

- [9] ● *Albach, H.*: Investition und Liquidität. Wiesbaden: Gabler 1962, S. 48/64.
- [10] *Jacob, H.*: Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung. Z. f. Betriebswirtschaft Bd. 34 (1964) H. 8, S. 490/507.
- [11] ● *Schneider, E.*: Wirtschaftlichkeitsrechnung – Theorie der Investition. 7. Aufl., Zürich: Schulthess 1968.
- [12] ● *Reisch, E. u. J. Zeddies*: Einführung in die landwirtschaftliche Betriebswirtschaftslehre. Bd. 2, spezieller Teil, Stuttgart: Eugen Ulmer 1977.
- [13] *Papke, J. u. H. v. Blöh*: Strömungsuntersuchungen an einem horizontal durchströmten Biogasreaktor. Inst. f. Landmaschinen TU Braunschweig 1982: Studienarbeit, unveröffentlicht.
- [14] ● *Mönnich, K.H., G. Förch, K.A. Möhle u. C.F. Seyfried*: Untersuchungen über Investitionen und Betriebskosten von vollbiologischen kommunalen Kläranlagen und maschinellen Schlammmentwässerungsanlagen. Veröffentl. Inst. f. Siedlungswasserwirtschaft, TH Hannover Heft 43, 1976.
- [15] ● *Baugeräteliste 1981 (BGL)*: Technisch-wirtschaftliche Baumaschinendaten. Wiesbaden/Berlin: Bauverlag GmbH 1981.
- [16] Statistisches Bundesamt: Reihen 2, 4, 5 und 17. Stuttgart: Kohlhammer, 1981.
- [17] Esso: Welt Energie Ausblick. Hamburg: Presse und Informationsabt. der Esso AG 1980.
- [18] *Pearce, D.*: World energy demand and crude oil prices to the year 2000. Journ. agric. economics Bd. 32 (1981) Nr. 3, S. 341/54.
- [19] *Pes Pruneddu, F.*: Pers. Information Okt. 1981.
- [20] *Dohne, E.*: Stromerzeugung aus Biogas. Landtechnik Bd. 35 (1980) Nr. 8/9, S. 374/76.
- [21] ● *Abwassertechnische Vereinigung*: Gewinnung und Verwertung von Klärgas. Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Bd. 3, S. 482/502, Berlin: W. Ernst u. Sohn 1978.
- [22] *Heyl, L. v.*: Analyse des elektrischen Leistungs- und Energiebedarfs wichtiger Bereiche der Rinder- und Schweinehaltung. AEL-Bericht 2, Essen 1975.
- [23] *Heyl, L. v., M. Ayik u. J. Boxberger*: Elektrischer Leistungsbedarf und Energieverbrauch verschiedener Arbeitsverfahren der landw. tierischen Produktion und energie-wirtschaftliche Folgerungen. VDEW-Bericht, Frankfurt 1975.
- [24] *Würrch, H.H.*: Zur betriebstechnischen Einordnung von Biogasanlagen. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 2, S. 55/60.
- [25] *Maurer, K. u. G. Enssle*: Biogasanlage Erlenhof – Ergebnisse und Erfahrungen aus einjähriger Betriebszeit. Landtechnik Bd. 36 (1981) Nr. 7/8, S. 349/53.
- [26] *Gosch, A., Agostini, G. u. W. Weber*: Anaerobe Behandlung von Flüssigmist aus Massentierhaltung (Rindergülle). Firmenschrift der Agro-Fermenttechnik AG (AFAG), Ahlen, Westfalen, 1980.
- [27] *Baader, W.*: Erste Erfahrungen mit einem vollständig gefüllten vertikal durchströmten Biogasreaktor. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 2, S. 50/55.
- [28] ● *Van Velsen, A.F.M.*: Anaerobic digestion of piggery waste. Neth. J. Agric. Sci. Bd. 25 (1977) S. 151/69.
- [29] *Summers, R. u. S. Bousfield*: A detailed study of piggery waste anaerobic digestion. Agricultural Waste (1980) Nr. 2, S. 61/78.
- [30] *Summers, R. u. S. Bousfield*: Anaerobic digestion of farmwastes – experimental experiences. Seminar on Anaerobic Digestion of Farm Wastes, 18./20. Oktober 1978, Cardington, U.K.

Ein Beitrag zur Fahrmechanik des Ackerschleppers – Reifenschlupf, Schleppermasse und Flächenleistung

Von Heinz Dieter Kutzbach, Stuttgart-Hohenheim*)

DK 631.372:631.51:65.015

Die Flächenleistung von Schlepper und Gerät läßt sich durch Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitsbreite beeinflussen. In der Bodenbearbeitung führen breite Geräte zu hohen Zugkräften und dementsprechend zu hohen Schlupfwerten zwischen Reifen und Boden. Da mit steigendem Schlupf der Laufwerkwirkungsgrad stark abnimmt, bei geringen Schlupfwerten jedoch nur eine geringe Zugkraft vom Schlepper auf das Gerät übertragen werden kann, hat der Schlupf erheblichen Einfluß auf die Flächenleistung. Dieser Einfluß wird rechnerisch untersucht und im folgenden für Pflug und Grubber in Abhängigkeit von weiteren Parametern dargestellt.

*) Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach ist Inhaber des Lehrstuhls für Grundlagen der Landtechnik des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim.

1. Einleitung

Schlepper mit hoher Motorleistung werden besonders für die Bodenbearbeitung eingesetzt. Ziel ist das Erreichen hoher Flächenleistungen, um die Bodenbearbeitung in der zur Verfügung stehenden, kurzen Zeitspanne vor der Aussaat der Folgefrucht sicher abzuschließen. Neben einer hohen Motorleistung beeinflussen jedoch weitere Parameter die mögliche Flächenleistung von Schlepper und Gerät. Insbesondere sind dies der Zugkraftbedarf des Bodenbearbeitungsgerätes, Bodenart und Bodenzustand, Gesamtmasse von Schlepper und Gerät, Kraftschlußverhältnisse zwischen Reifen und Boden und schließlich Arbeitsbreite des Gerätes und Fahrgeschwindigkeit des Schleppers. Wegen dieser vielen Einflußfaktoren ist es für den Benutzer nicht einfach, die besten Kombinationen dieser Parameter auszuwählen. Manche Parameter wie beispielsweise die Bodenart lassen sich vom Benutzer nicht, andere wie Bodenzustand und Kraftschlußverhältnisse nur indirekt über die Wahl eines günstigen Zeitpunktes für die Bearbeitung beeinflussen.

So wird häufig die Schleppermotorleistung aus Sicherheitsgründen höher gewählt. Dies führt jedoch besonders bei nicht entsprechend breiten Arbeitsgeräten dazu, daß die vorhandene Motorleistung nicht voll ausgenutzt werden kann. Allerdings gibt es bis jetzt nur wenig Hinweise zur optimalen Zuordnung von Schlepper und Gerät. *Wenner u.a.* [1] haben den Einfluß von Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit auf Flächenleistung, Kraftstoffverbrauch und Kosten untersucht, sind aber von pauschalen Annahmen für den Laufwerkwirkungsgrad ausgegangen. *Stroppel* hat ein Verfahren zur Beurteilung von Bodenbearbeitungsverfahren vorgestellt [2] und in weiteren Arbeiten [3 bis 5] den Einfluß von Motorauslastung, Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitsbreite auf die Flächenleistung bzw. den Arbeitszeitbedarf untersucht. Er hat u.a. gezeigt, daß es für einen vorgegebenen Schlepper mit einer bestimmten Leistung und einer bestimmten Masse nur eine einzige Kombination von Fahrgeschwindigkeit und Arbeitsbreite gibt, mit der die für diesen Schlepper mögliche maximale Flächenleistung erreicht werden kann. *Stroppel* leitet daraus die Forderung nach der Einstellbarkeit der Gerätebreite ab [5], um die Motorleistung möglichst vollständig zu nutzen.

Da der Zugkraftbedarf von Bodenbearbeitungsgeräten mit der Arbeitsgeschwindigkeit stark ansteigt, liegt die optimale Kombination von Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitsbreite im allgemeinen bei geringen Geschwindigkeiten und relativ großen Arbeitsbreiten. Die erforderliche Zugkraft für Geräte mit großen Arbeitsbreiten führt vor allem bei leichteren Schleppern zu hohen Schlupfwerten, die u.U. aus pflanzenbaulicher Sicht und zur Bodenschonung zu vermeiden sind. Es ist deswegen wichtig, neben der maximal möglichen Flächenleistung weitere Parameter, wie beispielsweise den Schlupf, zu beachten.

Im folgenden soll deshalb ausgehend von den bekannten Gleichungen der Fahrmechanik eine einfache Gleichung zur Berechnung der Flächenleistung entwickelt und der Zusammenhang zwischen Flächenleistung, Arbeitsbreite, Schlupf und Gesamtmasse des Systems Schlepper/Gerät angegeben werden.

2. Annahmen und Voraussetzungen

Zur Darstellung der Ergebnisse dieser rechnerischen Untersuchung wird die technische Flächenleistung gewählt, die sich aus Arbeitsbreite und Fahrgeschwindigkeit ergibt. Diese Größe erscheint zur Erläuterung der Abhängigkeiten geeigneter als die Flächenleistung, die sich unter Berücksichtigung von Wende-, Rüst- und Nebenzeiten ergibt, da diese Zeiten sehr stark mit den jeweils vorgegebenen Bedingungen schwanken.

Zur Kennzeichnung der Schlepperleistung wird die an den Triebachsen verfügbare Nabenleistung P_{Na} gewählt. Dadurch brauchen die von der Auslastung abhängigen Verluste im Schleppergetriebe nicht berücksichtigt zu werden, und der Einfluß der Nabenleistung auf die Flächenleistung wird deutlicher.

Die Berechnungen sollen für drei unterschiedliche Kraftschlußverhältnisse durchgeführt werden. Nach Durchsicht von verschiedenen Angaben [6 bis 9] über Meßergebnisse von Triebkraftbeiwerten κ und zugehörigen Rollwiderstandsbeiwerten ρ wurden die in Bild 1 dargestellten Kurven für κ und ρ angenommen. Auf Weizenstoppel, lehmiger Sand mit 14 % Feuchte, entspricht die Kurve κ_m nach Messung von *Steinkampf* beispielsweise einem Diagonalreifen AS 14-30 bei einer Belastung von rund 16 kN. Der Einfachheit halber sollen die Triebkraft- und Rollwiderstandsbeiwerte Mittelwerte aller 4 Schlepperräder darstellen, wobei der Rechnung ein Allradschlepper mit eingeschalteter Differentialsperre zugrunde gelegt wird.

Zur Durchführung der Rechnung wurden die $\kappa = f(\sigma)$ -Kurven durch ein Polynom 5. Grades und die $\rho = f(\sigma)$ -Kurven durch ein Polynom 1. Grades angenähert. Die entsprechenden Koeffizienten sind in Tafel 1 enthalten. Sie gelten für Schlupfwerte zwischen $\sigma = 0,05$ und $\sigma = 0,4$, wobei der Schlupf σ in bekannter Weise mit der Umfangsgeschwindigkeit der Antriebsräder v_0 und der tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit des Schleppers v definiert ist zu:

$$\sigma = (v_0 - v)/v_0 \quad (1)$$

Die Schleppermasse (hier immer verstanden als Summe von eigentlicher Schleppermasse und anteiliger Gerätemasse) ändert sich mit der Breite und Größe der angebauten Geräte. Außerdem wird der Schlepper durch die vertikalen Komponenten der Bodenkraft zusätzlich belastet. Ausführliche Messungen dieser dynamischen Komponente, die durch die Schlepperkrafttheberregelung weiter vergrößert wird, liegen bisher nicht vor. Es soll deswegen mit einer konstanten, von der Gerätebreite unabhängigen Schleppermasse gerechnet werden.

Dies ist sinnvoll, da es dem Benutzer durch Ballastmassen möglich ist, den Schlepper entsprechend zu ballastieren, und weil er damit unterschiedliche, von den Geräten herrührende Massenanteile ausgleichen kann. Für das Verständnis der späteren Ergebnisse ist es außerdem einfacher, möglichst viele Parameter konstant zu lassen.

Die Berechnungen sollen jeweils für Pflug und Grubber auf mittlerem und schwerem Boden durchgeführt werden. Die von diesen Geräten geforderte Zugkraft F_Z hängt linear von der Arbeitsbreite b ab:

$$F_Z = C_v b \quad (2)$$

wobei der Koeffizient C_v außer vom spez. Zugwiderstand und der Arbeitstiefe durch die Fahrgeschwindigkeit beeinflusst wird. Nach *Stroppel* kann man bei einer Arbeitstiefe von 25 cm folgende Beziehungen benutzen, in denen die Geschwindigkeit v in m/s einzusetzen ist:

Mittlerer Zugkraftbedarf:

$$\text{Pflug } C_v = 12000 + 1555 v^2 \text{ N/m} \quad (3)$$

$$\text{Grubber } C_v = 7000 + 2736 v \text{ N/m} \quad (4)$$

Hoher Zugkraftbedarf:

$$\text{Pflug } C_v = 19500 + 1555 v^2 \text{ N/m} \quad (5)$$

$$\text{Grubber } C_v = 14300 + 2736 v \text{ N/m} \quad (6)$$

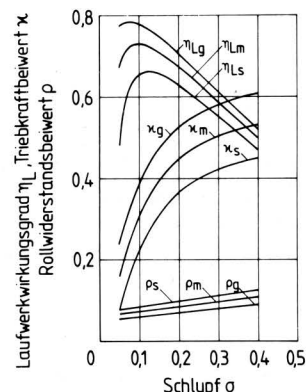


Bild 1. Laufwerkwirkungsgrad η_L , Triebkraftbeiwert κ und Rollwiderstandsbeiwert ρ in Abhängigkeit vom Schlupf bei verschiedenen Kraftschlußverhältnissen (g = gut; m = mittel; s = schlecht).

	κ_g	κ_m	κ_s	ρ_g	ρ_m	ρ_s
a_0	0,001332	-0,0787	-0,1587	0,05	0,06	0,07
a_1	5,9551			0,10	0,12	0,14
a_2	-27,3022	wie bei κ_g	wie bei κ_g			
a_3	69,6238					
a_4	-92,4038					
a_5	49,2328					

Tafel 1. Koeffizienten für die Polynome $\kappa = \sum_{i=0}^5 a_i \sigma^i$ bzw. $\rho = a_0 + a_1 \sigma$.

3. Ableitung der benutzten Gleichungen

Die technische Flächenleistung als Produkt aus Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit soll punktweise für verschiedene Schlupfwerte σ berechnet werden. Mit den Polynomen für die Triebkraftbeiwerte und die Rollwiderstandsbeiwerte läßt sich für jedes vorgegebene σ zunächst der zugehörige Triebkraftbeiwert κ und der zugehörige Rollwiderstandsbeiwert ρ berechnen.

Der Laufwerkwirkungsgrad des Einzelrades, der vereinbarungsgemäß dem Laufwerkwirkungsgrad des gesamten Allradsschleppers entsprechen soll, ist als Koeffizient aus Zugleistung P_Z und Nabenleistung P_{Na} definiert:

$$\eta_L = P_Z / P_{Na} \quad (7)$$

Mit den Gleichungen der Fahrmechanik läßt sich daraus die bekannte Gleichung

$$\eta_L = (1 - \sigma) \kappa / (\kappa + \rho) \quad (8)$$

ableiten. Der vom Schlupf abhängige Laufwerkwirkungsgrad ist also auch aus Triebkraftbeiwert und Rollwiderstandsbeiwert berechenbar. Mit η_L läßt sich bei konstanter Nabenleistung und vorgegebenem Schlupf die jeweilige Zugleistung berechnen. Sie ist

$$P_Z = \eta_L P_{Na} \quad (9)$$

Die Zugleistung ist außerdem das Produkt aus tatsächlicher Fahr- geschwindigkeit v und Zugkraft F_Z :

$$P_Z = v F_Z \quad (10)$$

Beim Allradsschlepper entspricht die Zugkraft der Gesamttrieb- kraft T , die sich über den Triebkraftbeiwert aus dem Schlepper- gewicht $F_G = g m$ berechnet:

$$F_Z = T = \kappa F_G = \kappa g m \quad (11)$$

Aus den Gln. (10) und (11) läßt sich die zugehörige Fahr- geschwindigkeit angeben:

$$v = \frac{P_Z}{\kappa F_G} = \frac{\eta_L}{\kappa} \cdot \frac{P_{Na}}{F_G} = \frac{\eta_L}{\kappa} \cdot \frac{P_{Na}}{g m} \quad (12)$$

Sie hängt außer von den Kraftschlußigenschaften η_L und κ nur von der bezogenen Schleppermasse m/P_{Na} ab. Die Gerätebreite b ergibt sich aus der zur Verfügung stehenden Zugkraft nach Gl. (2) zu:

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

Damit gilt für die technische Flächenleistung

$$\dot{A} = b v = \frac{\kappa F_G}{C_v} \cdot \frac{\eta_L P_{Na}}{\kappa F_G} \quad (14)$$

Gl. (14) kann umgeformt werden zu der einfachen Gleichung

$$\dot{A} = \eta_L(\sigma) P_{Na} / C_v \quad (15)$$

In dieser Gleichung charakterisiert der Laufwerkwirkungsgrad η_L die Kraftschlußigenschaften des Bodens. Der Betrag dieses Aus- drucks hängt jedoch stark von σ ab. Der zweite Ausdruck, die Nabenleistung, ist als die wesentliche schlepperspezifische Größe anzusehen. Der dritte Ausdruck berücksichtigt den Zugkraftbe- darf des Gerätes, wobei die Flächenleistung mit steigendem Zug- kraftbedarf abnimmt.

Aus Gl. (15) ist zu entnehmen, daß für den Sonderfall konstanten Zugkraftbedarfs, d.h. bei konstantem von der Arbeitsgeschwin- digkeit unabhängigen C_v , das Optimum der technischen Flächenlei- stung mit dem Optimum des Laufwerkwirkungsgrades zusammen- fällt. Die zugehörigen Schlupfwerte σ kann der Benutzer durch Anpassung der Schleppermasse an die Gerätebreite erreichen. Die

Fahrtgeschwindigkeit kann in diesem Fall frei gewählt und auf op- timale Arbeitsweise des Gerätes abgestimmt werden. Hinsichtlich der Gangstufung des Schleppers würden diese Geräte keine Anfor- derungen an den Schlepper stellen.

Der Zugkraftbedarf C_v des Gerätes kann auch dann als eine Kon- stante betrachtet werden, wenn aus anderen Gründen, beispie- lweise wegen einer einwandfreien Funktion des Gerätes, eine be- stimmte konstante Arbeitsgeschwindigkeit vorgeschrieben wird. Auch dann fällt das Optimum der technischen Flächenleistung mit dem Maximum des Laufwerkwirkungsgrades zusammen.

Hängt C_v von der Geschwindigkeit ab, wie es für die meisten Ge- räte der Bodenbearbeitung zutrifft, und wie es in den Gln. (3) bis (6) für Pflug und Grubber angegeben ist, fällt das Optimum der Flächenleistung nicht mit dem Maximum des Laufwerkwirkungs- grades zusammen, sondern es wird in Richtung höherer Schlupf- werte verschoben.

Der Quotient aus Flächenleistung und Nabenleistung soll als be- zogene Flächenleistung bezeichnet werden:

$$\dot{A} / P_{Na} = \eta_L(\sigma) / C_v \quad (16)$$

Die bezogene Flächenleistung ist unabhängig von der Nabenlei- stung. Sie wird deswegen zur allgemeingültigen Darstellung der Ergebnisse herangezogen.

Wie die Berechnungen zeigen, muß mit steigender Nabenleistung und steigender Schleppergesamtmasse auch die Arbeitsbreite linear steigen, wenn die Verhältnisse hinsichtlich Arbeitsgeschwindigkeit und Schlupf nicht geändert werden sollen. Es ist deswegen sinn- voll, die Arbeitsbreite ebenfalls auf die Nabenleistung zu bezie- hen. Dieser Ausdruck soll als bezogene Arbeitsbreite bezeichnet werden. Die technische Flächenleistung (Gl. (14)) läßt sich mit den auf die Nabenleistung bezogenen Größen auch in der folgen- den Form schreiben:

$$\frac{\dot{A}}{P_{Na}} = \frac{b}{P_{Na}} \cdot v \quad (17)$$

Durch Vorgabe von verschiedenen Werten für σ kann die Arbeits- geschwindigkeit, Gl. (12), die Arbeitsbreite, Gl. (13), und die technische Flächenleistung berechnet und über dem Schlupf auf- getragen werden. Aus diesen Kurven kann dann die maximale technische Flächenleistung mit den zugehörigen Werten für Schlupf, Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit entnommen werden.

Die technische Flächenleistung berücksichtigt nicht die Neben-, Rüst-, Fahr- und Verlustzeiten, wobei insbesondere die von der Zuordnung Schlepper/Gerät unabhängigen Rüst- und Fahrzeiten erheblichen Einfluß auf die Höhe der tatsächlichen Flächenlei- stung haben können. Die Nebenzeiten werden allerdings durch die Arbeitsbreite beeinflusst, da bei breiteren Geräten weniger Wendevorgänge notwendig sind. Im folgenden soll deswegen auch die Flächenleistung angegeben werden, die nur die Nebenzeiten für das Wenden berücksichtigt.

Die Arbeitszeit für die Bearbeitung der Fläche A setzt sich zusam- men aus der Arbeitszeit für den eigentlichen Arbeitsvorgang und der Arbeitszeit für das Wenden. Mit der Schlagbreite b_S gilt dann

$$t = \frac{A}{b v} + \frac{b_S}{b} t_w \quad (18)$$

Die Schlagbreite berechnet sich bei einem rechteckigen Schlag der Länge l_S nach

$$b_S = A / l_S \quad (19)$$

und die Arbeitszeit damit zu

$$t = \frac{A}{b v} + \frac{A}{l_S b} t_w \quad (20)$$

Für die Flächenleistung \dot{A}_1 gilt dann

$$\dot{A}_1 = \frac{A}{t} = \frac{1}{\frac{1}{bv} + \frac{t_w}{l_s b}} = \frac{b}{\frac{1}{v} + \frac{t_w}{l_s}} \quad (21).$$

4. Ergebnisse zur Flächenleistung

4.1 Flächenleistung, Arbeitsbreite, Arbeitsgeschwindigkeit

Das Ergebnis der Rechnerauswertung ist in Bild 2 für eine Schlepper-Nabenleistung $P_{Na} = 60$ kW, eine Schleppermasse $m = 6$ t, für mittlere Kraftschlußverhältnisse und Pflugeinsatz auf mittelschwerem Boden dargestellt. Über dem Schlupf σ ist die Flächenleistung, die Arbeitsbreite b und die Arbeitsgeschwindigkeit v aufgetragen. Die technische Flächenleistung \dot{A} weist ein flaches Maximum auf, d.h. Abweichungen von den optimalen Schlupfwerten wirken sich im engeren Bereich nicht sehr stark auf die Flächenleistung aus. Dieses Maximum in der Flächenleistung für einen gegebenen Schlepper soll im folgenden als Optimum bezeichnet werden.

Mit steigender Arbeitsbreite nimmt der Zugkraftbedarf zu (Gl. (2)) und bei sonst gleichen Bedingungen auch der Schlupf. Dies führt zu der mit dem Schlupf ansteigenden Kurve für die Arbeitsbreite b . Da die Nabenleistung P_{Na} als konstanter Wert vorgegeben ist, kann bei größerer Gerätebreite nur langsamer gearbeitet werden. Die Fahrgeschwindigkeit nimmt mit steigender Gerätebreite und steigendem Schlupf ab. Interessant ist, daß das Optimum der Flächenleistung bei relativ geringen Geschwindigkeiten – hier beispielsweise bei 1,47 m/s entsprechend 5,3 km/h – auftritt. Dieser Wert, der in ähnlicher Größenordnung auch bei anderen Bodenverhältnissen auftritt, ist überraschend gering, vor allem auch verglichen mit früheren Zielsetzungen, bei hohen Geschwindigkeiten von 8 bis 10 km/h zu pflügen. Wird mit höheren Geschwindigkeiten gearbeitet, so erfolgt der Einsatz vor dem Optimum der Flächenleistung. Das Optimum der technischen Flächenleistung tritt in Bild 2 bei einem Schlupf $\sigma = 21\%$ auf, während das Maximum des Laufwerkwirkungsgrades schon bei $\sigma = 10\%$ liegt (Bild 1). Eine Berücksichtigung der Wendezeiten reduziert die Flächenleistung (Kurve \dot{A}_1) und verschiebt das Optimum der Flächenleistung zu höheren Schlupfwerten, in diesem Fall zu einem Schlupf von 25%. Da diese Kurve durch die geschätzten Werte für Schlaglänge und Wendezeit beeinflusst wird, soll im folgenden nur die technische Flächenleistung betrachtet werden. Vollständigkeitshalber ist in diesem Bild weiter die Flächenleistung \dot{A}_2 eingezeichnet, die sich unter Berücksichtigung von Wende-, Rüst- und Wegezeit ergibt. Sie beträgt mit den von Stoppel in [2] getroffenen Annahmen nur ungefähr 70% der technischen Flächenleistung \dot{A} , ihr Optimum tritt bei gleichem Schlupfwert auf wie bei der Flächenleistung \dot{A}_1 , die nur die Wendezeiten berücksichtigt.

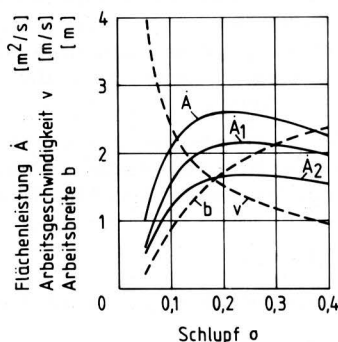


Bild 2. Flächenleistung, Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitsbreite in Abhängigkeit vom Schlupf; Pflügen auf mittelschwerem Boden bei mittleren Kraftschlußverhältnissen, Nabenleistung 60 kW, Schleppermasse 6 t.

- \dot{A} technische Flächenleistung
- \dot{A}_1 Flächenleistung bei Berücksichtigung der Wendezeiten
- \dot{A}_2 tatsächliche Flächenleistung (einschl. Neben-, Rüst-, Fahr- und Verlustzeit)

Diesem Bild wie auch den Gln. (12) bis (14) kann man entnehmen, daß ein fester Zusammenhang zwischen Flächenleistung, Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit besteht. Das Optimum der Flächenleistung läßt sich nur durch eine einzige Kombination von Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit erreichen. Ist eine der Größen fest vorgegeben, beispielsweise die Arbeitsbreite, wie es wegen vorhandener Geräte häufig der Fall ist, und kann der Schlepper gerade die zugehörige Arbeitsgeschwindigkeit zur Verfügung stellen, so kann zwar die Schlepperleistung voll ausgenutzt werden, aber die Arbeit erfolgt nicht mehr im Flächenleistungsoptimum. Ist die zugehörige Arbeitsgeschwindigkeit wegen der Getriebestufung des Schleppers nicht vorhanden, muß im nächstkleineren Gang gefahren werden, und die Schlepperleistung kann nicht voll genutzt werden.

4.2 Einfluß der Kraftschlußbeiwerte und des Zugkraftbedarfes

Die Bilder 3 und 4 geben einen Überblick über die auf die Nabenleistung bezogene technische Flächenleistung für die 3 Kraftschlußverhältnisse gut, mittel, schlecht für den Pflug- und Grubbereinsatz bei mittlerem und hohem Zugkraftbedarf. Ebenfalls über dem Schlupf aufgetragen sind in Bild 5 und 6 die bezogene Arbeitsbreite und in Bild 7 die zugehörigen Werte der Arbeitsgeschwindigkeit. Als weiterer Parameter in den Diagrammen wurde die auf die Nabenleistung bezogene Schleppermasse gewählt. Die Kurven sind für Geschwindigkeiten unter 4 km/h beim Pflugeinsatz bzw. unter 6 km/h beim Grubbereinsatz gestrichelt, die Geschwindigkeiten 6 bzw. 8 km/h sind zusätzlich auf den Kurven markiert. Während beim Pflügen mit minimalen Geschwindigkeiten von 4 km/h die optimale Flächenleistung häufig noch erreicht werden kann, ist dies beim Grubbern mit einer angenommenen minimalen Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h nur noch bei leichten Schleppern möglich.

Generell erreicht der Grubber bei guten Kraftschlußverhältnissen und mittelschwerem Boden die höheren Flächenleistungen (Bild 4a), während beim Pflügen auf schwerem Boden unter schlechten Kraftschlußverhältnissen die geringsten Flächenleistungen erreicht werden (Bild 3f). Mit jeweils größerer bezogener Schleppermasse nehmen auch die Flächenleistungen zu, jedoch können diese hohen Flächenleistungen wegen eines zu hohen Bodendrucks des Schleppers und der geringen Arbeitsgeschwindigkeit, vor allem beim Grubbereinsatz, nicht voll ausgenutzt werden.

Mit Änderung der Schleppermasse ändern sich nämlich auch Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitsbreite. Weil bei einer höheren Schleppermasse unter sonst gleichen Verhältnissen höhere Zugkräfte übertragen werden können, verschiebt sich die Arbeitsbreite zu größeren Werten hin, und dementsprechend nimmt bei gleicher Nabenleistung die Arbeitsgeschwindigkeit ab.

Die angenommenen Werte für die bezogene Schleppergesamtmasse decken einen großen Bereich ab, um den Einfluß dieses Parameters etwas deutlicher zeigen zu können. Da die Werte auf die Nabenleistung bezogen sind, und die Motorleistung zumindest um den Getriebewirkungsgrad, aber auch um eine gewisse Leistungsreserve größer ist, sind die entsprechenden Werte für das auf die Motorleistung bezogene Leistungsgewicht kleiner. Während sich der Wert $m/P_{Na} = 66$ kg/kW, entsprechend einem auf die Motorleistung bezogenen Leistungsgewicht von ungefähr 47,5 kg/kW, wohl nur bei leichten Schleppern und Geräten verwirklichen läßt, liegt der obere Wert $m/P_{Na} = 166$ kg/kW, entsprechend einem auf die Motorleistung bezogenen Leistungsgewicht von ungefähr 120 kg/kW, häufig über dem für die heutigen Schlepper zulässigen Wert. Auch vom Boden her würde dieser schwere Schlepper zu unzulässigen Verdichtungen führen.

Die Kurven für die Arbeitsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Schlupf sind für den mittleren und schweren Boden und für Pflug und Grubber identisch, Bild 7. Bei vorgegebener Zugleistung hängt die Arbeitsgeschwindigkeit wegen $P_z = v F_z$ (Gl. (10)) zwar von der Zugkraft ab, für einen bestimmten Wert von σ wird jedoch P_z über η_L und F_z über κ festgelegt, die Fahrgeschwindigkeit ist damit unabhängig von dem spezifischen Bodenwiderstand bzw. dem

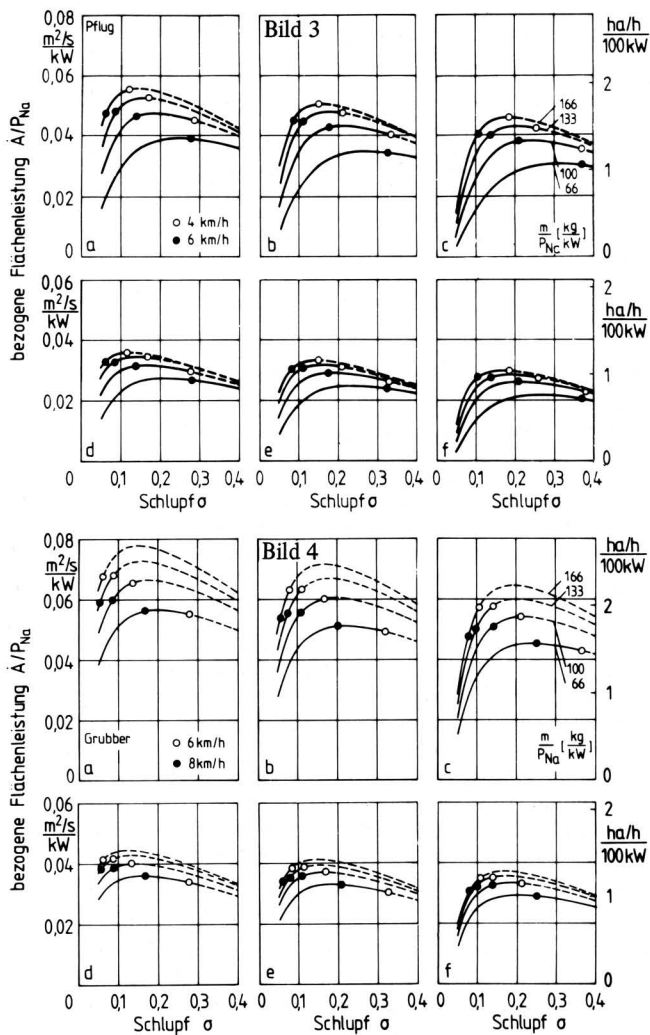


Bild 3 und 4. Bezogene Flächenleistung in Abhängigkeit vom Schlupf für verschiedene bezogene Schleppermassen beim Pflügen (Bild 3) und beim Grubbern (Bild 4).

Koeffizienten C_v . Dieser hat jedoch Einfluß auf die einsetzbare Arbeitsbreite, was die Bilder 5 bzw. 6 deutlich zeigen, beispielsweise Diagramm 5b im Vergleich zu 5e.

Für die Geräteauswahl können die Bilder 3 bis 7 herangezogen werden. Nach Abschätzung des spezifischen Bodenwiderstandes und der Kraftschlußverhältnisse für den vorliegenden Boden kann aus den Bildern 3 bzw. 4 unter Beachtung von gewünschter Flächenleistung und Arbeitsgeschwindigkeit zunächst der Schlupf für die bezogene Schleppermasse des vorhandenen Schleppers entnommen werden. Die Bilder 5 bzw. 6 ergeben dann die zugehörige Arbeitsbreite nach Multiplikation der bezogenen Arbeitsbreite mit der Nabenleistung des Schleppers für eine Arbeitstiefe von 25 cm. Eine Umrechnung auf andere Arbeitstiefen ist nur dann möglich, wenn der spezifische Bodenwiderstand über die Tiefe konstant ist, und der Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit auf den Zugkraftbedarf ebenfalls nicht von der Tiefe abhängt.

Aus Schlupf und Arbeitsgeschwindigkeit läßt sich die theoretische Schleppergeschwindigkeit

$$v_0 = v / (1 - \sigma) \quad (22)$$

berechnen und überprüfen, ob ein entsprechender Getriebegang vorhanden ist.

Die Gegenüberstellungen in den Bildern 3 bis 7 verdeutlichen, daß der Bodenzustand erheblichen Einfluß auf Flächenleistung, Arbeitsbreite und Schlupf hat.

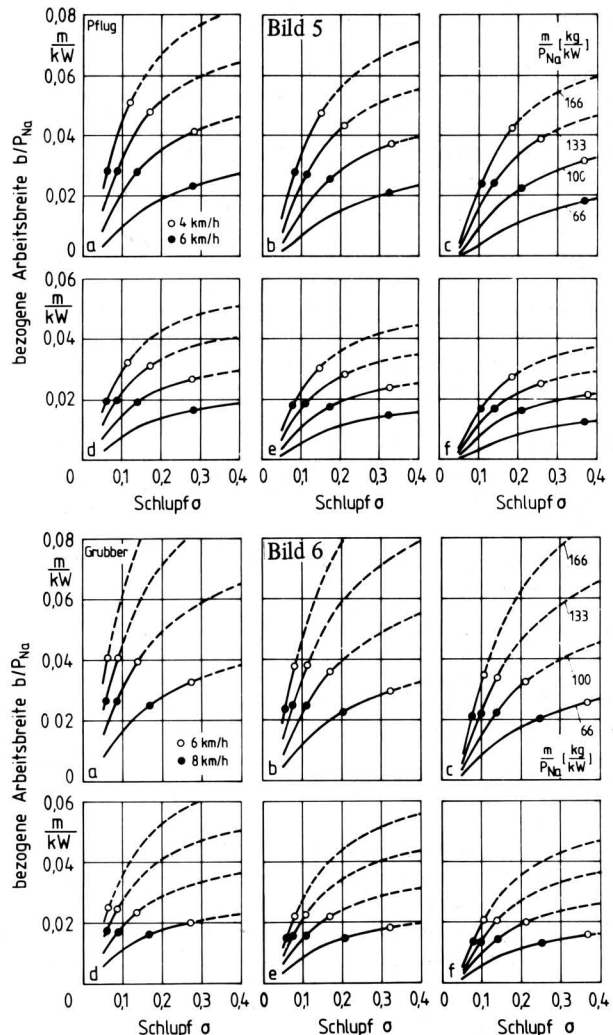


Bild 5 und 6. Bezogene Arbeitsbreite in Abhängigkeit vom Schlupf für verschiedene bezogene Schleppermassen beim Pflügen (Bild 5) und beim Grubbern (Bild 6).

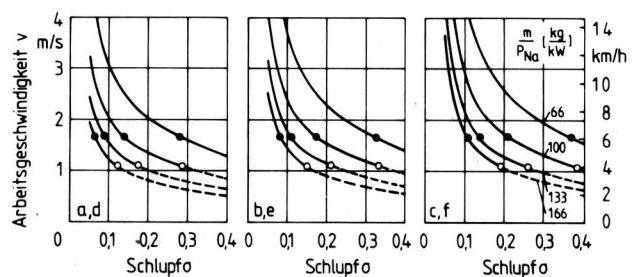


Bild 7. Arbeitsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Schlupf für verschiedene bezogene Schleppermassen beim Pflügen und Grubbern.

Für Bild 3 bis 7 gelten folgende Parameterzuordnungen zu den Diagrammen a bis f:

Kraftschlußverhältnisse	gut	mittel	schlecht
Zugkraftbedarf mittel	a	b	c
Zugkraftbedarf hoch	d	e	f

4.3 Schlupfwerte im Optimum der Flächenleistung

Bild 3 läßt sich auch hinsichtlich der Abhängigkeit zwischen dem Schlupf im Optimum der Flächenleistung und der bezogenen Schleppermasse auswerten. In Bild 8 sind diese Schlupfwerte über der bezogenen Schleppermasse für das Pflügen aufgetragen. Die Schlupfwerte nehmen mit steigender bezogener Schleppermasse ab; sie erstrecken sich insgesamt über einen weiten Bereich von $\sigma = 0,3$ bei schlechten Kraftschlußverhältnissen und mittlerem Zugkraftbedarf bis zu $\sigma = 0,125$ bei guten Kraftschlußverhältnissen und hohem Zugkraftbedarf. Selbst für einen konstanten Wert der bezogenen Schleppermasse sind die Schlupfwerte in Abhängigkeit von Kraftschlußverhältnis und Zugkraftbedarf noch recht unterschiedlich; sie reichen beispielsweise bei $m/P_{Na} = 100 \text{ kg/kW}$ von $\sigma = 0,16$ bis $\sigma = 0,24$.

Die Angabe einer Faustzahl für einen optimalen Schlupfwert ist demnach kaum möglich, sondern der jeweils günstige Wert muß letztlich wohl für die speziellen Einsatzverhältnisse über einen Bordrechner ermittelt werden. Dann allerdings sollten aussagefähigere Daten wie beispielsweise optimale Arbeitsbreite, optimale Arbeitsgeschwindigkeit bzw. optimale Schleppermasse errechnet und angezeigt werden.

Eine Schlupfanzeige könnte allenfalls auf das Überschreiten der Grenzwerte aufmerksam machen, wobei die Schlupfwerte nach oben hin durch beginnende Bodenschädigung auf etwa $\sigma = 20$ bis 25% begrenzt sein dürften. Zu kleinen Werten hin sollte der Schlupf nicht den Schlupfwert unterschreiten, bei dem der Laufwerkwirkungsgrad sein Maximum hat, (etwa $\sigma = 8-12\%$, je nach Bodenverhältnissen).

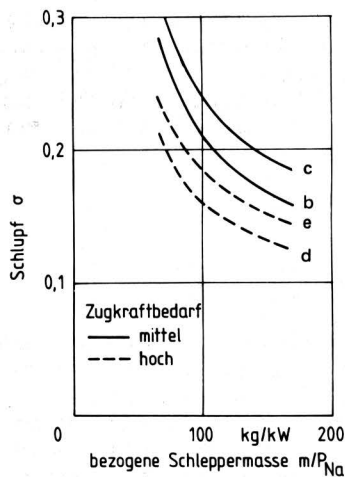


Bild 8. Schlupf im Optimum der Flächenleistung in Abhängigkeit von der bezogenen Schleppermasse beim Pflügen.

Kraftschlußverhältnisse: d = gut; b = e = mittel; c = schlecht

4.4 Der Einfluß von Schleppernabenleistung und Schleppermasse auf das Optimum der technischen Flächenleistung

Um die Einflüsse von Schleppernabenleistung und Schleppermasse etwas anschaulicher darzustellen, sind in Bild 9 nicht die bezogenen Größen, sondern die absoluten Größen der Flächenleistung, Schleppermasse und Nabenleistung aufgetragen. Das Bild zeigt die Verhältnisse für mittleren Zugkraftbedarf beim Pflügen. Aufgetragen ist die optimale Flächenleistung über der Schleppermasse bzw. über der Schleppernabenleistung. Deutlich ist zu erkennen, daß die Flächenleistung sowohl mit der Schleppermasse als auch mit der Schlepperleistung zunimmt.

Beide Kurvenscharen streben Maximalwerten zu, die jedoch bei den heute üblichen Schleppermassen und den sonstigen Bedingungen, wie sie für Bild 9 gelten, nicht erreicht werden. In Abhängigkeit von der Schleppermasse ergibt sich der Maximalwert, wenn

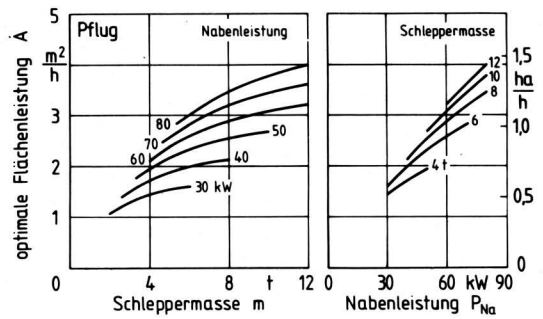


Bild 9. Optimale Flächenleistung beim Pflügen in Abhängigkeit von Schleppermasse und Nabenleistung. (mittlerer Zugkraftbedarf, mittlere Kraftschlußverhältnisse).

der Schlupf kleiner wird als der Schlupf, bei dem der Laufwerkwirkungsgrad sein Maximum erreicht. In Abhängigkeit von der Nabenleistung ergibt sich der Maximalwert bei hohen Schlupfwerten dann, wenn mit einer weiteren Steigerung des Schlupfes der Triebkraftbeiwert nicht mehr ansteigt und die zusätzliche Nabenleistung nur in Schlupfverlustleistung umgesetzt wird.

Bild 9 gilt, wenn das Optimum der Flächenleistung tatsächlich erreicht wird, weil Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitsbreite genau aufeinander abgestimmt werden können. Dies ist in der Praxis jedoch selten möglich. Häufig ist die Arbeitsbreite wegen vorhandener Geräte vorgegeben oder es darf eine bestimmte Arbeitsgeschwindigkeit mit Rücksicht auf die einwandfreie Gerätefunktion nicht unterschritten werden. Dann kann auch unter Ausnutzung der vorhandenen Nabenleistung vom System Schlepper/Gerät nicht mehr die optimale Flächenleistung erbracht werden, und die entsprechende Anpassung der Schleppermasse ist besonders wichtig.

4.5 Einfluß konstanter Arbeitsgeschwindigkeit bzw. Arbeitsbreite auf die technische Flächenleistung

Nimmt man an, daß bei vorgegebener Arbeitsgeschwindigkeit die Arbeitsbreite so angepaßt werden kann, daß die verfügbare Nabenleistung voll genutzt wird, bzw. daß bei vorgegebener Arbeitsbreite die Arbeitsgeschwindigkeit entsprechend angepaßt werden kann, so lassen sich die Kurven von Bild 10 bis 13 errechnen. In Bild 10 ist die bezogene Flächenleistung über der bezogenen Schleppermasse für den Pflug, in Bild 11 für den Grubber aufgetragen. Als Parameter wurden je 3 Geschwindigkeiten (4, 6 und 8 km/h bzw. 6, 8 und 10 km/h) vorgegeben und die bezogene Flächenleistung für 2 Kombinationen von Zugkraftbedarf und Kraftschlußverhältnis dargestellt. Man erkennt, daß die größten Flächenleistungen bei großer bezogener Schleppermasse und kleiner Arbeitsgeschwindigkeit erreicht werden. Bei höheren Fahrgeschwindigkeiten weist die Flächenleistung ein Optimum auf, das sich mit höheren Fahrgeschwindigkeiten und schlechteren Zugkraft- bzw. Kraftschlußbedingungen zu kleineren bezogenen Schleppermassen verschiebt (s. Kurve b – 8 km/h in Bild 10, b – 10 km/h in Bild 11). In den Fällen hoher Arbeitsgeschwindigkeit ist also der leichtere Schlepper dem schweren Schlepper überlegen.

In Bild 12 ist die bezogene Flächenleistung über der bezogenen Schleppermasse für das Pflügen, in Bild 13 für das Grubbern aufgetragen. Als Parameter wurden konstante bezogene Arbeitsbreiten gewählt. Die Tendenzen sind ähnlich wie bei konstanter Arbeitsgeschwindigkeit. Die größeren Flächenleistungen werden bei großen bezogenen Schleppermassen mit breiten Geräten erreicht, jedoch ist großes Augenmerk auf eine entsprechende Schleppermasse zu richten. Betriebssicherer sind schmalere Geräte, die zwar nicht so große Werte für die technische Flächenleistung erbringen, jedoch weniger empfindlich auf falsche Ballastierung reagieren (starker Abfall der Flächenleistung bei zu großen Arbeitsbreiten mit abnehmender Masse).

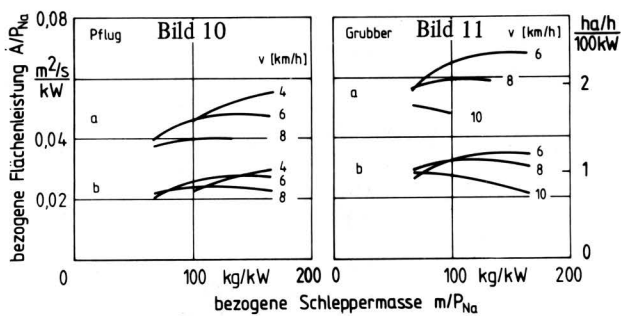


Bild 10 und 11. Bezogene Flächenleistung \dot{A}/P_{Na} in Abhängigkeit von der bezogenen Schleppermasse m/P_{Na} , Arbeitsgeschwindigkeit als Parameter.

- a mittl. Zugkraftbedarf, gute Kraftschlußverhältnisse
- b hoher Zugkraftbedarf, schlechte Kraftschlußverhältnisse

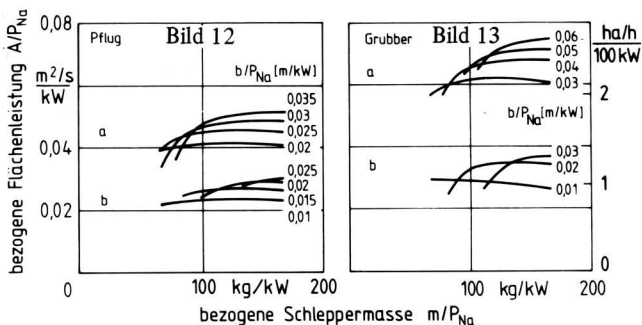


Bild 12 und 13. Bezogene Flächenleistung \dot{A}/P_{Na} in Abhängigkeit von der bezogenen Schleppermasse m/P_{Na} , bezogene Arbeitsbreite als Parameter.

- a mittl. Zugkraftbedarf, gute Kraftschlußverhältnisse
- b hoher Zugkraftbedarf, schlechte Kraftschlußverhältnisse

4.6 Einfluß der Schleppergetriebestufung

Die bisherigen Ausführungen galten unter der Annahme, daß Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit oder wenigstens eine dieser Größen stufenlos eingestellt werden kann. In der Praxis ist es jedoch so, daß sowohl die Arbeitsbreite vom Gerät her als auch die Fahrgeschwindigkeit vom Schlepper her nur in konkreten Sprüngen angepaßt werden können. Diese Tatsache führt dazu, daß die vom Schlepper bereitgestellte Nabenleistung nicht voll genutzt und im tatsächlichen Einsatz die Auslastung des Motors und damit auch die maximale Flächenleistung nicht erreicht werden kann. In Bild 14 sind Flächenleistung, Nabenleistung und Schlupf über der theoretischen Fahrgeschwindigkeit aufgetragen. Alle Werte sind auf die mit dem Index x gekennzeichneten entsprechenden Werte des Optimums der Flächenleistung bezogen. Schleppermasse und Gerätebreite wurden konstant gehalten. Eine Überschreitung der Nabenleistung P_{Nax} ist denkbar, wenn von vornherein zur Überwindung von schwierigen Bodenstellen nicht mit voller Motorleistung gearbeitet wurde, sondern eine gewisse Reserve vorhanden ist.

Dem Bild 14 ist zu entnehmen, daß sich mit Verringerung der theoretischen Fahrgeschwindigkeit v_0 auch die Flächenleistung und die ausgenutzte Nabenleistung verringern. Allerdings nimmt die Flächenleistung langsamer ab als die Nabenleistung, da die bezogene Schleppermasse mit abnehmender Motorauslastung ansteigt. Geringere Arbeitsgeschwindigkeiten scheinen nach diesem Bild günstiger als die berechnete Arbeitsgeschwindigkeit für das Optimum der Flächenleistung. Da mit nicht voller Nutzung der Motorleistung die Kraftstoffkosten sinken, die Lohnkosten wegen

der abnehmenden Flächenleistung jedoch ansteigen, ist eine ökonomische Untersuchung notwendig, auf die hier jedoch verzichtet werden soll. Zumindest scheint die Forderung nach stufenlosen Getrieben für Ackerschlepper für den Bereich Bodenbearbeitung nicht länger vertretbar zu sein, solange im Arbeitsbereich eine enge Stufung wie heute üblich vorgesehen wird.

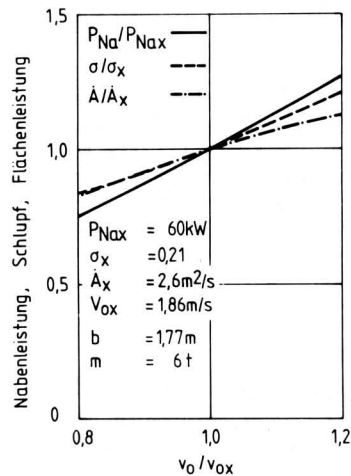


Bild 14. Flächenleistung, Nabenleistung und Schlupf bei konstanter Arbeitsbreite und Schleppermasse in Abhängigkeit von der theoretischen Fahrgeschwindigkeit; alle Werte bezogen auf die entsprechenden Werte bei maximaler Flächenleistung (Pflügen, mittl. Zugkraftbedarf, mittl. Kraftschlußverhältnisse).

5. Zusammenfassung

Die bekannten Gleichungen der Fahrmechanik werden ausgewertet. Es werden 3 unterschiedliche Kraftschlußverhältnisse, 2 unterschiedliche Werte für den Zugkraftbedarf und Pflug- und Grubberinsatz untersucht. Mit Werten aus dem Schrifttum für diese Einsatzbedingungen werden die Flächenleistung und die jeweils zugehörige Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit berechnet und in Diagrammen in Abhängigkeit von weiteren Parametern wie beispielsweise Schlupf, Schlepperleistung und Schleppermasse dargestellt. Die in der Praxis häufig vorkommenden Randbedingungen konstante Arbeitsbreite bzw. konstante Arbeitsgeschwindigkeit werden näher erläutert.

Die Berechnungen haben gezeigt, daß der Boden über Zugkraftbedarf und Kraftschlußbeiwert erheblichen Einfluß auf die Flächenleistung und die Zuordnung von Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitsbreite hat. Der Landwirt muß durch Wahl von Gerätebreite und Fahrgeschwindigkeit auf den augenblicklichen Bodenzustand reagieren können.

Hohe Flächenleistungen werden vor allem bei niedrigen Arbeitsgeschwindigkeiten und großen Schleppermassen erreicht, wobei jedoch die Grenzen vor allem hinsichtlich der Tragfähigkeit des Bodens beachtet werden müssen. Sind für einwandfreie Gerätefunktion höhere Arbeitsgeschwindigkeiten notwendig, ist eine geringere Schleppermasse günstiger. Die optimalen Flächenleistungen lassen sich dann jedoch nicht erreichen.

Die Schlupfwerte werden von den jeweiligen Parametern stark beeinflusst. Eine generelle Angabe "günstiger" Schlupfwerte ist deswegen nicht möglich.

Schrifttum

- [1] *Wenner, H.L., H. Auernhammer u. G. Wendl:* Leistungssteigerung beim Geräteeinsatz durch höhere Geschwindigkeit, größere Arbeitsbreite oder Gerätekombination? Landtechnik von morgen, Folge 19; München: Motorenfabrik Anton Schlüter, 1979.
- [2] *Stroppel, A.:* Eine Methode zur Beurteilung von Bodenbearbeitungsverfahren im Hinblick auf die Schlagkraft. Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 4, S. 108/14.
- [3] *Stroppel, A.:* Energie- und Arbeitszeitbedarf für gezogene Geräte der Bodenbearbeitung bei unterschiedlicher Schleppermotorauslastung. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 4, S. 135/39.
- [4] *Stroppel, A. u. W. Schäfer:* Arbeitszeit- und Energiebedarf beim Pflügen in Abhängigkeit vom Getriebegang, der Arbeitsbreite des Pfluges und der Schleppermasse. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 5, S. 165/71.
- [5] *Stroppel, A. u. W. Schäfer:* Maximierung der Schlagkraft beim Pflügen durch stufenlose Arbeitsbreitenverstellung. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 6, S. 205/10.
- [6] *Steinkampf, H.:* Ermittlung von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 27 (1975).
- [7] *Sonnen, F.J.:* Über den Einfluß von Form und Länge der Aufstandfläche auf die Zugfähigkeit und den Rollwiderstand von AS-Reifen. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 3 (1970).
- [8] *Söhne, W. u. F.J. Sonnen:* Messungen von Rollwiderstand und Zugkraft von luftbereiften Ackerschleppern sowie mechanischen Bodenkenngößen und Versuch einer Zuordnung. Proceedings of the 1. International Conference on the Mechanics of Soil-Vehicle Systems, Turin 1961.
- [9] *Söhne, W. u. I. Bolling:* Der Einfluß der Lastverteilung auf die Triebkraft-Schlupf-Kurve von Ackerschleppern. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 3, S. 81/85.

Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung beim Verteilen von Mineraldünger

Von Wilhelm Hellweg, Rietberg, und
Hermann J. Heege, Kiel*)

DK 631.333.5

Das Ausbringen von Mineraldünger ist bei einigen Verteilungsverfahren verbunden mit einer Entmischung bezüglich der Korngröße. Dieser Beitrag behandelt die Frage, in welchem Umfang eine solche Entmischung bezüglich der Korngröße eine Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung zur Folge hat. Diese Frage ist von Bedeutung, wenn Mehrnährstoffdünger verwendet werden, die durch Mischen von Einnährstoffdüngern mit unterschiedlichem Korngrößenspektrum erstellt wurden. Die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung wird mit Hilfe eines Simulationsprogrammes aus der zuvor bestimmten Entmischung bezüglich der Korngröße ermittelt. Bei den untersuchten Streuverfahren nimmt die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung in der Reihenfolge Schneckenstreuer – Bandstreuer – Schleuderstreuer – Pneumatikstreuer ab.

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung der Untersuchungen und Herrn Dipl.-Ing. agr. *Voßhenrich* für die Hilfe.

*) *Dr. W. Hellweg* war wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landtechnik, Bonn, und ist jetzt Abteilungsleiter bei den Rietbergwerken GmbH & Co. KG, Rietberg. *Prof. Dr. H.J. Heege*, seinerzeit Leiter der Abteilung Landwirtschaftliche Arbeitsverfahren im Institut für Landtechnik der Universität Bonn, ist nun Direktor des Instituts für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel.

1. Einleitung

Für die durch mechanisches Mischen von Einnährstoffdüngern erstellten Mehrnährstoffdünger ist von Bedeutung, in welchem Umfang im Laufe der nachfolgenden Arbeitskette eine Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung stattfindet. Im vorhergehenden Beitrag [1] wurde aufgezeigt, in welchem Maße die heute üblichen Streuverfahren eine ungleichmäßige Verteilung der verschiedenen Korngrößen über der Arbeitsbreite verursachen. Dieser Beitrag behandelt die Frage, welche Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung als Folge einer Entmischung bezüglich der Korngröße bei verschiedenen Streuverfahren zu erwarten ist. Aus pflanzenbaulicher Sicht ist schließlich im wesentlichen nur die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung von Belang.

Im einzelnen hat der Beitrag auch zum Ziel, die Auswirkungen von stoffabhängigen Einflüssen (Korngrößenverteilung der Dünger) und prozeßabhängigen Einflüssen (Streuverfahren) auf die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung zu klären.

2. Methodik

2.1 Grundlagen

Ziel der Arbeit ist die Ermittlung der Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung über der Arbeitsbreite des Düngerstreuers als Folge von Unterschieden in der Korngrößenverteilung der Ausgangskomponenten des Mischdüngers. Der Einfluß anderer physikalischer Dünereigenschaften wie Dichte und Form der Körner wird nicht berücksichtigt, damit Ursache und Wirkung eindeutig zuzuordnen sind. Nach Untersuchungen von *Hoffmeister u.a.* [2] ist der Einfluß dieser Dünereigenschaften auf die Entmischung sehr gering, verglichen mit dem Einfluß der Korngrößen.