zeigt, daß die errechnete statische Hinterachslast B_0 beim Übergang von $\kappa = 0,5$ auf $\kappa = 0,4$ bereits um 30% steigt.

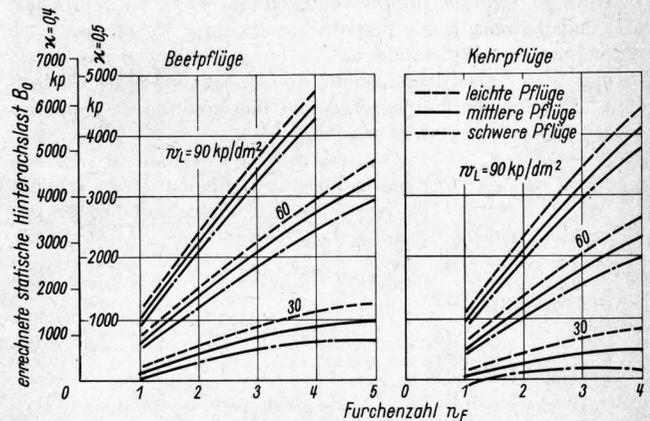


Bild 9. Errechnete statische Hinterachslast des Schleppers beim Pflügen verschiedener Böden mit verschieden schweren Pflügen (1- bis 5furchig) und für zwei verschiedene Triebkraftbeiwerte κ .

Um festzustellen, ob die Vorderachse nicht so weit entlastet wird, daß keine ausreichende Lenksicherheit mehr gewährleistet ist, muß die Vorderachsentlastung für den ungünstigsten Fall berechnet werden:

$$V_E = \frac{G_{PF}(l_G + l_B) + V(l_V + l_B) - S(l_S + l_B)}{a}$$

Hierbei wird entsprechend früheren Meßergebnissen [5] eine verhältnismäßig hohe Vertikalkraft von $V = 100$ kp je Furche eingesetzt (im Gegensatz zur Berechnung von B_0), um eine genügende Sicherheit zu haben. Wieder wird angenommen, daß keine Sohlenkraft S vorhanden ist. Da die Wirkungslinien der Schwerkraft G_{PF} und der Vertikalkraft V im allgemeinen dicht beieinander liegen, können l_V und l_G gleich groß gewählt werden.

In **Bild 10** ist die Vorderachsentslastung in Abhängigkeit von den auftretenden Kräften und ihren Hebelarmen aufgetragen. Die Entlastung wurde für die auf leichtem, mittlerem und schwerem Boden erforderlichen Schlepper gerechnet; dabei wurde aus Sicherheitsgründen für alle Bodenverhältnisse schwere Pflüge zugrunde gelegt. Auch hier tritt der Sprung infolge des Überganges von Kategorie I auf II in den Kurven auf. Die besonders große Entlastung der Schlepper für leichten Boden liegt an deren sehr kleinem Radstand (**Bild 3**).

Beim Anfahren und beim schnellen Transport kommen senkrechte Beschleunigungskräfte hinzu. Die dadurch verursachte Vorderachsentslastung wird im Normalfalle nicht höher sein als die hier errechnete, da dann die Bodenkräfte wegfallen.

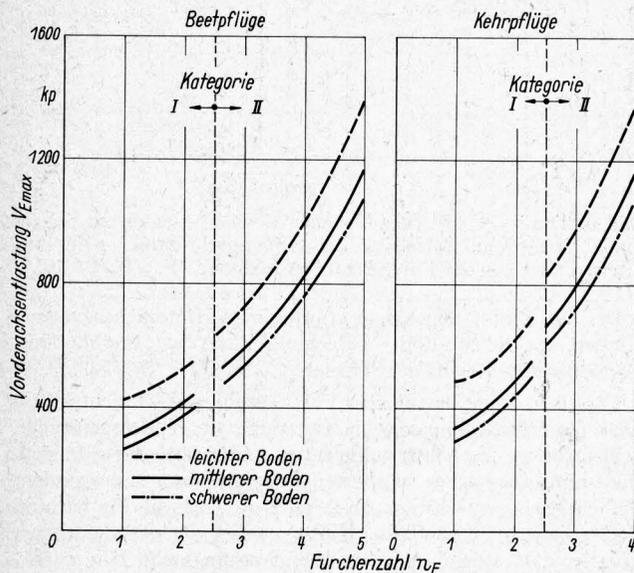


Bild 10. Für verschiedene Furchenzahl und unterschiedlichen Boden errechnete maximale Vorderachsentslastung der Schlepper (Annahmen: schwere Pflüge und große abwärts wirkende Vertikalkraft $V = 100 \text{ kp/Furche}$ und $S = 0$).

Nach Errechnung der notwendigen statischen Hinterachslast B_0 und der möglichen Vorderachsentslastung V_E können nach Annahme des Radstandes a für einen Schlepper aus einem System von drei Gleichungen mit drei Unbekannten die Mindestlast A_{\min} für die Vorderachse und das gesamte Schleppergewicht G_{Schl} berechnet werden:

$$A_{\min} = 0,25 \frac{G_{\text{Schl}}}{a} \quad [6] \quad (1)$$

$$A_0 = A_{\min} + V_E \quad (2)$$

$$G_{\text{Schl}} = A_0 + B_0 \quad (3)$$

aus (2) und (3):

$$G_{\text{Schl}} = A_{\min} + V_E + B_0 \quad (4)$$

aus (1) und (4):

$$G_{\text{Schl}} = 0,25 \frac{G_{\text{Schl}}}{a} + V_E + B_0 \quad (5)$$

$$G_{\text{Schl}} = \frac{V_E + B_0}{1 - \frac{0,25}{a}} \quad (6)$$

$$A_0 = G_{\text{Schl}} - B_0 \quad (7)$$

Die in **Bild 11** eingezeichneten Strahlenbündel geben das Verhältnis von B_0/G_{Schl} an. Man sieht deutlich, daß sich die notwendige statische Achslastverteilung des Schleppers stark mit dem spezifischen Pflugwiderstand ändert. Da aus Sicherheitsgründen zur Berechnung der Vorderachsentslastung auch für leichte Böden schwere Pflüge zugrunde gelegt wurden, ergibt sich eine extreme Gewichtsverteilung für leichte Böden.

Es sei an dieser Stelle betont, daß nach Ermittlung der erforderlichen Achslasten jeweils nachzuprüfen ist, ob die baulich und gesetzlich zulässigen Getriebebelastungen und Achslasten nicht überschritten werden, wobei die gesetzlichen Bestimmungen

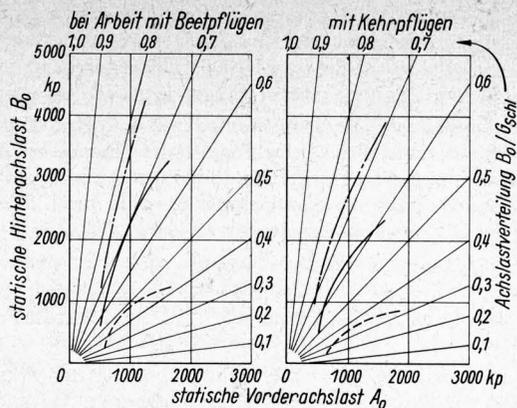


Bild 11. Errechnete Beziehung zwischen statischer Vorder- und Hinterachslast bei Verwendung von schweren Pflügen auf verschiedenen Böden. Anhand der eingezeichneten Strahlen kann das Verhältnis B_0/G_{Schl} abgelesen werden.

nur für den Straßentransport gelten und bei der Feldarbeit unter dem Einfluß der Bodenkräfte ohne Bedenken überschritten werden können.

Ermittlung der Motorleistung

Obwohl allerorts die Forderung nach größerer Pfluggeschwindigkeit laut wird, ist unter den augenblicklichen Verhältnissen mit Rücksicht auf die Arbeitsqualität und die physische Belastung des Fahrers nur selten eine größere Arbeitsgeschwindigkeit als 6 km/h zu erreichen, die dann aber nicht unterschritten werden sollte, um mit einem möglichst geringen Leistungsgewicht des Schleppers auszukommen. Damit soll aber nichts gegen das Streben nach größeren Geschwindigkeiten mit anderen Werkzeugen bzw. Werkzeugformen und geeigneten Schleppern gesagt sein.

Der zulässige Schlupf wird mit 20% verhältnismäßig niedrig angenommen, um bei steigendem Schlupf noch eine Zugfähigkeitsreserve zu haben und ein Festfahren zu vermeiden. Die „konstruktive“ Fahrgeschwindigkeit (ohne Schlupf) errechnet sich daraus zu $7,5 \text{ km/h}$. Die erforderliche Motorleistung ist:

$$N_M = v_0 \frac{W_L + R_S}{270 \eta_G \lambda} \quad [\text{PS}].$$

Der Wirkungsgrad des Schleppergetriebes wird mit $\eta_G = 0,85$ angesetzt. Die Motorbelastung kann bei Zahnradschaltgetrieben mit $\lambda = 0,83$ angenommen werden [7].

Der Rollwiderstand $R_S = G_{\text{Schl}} \rho$, **Bild 12**, steigt linear mit dem Gewicht bzw. der Leistung (Annahme: mittlerer Rollwiderstand der vier Räder $\rho = 0,1$). Er ist ein recht beachtlicher Faktor und erfordert bis zu 25% der zur Verfügung stehenden Zugkraft. Zur Ermittlung des Rollwiderstandes muß ein Leistungsgewicht angenommen werden. In der weiteren Rechnung zeigt sich dann,

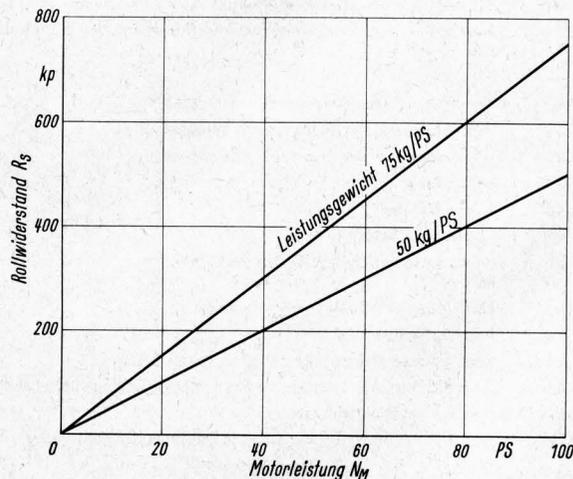


Bild 12. Rollwiderstand R_S des Schleppers in Abhängigkeit von der Motorleistung bei Schleppern mit zwei verschiedenen Leistungsgewichten.

ob die Annahme richtig war, oder ob das passende Leistungsgewicht in einem Iterationsverfahren ermittelt werden muß.

In **Bild 13** ist die erforderliche Leistung N_M über dem horizontalen Zugwiderstand aufgetragen. Bei 6 km/h Arbeitsgeschwindigkeit reicht im allgemeinen ein Leistungsgewicht von 50 kg/PS aus. Ist infolge eines ungünstigen Triebkraftbeiwertes dagegen ein höheres Leistungsgewicht (75 kg/PS) erforderlich, so kann auch für diesen Fall die Leistung abgelesen werden. Eine zweite Leistungsskala gilt für eine Arbeitsgeschwindigkeit von 4 km/h.

In **Bild 14** sind aufgrund von Bild 6 und 13 die erforderliche Leistung in Abhängigkeit von der Furchenzahl und der Einfluß der Geschwindigkeit gezeigt.

Zuordnung von Schlepper und Pflug

Aus den bisherigen Zwischenergebnissen lassen sich nun die Nomogramme in **Bild 15** und **16** für die Zuordnung von Schlepperleistung, -gewicht und Pflug unter den oben erläuterten Voraus-

setzungen aufstellen. Um die Darstellung einfach zu halten, und den tatsächlichen Verhältnissen nahe zu kommen, ist in den Bildern für leichten Boden ein leichter Pflug, für schweren Boden ein schwerer Pflug eingezeichnet. Natürlich muß man bei der Bestimmung von Leistung und Gewicht jeweils vom gleichen

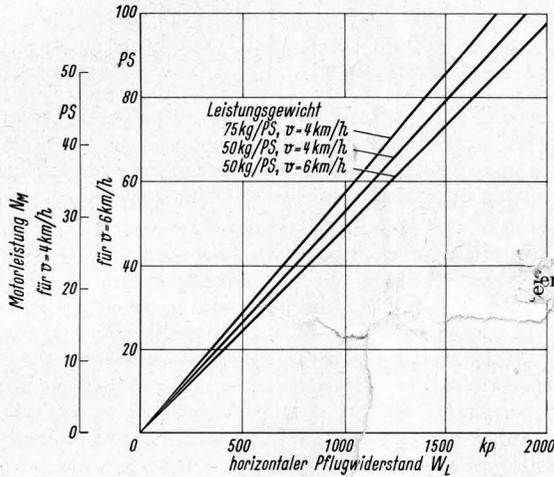


Bild 13. Erforderliche Motorleistung zur Überwindung bestimmter horizontaler Pflugwiderstände bei verschiedenen Geschwindigkeiten und zwei Leistungsgewichten.

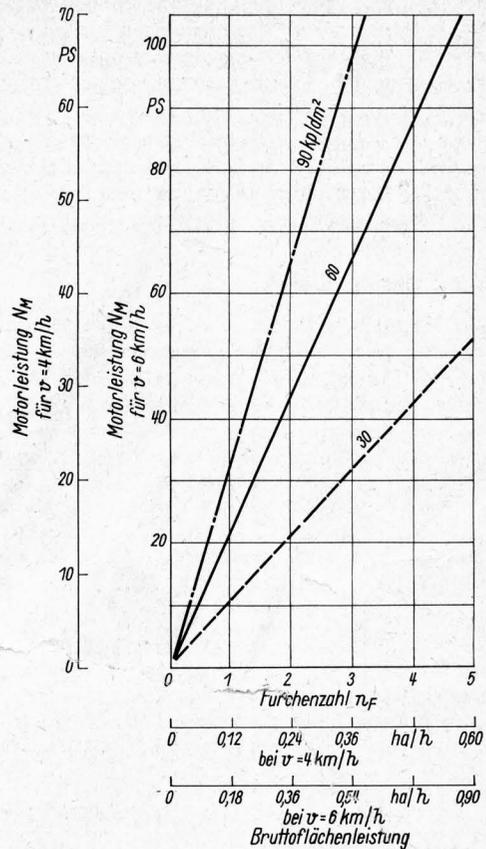


Bild 14. Erforderliche Motorleistung für zwei Arbeitsgeschwindigkeiten und drei verschiedene Böden in Abhängigkeit von der Furchenzahl bzw. der Flächenleistung.

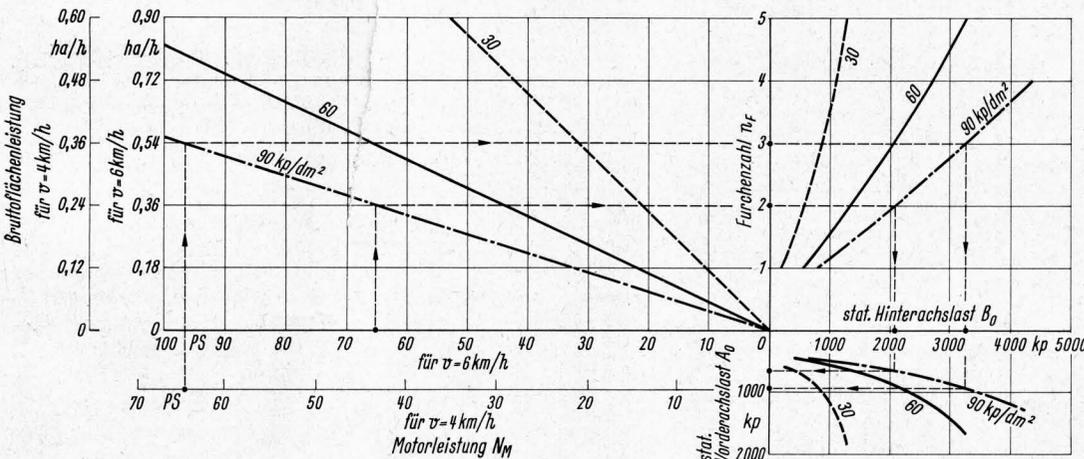


Bild 15. Zuordnung von Schlepper und Anbaupflug. Das Nomogramm ist aus Bild 9, 11 und 14 zusammengestellt.

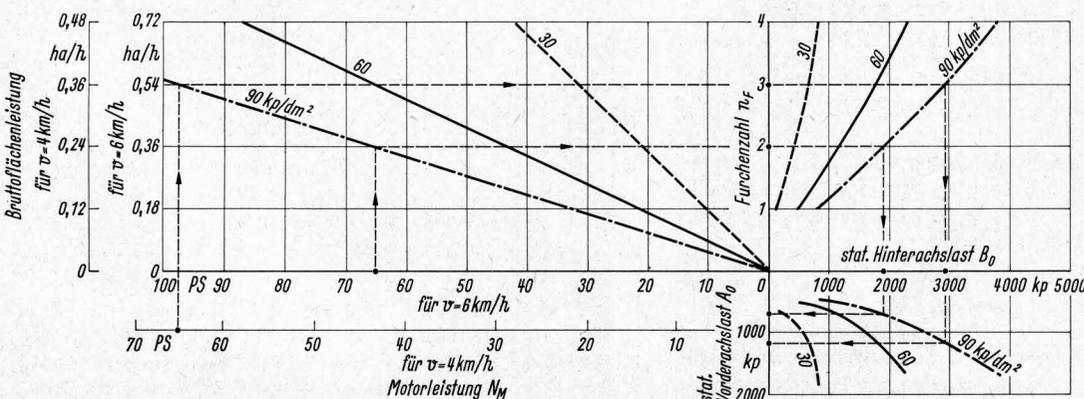


Bild 16. Zuordnung von Schlepper und Anbaueckpflug. Das Nomogramm ist aus Bild 9, 11 und 14 zusammengestellt.

Boden ausgehen. Erreicht man mit einem bekannten Gewicht oder einer vorhandenen Leistung keine volle Furchenzahl, so gilt die nächst kleinere.

Die Darstellung zeigt, daß die erforderliche Leistung mit schwerer werdendem Boden stark wächst. Während bei mittlerem Boden noch etwa 22 PS/Furche ausreichen, sind auf schwerem Boden 33 PS/Furche notwendig, wenn man mit 6 km Arbeitsgeschwindigkeit pflügen will. Steht diese große Leistung tatsächlich zur Verfügung, dann kommt man mit einem relativ niedrigen Leistungsgewicht (etwa 45 bis 50 kg/PS) aus.

Ein hoher Anteil dieses Gewichtes liegt statisch auf der Vorderachse des Schleppers. Bei Zugarbeiten, bei denen keine oder nur eine geringe Achslasterhöhung an der Triebachse eintritt, müssen zusätzliche Gewichte aufgebracht werden.

Einfluß der Geschwindigkeit

Auf dem Maßstab am linken Rand der Bilder 15 und 16 läßt sich die bei einer bestimmten Furchenzahl und Fahrgeschwindigkeit erzielbare Bruttoflächenleistung (reine Pflugzeit) ablesen. Der beträchtliche Einfluß der Geschwindigkeit wird beim Vergleich der beiden Leistungsskalen für $v = 4$ km/h und 6 km/h deutlich. Die einfachste, in der Praxis rein gefühlsmäßig benutzte Methode, bei gegebenem Schleppergewicht die vorhandene Leistung auszunutzen, ist die Variation der Geschwindigkeit, soweit es arbeitstechnisch möglich ist. Soll zu einem Schlepper mit bestimmter Leistung und dem entsprechenden Gewicht bei bekanntem Boden der passende Pflug gefunden werden, so läßt sich nur die Geschwindigkeit variieren oder eine Auswahl zwischen verschiedenen Pflugtypen (Beet- und Kehrpfüge) treffen. Die Scharzahl des Pfluges ergibt sich aus dem Nomogramm. Der zweite Leistungsmaßstab (für 4 km/h) in dem Diagramm gilt beim Pflügen schwerer Böden, für die sich die Notwendigkeit einer geringeren Geschwindigkeit in erster Linie ergeben dürfte.

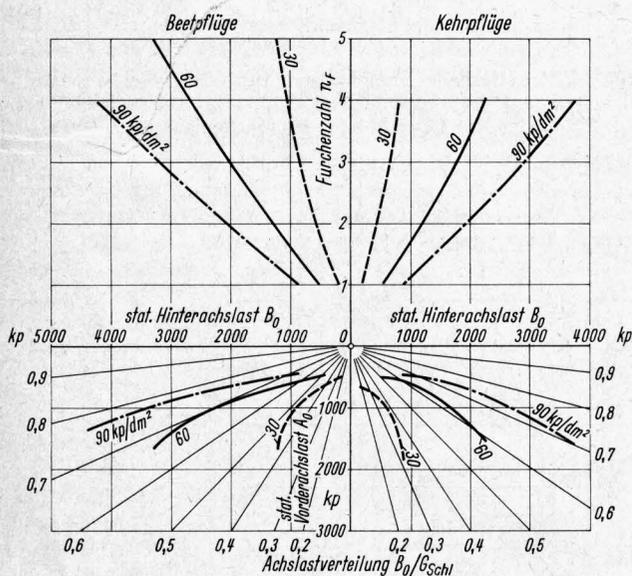


Bild 17. Vergleich der erforderlichen Vorder- und Hinterachslasten sowie des Achslastverhältnisses von Schleppern in Verbindung mit Beet- und Kehrpfügen.

Wie weit häufig die Erwartungen von der erreichbaren Wirklichkeit abweichen, zeigt das folgende Beispiel (in Bild 15 und 16 gestrichelt eingezeichnet):

Der Schlepper habe eine Motorleistung von 65 PS. Wenn bei schwerem Boden mit 6 km/h Arbeitsgeschwindigkeit zweifurchig gepflügt werden soll, sind die erforderlichen Achslasten des Schleppers bei Verwendung von einem

Beetpflug: $A_0 = 650$ kp $B_0 = 2100$ kp $G_{Schl} = 2750$ kp,
 Kehrflug: $A_0 = 700$ kp $B_0 = 1900$ kp $G_{Schl} = 2600$ kp.

Bei gleicher Flächenleistung (0,36 ha/h) kann auf dem gleichen Boden mit gleicher Motorleistung bei $v = 4$ km/h dreifurchig gepflügt werden (um mit 6 km/h auf schwerem Boden dreifurchig

pflügen zu können, würden 98 PS bei 0,54 ha/h benötigt). Die erforderlichen Achslasten sind beim dreifurchigen Pflügen mit einem

Beetpflug: $A_0 = 950$ kp $B_0 = 3250$ kp $G_{Schl} = 4200$ kp,
 Kehrflug: $A_0 = 1200$ kp $B_0 = 2950$ kp $G_{Schl} = 4150$ kp.

Beim Übergang vom zweifurchigen auf den dreifurchigen Beetpflug werden also bei gleicher Motorleistung und gleicher stündlicher Flächenleistung 50% mehr Gewicht notwendig, beim Kehrflug sogar 60%. Man sieht aus diesem Beispiel deutlich, wie wenig sinnvoll es auf der einen Seite ist, einer bestimmten Motorleistung ein festes Schleppergewicht oder eine feste Gewichtsverteilung zuzuordnen, andererseits welche Möglichkeiten in der Wahl der Arbeitsgeschwindigkeit und des Pfluges für ein gegebenes Verhältnis von Motorleistung und -gewicht bestehen. Innerhalb der in dieser Arbeit gewählten Geschwindigkeitsgrenzen (4 bis 6 km/h) kann man von der Annahme ausgehen, daß der Pflugwiderstand konstant ist. Geht man zu größeren Geschwindigkeiten über, muß seine Zunahme berücksichtigt werden.

Beet- oder Kehrflug im Hinblick auf die Rückwirkungen des Gewichtes auf den Schlepper

Kehrpfüge bringen grundsätzlich gegenüber Beetpfügen eine erhöhte Belastung der Hinterachse, können also — zur Verringerung des Schlupfes — fehlendes Schleppergewicht aufwiegen bzw. mit einem geringeren Eigengewicht des Schleppers arbeiten.

Auf leichten Böden und bei geringer Arbeitsgeschwindigkeit, bei denen die erforderliche Motorleistung und die erforderliche Hinterachslast klein ist, führen Kehrpfüge wegen der starken Vorderachsentlastung zu einer sehr ungünstigen Gewichtsverteilung am Schlepper. Der Einsatz von Kehrpfügen kann in diesem Fall nur durch arbeitstechnische Vorteile gerechtfertigt werden. Bereits auf mittlerem Boden bringt jedoch die Wahl eines Kehrfluges bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h eine Einsparung an Leistungsgewicht des Schleppers. Das erforderliche Achslastverhältnis B_0/G_{Schl} wird bei Kehrpfügen kleiner und liegt für mittleren Boden heute bei 0,6 bei Beetpfügen bei 0,7.

Auf schwerem Boden wird die Einsparung an Leistungsgewicht bei demselben Unterschied des Achslastverhältnisses durch Kehrpfüge noch deutlicher.

In Bild 17 sind die Ergebnisse für Beet- und Kehrpfüge einander gegenübergestellt. Für einen bestimmten Pflug läßt sich das Optimum der Furchenzahl und des Gewichtes sowie der Gewichtsverteilung des Schleppers finden.

Ausschlaggebend für die Entscheidung zwischen Beet- und Kehrflug kann aber letztlich nicht nur das erforderliche Gewicht und die Gewichtsverteilung am Schlepper sein, sondern auch rein arbeitstechnische Fragen. Auf den häufig kleinen Parzellen in Westeuropa wird dem Kehrflug oft der Vorzug gegeben, da bei ihm, gegenüber dem Beetpflug, das Zusammen- oder Auseinanderschlagen der Furchen wegfällt, das saubere An- und Auspflügen weniger schwierig ist und die Vorgewendetezeiten kleiner sind. Für Großbetriebe, bei denen diese Nachteile weniger ins Gewicht fallen, hat der teure und allein schon wegen seines Gewichtes problematische fünf- oder mehrfurchige Kehrflug keine große Bedeutung.

Körperabstand

Es wurde bereits wiederholt erwähnt, daß Kehrpfüge zu einer sehr starken Entlastung der Vorderachse des Schleppers führen. Sie werden heute kaum für mehr als vier Furchen gebaut, weil die erforderliche Achslastverteilung für den Schlepper zu ungünstig würde. Um die Vorderachsentlastung klein zu halten, wird der Schwerpunkt des Pfluges möglichst weit nach vorn gerückt. Eine Folge davon ist ein kurzer Scharabstand und die erhöhte Gefahr des Stopfens, die nicht durch Vergrößerung der Grindelhöhe kompensiert werden kann.

Nähme man andererseits z. B. bei einem vierfurchigen Kehrflug statt des üblichen Abstandes von 750 mm den bei Aufsattelpflügen oft verwendeten Abstand von 900 mm von Schar-

spitze zu Scharspitze, so würde das bei mittlerem Boden und dem entsprechenden Schlepper zu einer Vorderachsentlastung führen, die um 30% höher liegt, während die erforderliche Hinterachslast nur um 10% kleiner wird. Das Gesamtgewicht des Schleppers würde zwar nur um 2% größer, die Gewichtsverteilung aber im Hinblick auf Zugarbeiten ohne wesentliche Achslasterhöhung erheblich ungünstiger (B_0/G_{Schl} würde von 0,61 auf 0,53 absinken).

Es ist also darauf zu achten, daß die erforderliche Gewichtsverteilung des Schleppers auch bei Kehrpfügen mit genügendem Scharabstand noch in den üblichen Grenzen bleibt.

Achslastverteilung und Zusatzgewichte beim Pflügen und beim Ziehen schwerer Lasten

Die starke Entlastung der Vorderachse des Schleppers ist also bei der Verwendung von Beet-, besonders aber von Kehrpfügen eine wichtige Erscheinung bei der Pflugarbeit, der durch eine entsprechende Gewichtsverteilung am Schlepper entgegengewirkt werden sollte. Da schwere Zugarbeiten im Vergleich zum Pflügen die entgegengesetzte Gewichtsverteilung, also einen möglichst großen Anteil des Gewichtes auf der Triebachse, erfordern, ergeben sich mehrere Möglichkeiten, für beide Arbeiten den gleichen Schlepper zu benutzen: Entweder ist ein wesentlicher Anteil des Schleppereigengewichtes in seiner Längsachse verschiebbar angeordnet (evtl. sogar veränderlicher Radstand) oder es wird durch Wahl des Zugpunktes und durch andere Einrichtungen zur Hinterachslasterhöhung bei den Grenzbelastungen der verschiedensten Arbeiten bzw. Geräte eine gleiche Richtung und Größe der am Schlepper angreifenden Resultierenden angestrebt. Auf jeden Fall sollten Zusatzgewichte in ausreichender Größe vorhanden sein. Der Schlepper sollte nicht nur die Fähigkeit haben, bis zu 100% seines Eigengewichtes an Zusatzgewichten zu tragen, sondern auch bequeme Vorrichtungen zum Anbau der Gewichte und zum schnellen Wechsel von der Vorder- zur Hinterachse und umgekehrt.

Zusammenfassung

Auf dem Markt befindliche Schlepper und Pflüge werden in bezug auf die für ihre Zuordnung entscheidenden Größen untersucht und in Gruppen eingeordnet. Mit Hilfe von Versuchsergebnissen bekannter Einflußgrößen und einiger geeigneter Annahmen werden die für die Pflugarbeit erforderlichen Schlepperleistungen und Gewichtsverteilungen errechnet und in einem vereinfachten Diagramm dargestellt. Die Hilfsdiagramme lassen noch weitere Varianten der Einflußgrößen und ihre Auswirkungen erkennen. Sie zeigen Tendenzen auf und bieten die Möglichkeit, das Enddiagramm unter anderen Voraussetzungen neu aufzustellen. Einige Beispiele und Erläuterungen dienen zur Verdeutlichung der gewonnenen Ergebnisse; für Konsequenzen hinsichtlich der Achslastverteilung des Schleppers werden Lösungsmöglichkeiten angedeutet.

Schrifttum

- [1] *Seifert, A.*: Der Ackerschlepper und sein Zubehör. Landtechn. **19** (1964) S. 623.
- [2] *Feuerlein, W.*: Geräte zur Bodenbearbeitung. Stuttgart: E. Ulmer Verlag 1964.
- [3] *Sonnen, F. J.*: Zahlenmäßige Festlegung von Schleppergrößen. Landtechn. Forsch. **12** (1962) S. 26. [Erwiderung auf den gleichnamigen Aufsatz in Landtechn. Forsch. **11** (1961) S. 122/26.]
- [4] *Sonnen, F. J.*: Ein Überblick über Ergebnisse von Feldversuchen mit Triebtradreifen von Ackerschleppern. Landtechn. Forsch. **11** (1961) S. 117/22.
- [5] *Skalweit, H.*: Über die Kräfte am Dreipunktanbau bei regelnden Krafthebern auf Grund von Feldmessungen mit Pflügen. Grundle. Landtechn. Heft 20 (1964) S. 53/57.
- [6] *Meyer, H.*: Zur Problematik des Sattelanhängers für Ackerschlepper. Landtechn. Forsch. **6** (1956) S. 39/42.
- [7] *Meyer, H.*: Die Bedeutung eines stufenlosen Getriebes für den Ackerschlepper und seine Geräte. Grundle. Landtechn. Heft 11 (1959) S. 5/12.

KURZAUSZÜGE AUS DEM SCHRIFTTUM

Ernte und Aufbereitung von Spargel

Kepner, R. A., and M. O'Brien: Mechanical harvesting and handling of white asparagus (Mechanische Ernte und Aufbereitung von weißem Spargel). ASAE-Paper Nr. 66-153, S. 1/4.

DK 631.358:631.361

In Kalifornien wird der größte Teil des Spargels der USA geerntet. Da Spargelstecher sehr knapp sind, müssen verstärkte Anstrengungen gemacht werden, die Spargelernte zu mechanisieren. Verfasser beschreiben die Entwicklung einer Spargelerntemaschine, die in den vergangenen Jahren mit Erfolg erprobt worden ist. Eine Analyse des Problems zeigte, daß eine selektive Ernte einzelner Spargelstangen sowohl aus funktionellen als auch aus wirtschaftlichen Gründen nicht durchführbar ist. Daher wurde eine Maschine entwickelt, die den Bodendamm mit Hilfe eines Sägeblattes in einer Tiefe von 180 bis 230 mm unter der Dammoberfläche kontinuierlich durchsäht, dabei die Spargel abschneidet, den Boden absiebt, die Spargel über ein Verleseband leitet und in einem Sammelbehälter ablegt. An die Maschine werden folgende funktionelle Forderungen gestellt:

1. Die Spargelstangen sollen in einer konstanten, einstellbaren Niveaufläche abgeschnitten werden, ohne von den Spargelstangen mehr als 12 mm oberhalb der Schnittfläche zu zerspleißen.
2. Der Verlust von Spargelstangen mit einer Länge von mehr als 100 mm muß klein sein.
3. Der Spargel muß frei von Beimengungen in den Sammelbehälter gelangen.
4. Die Spargelspitzen dürfen in einer Länge von 115 mm nicht beschädigt werden.
5. Der Schneid- und Hebemechanismus darf wachsenden Spargel unterhalb der Schnittfläche nicht verletzen.

6. Die Erntemaschine soll bei einer Fahrgeschwindigkeit von wenigstens 4 bis 5 km/h arbeiten.
7. Die Maschine soll in verschiedenen Bodenarten zufriedenstellend arbeiten.

Der abgeschnittene Bodendamm wird durch schräg angestellte Rollen mit den senkrecht stehenden Spargeln hinter dem Sägeblatt so angehoben, daß ein schräges Siebband die Spargelstangen am Ende erfaßt und diese während des Siebvorgangs mit der Schnittstelle voran weiterfördert. Ein Förderband holt die Spargel dann auf ein waagrechtes Verleseband, an dem 1 bis 2 Verlesepersonen Beimengungen entfernen können. Vom Verleseband gelangen die Spargel in den Sammelbehälter. Der abgesiebt Boden wird durch Leitbleche wieder zu einem Damm geformt. Die gehärteten Stahlsägeblätter arbeiten bei einer Geschwindigkeit von 12 m/s gut, haben aber einen hohen Verschleiß. Die Lebensdauer kann durch eine Beschichtung mit Wolframkarbid bei der Arbeit in sandigem Lehm um einen Faktor von 2,4 erhöht werden, reicht aber noch nicht aus. Es wird eine Lebensdauer von 10 bis 15 Stunden gefordert. Das Siebband ist in Längsrichtung durch senkrechte Blechplatten in schmale Kanäle geteilt. Dadurch werden die Spargel in Förderrichtung ausgerichtet und durch entsprechende Ausbildung der Sieböffnungen wird eine optimale Absiebung der Beimengungen erreicht.

In einer stationären Waschanlage wird der Spargel im ersten Behälter von Beimengungen, wie Kluten und kleinen Steinen, nach dem Prinzip der Schwimmaufbereitung getrennt. Im zweiten Behälter wird der Spargel durch Wasserstrahlen gereinigt und danach auf ein Verleseband gebracht, auf dem der Spargel von Hand sortiert wird.

Die Zeit zwischen zwei Spargelschnitten auf dem Feld betrug 5 bis 8 Tage. Das Ertragsverhältnis zwischen Maschinen- und Handernnte variiert zwischen 0,75 und 0,42. *GL 70*

Braunschweig-Völkenrode

Chr. von Zabeltitz