

Ein Beitrag zum Leistungs- und Energiebedarf gezogener und angetriebener Bodenbearbeitungsgeräte

Von Alfred Stoppel und Alfons Bunk,
Stuttgart-Hohenheim*)

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

DK 631.51.004.17:631.312:631.316

Bei den Verfahren der Bodenbearbeitung konkurrieren gezogene Geräte mit den über die Zapfwelle angetriebenen Geräten. Entscheidungskriterien für oder gegen den Kauf einer bestimmten Geräteart sind unter anderem der Leistungs- und Energiebedarf der Geräte. In dieser Arbeit werden Geräte mit unterschiedlichem Anteil der Zugleistung am Leistungsbedarf des Gerätes bezüglich dieser Kriterien verglichen. Mit diesen mehr theoretischen Ausführungen sollen einige grundsätzliche Zusammenhänge geklärt werden.

1. Einleitung

Die seit Anfang dieses Jahrhunderts diskutierte Frage, ob es zweckmäßiger ist, die Bodenbearbeitung mit Geräten durchzuführen, die über die kraftschlüssige Verbindung zwischen Schlepper und Boden gezogen oder über formschlüssige Verbindungselemente direkt angetrieben werden (z.B. über ein Kettengetriebe direkt von den Schlepperhinterterrädern aus oder über Zapf- und Gelenkwelle), ist bis heute nicht zufriedenstellend beantwortet worden. Die Argumente dafür und dagegen wurden oft genannt, z.B. [1, 2].

Die Beantwortung dieser Frage ist deswegen so schwierig, weil es sich hierbei nicht nur um ein technisches oder ökonomisches Problem handelt, sondern auch die Frage nach der herzustellenden optimalen Bodenstruktur gestellt ist, die der Acker- und Pflanzenbauer zu beantworten hat. Man denke nur an die kontroversen Diskussionen über Fräs-, Grubber- und Pflugkultur der 20er Jahre [3, 4, 5], die auch heute immer wieder aufflammten. Daß dabei manchmal am Rande der Wissenschaftlichkeit argumentiert wird, ist zwar einerseits zu beklagen, andererseits jedoch verständlich, wenn man weiß, daß man nahezu jedes Argument der anderen Seite mit dem Hinweis entkräften kann, daß es irgendwo einen Standort gibt, auf dem sich das andere Gerät nicht bewährt hat.

Hinzu kommt, daß die Natur es den Wissenschaftlern sehr schwer macht, den anzustrebenden optimalen Bodenzustand festzulegen, obwohl sich schon seit *Albrecht Thaer* [6] Generationen von Wissenschaftlern damit beschäftigt haben. An dieser Stelle sei ein kurzes Gedenken dieses großen Mannes erlaubt, der auf das Jahr

genau vor 150 Jahren verstorben ist. Er war der erste, der basierend auf wissenschaftlichen Erkenntnissen Vorschläge zur Bodenbearbeitung machte.

Die Probleme des unterschiedlichen Arbeitseffektes der angetriebenen und gezogenen Geräte und die Auswirkungen auf den Pflanzenertrag sollen nicht vertieft werden. Auch sollen weitere für den Gerätevergleich wichtige Fragen, etwa der Gesichtspunkt der Kosten, die Einstellbarkeit der Bearbeitungsintensität, die Empfindlichkeit gegen Steine, die Reparaturanfälligkeit, die Ansprüche an die Schlepperhydraulik, die Kombinationsmöglichkeit mit anderen Geräten usw., in dieser Arbeit unberücksichtigt bleiben.

Im folgenden sollen einige grundsätzliche Zusammenhänge, den Leistungs- und Energiebedarf betreffend, diskutiert werden, da diese Kriterien beim Vergleich dieser beiden unterschiedlichen Gerätetypen oft nicht sehr sachkundig in der Diskussion verwendet werden.

2. Aufgabenstellung

Um die Unterschiede im Leistungs- und Energiebedarf besser deutlich machen zu können, wird davon ausgegangen, daß die zu vergleichenden Geräte auf die Einheit der Arbeitsbreite bezogen den gleichen Leistungsbedarf (kW/m) in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit haben. Eine entsprechende Gleichung wird vorgegeben. Darauf aufbauend werden einige Aussagen zum Leistungs- und Energiebedarf der Geräte gemacht.

Die verschiedenen Geräte (gezogen, angetrieben, gezogen/angetrieben) werden im Hinblick auf den Leistungs- und Energiebedarf des Schleppers durch den sogenannten Zugleistungsanteil charakterisiert. Dieser wird näher erläutert.

Anhand eines Diagrammes mit der Arbeitsbreite und der Arbeitsgeschwindigkeit als Koordinaten wird gezeigt, in welcher Weise sich die Schlagkraft eines Gerätes ändert, wenn man bei gleichem bezogenen Leistungsbedarf des Gerätes und gleicher Schlepperleistung das Verhältnis von Zugleistung zu Gesamtleistung verändert. Um gewisse Tendenzen auch konkret aufzeigen zu können, wird von bestimmten mathematischen Zusammenhängen für die Wirkungsgrade, Schlupf usw. ausgegangen, die natürlich nicht verallgemeinert werden können.

Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden Überlegungen im Hinblick auf ein Bodenbearbeitungsgerät angestellt, das einen möglichst geringen Leistungs- und Energiebedarf hat.

Abschließend werden noch Diagramme mit der Arbeitsbreite und der Arbeitsgeschwindigkeit als Koordinaten diskutiert, die Linien gleichen Leistungsbedarfs und gleichen Energiebedarfs bei unterschiedlichem Zugleistungsanteil enthalten.

*) Prof. Dr.-Ing. Alfred Stoppel ist Inhaber des Lehrstuhls für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim. Dipl.-Ing. agr. Alfons Bunk ist wiss. Mitarbeiter des Sonderforschungsbereichs 140 am gleichen Institut.

3. Leistungs- und Energiebedarf der Geräte

Wie schon erwähnt, wird bei den folgenden Überlegungen davon ausgegangen, daß der Leistungsbedarf pro Meter Arbeitsbreite (bezogener Leistungsbedarf) in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit für die zu vergleichenden Geräte gleich ist, unabhängig davon, ob es sich um gezogene oder angetriebene Geräte handelt. Dies entspricht zwar nur selten der Realität, da im allgemeinen die angetriebenen Geräte einen höheren bezogenen Leistungsbedarf haben als die gezogenen, wenn man bezüglich des Bodens, der Arbeitsgeschwindigkeit und der Arbeitstiefe vergleichbare Bedingungen hat. Trotzdem soll in dieser Arbeit Gleichheit unterstellt werden, da man auf diese Weise bestimmte Zusammenhänge, den Unterschied im Schlepperleistungs- und -energiebedarf dieser verschiedenen Gerätarten betreffend, klarer erkennen kann.

Die Gleichung für den bezogenen Leistungsbedarf der Geräte, die den folgenden Ausführungen zugrunde liegt, lautet:

$$P_G = \frac{P_G}{b} = \frac{7000 v + 760 v^2}{3600} \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

- P_G kW/m bezogener Leistungsbedarf
- P_G kW Leistungsbedarf
- b m Arbeitsbreite
- v km/h Arbeitsgeschwindigkeit.

Die Gl. (1) wurde mehr oder weniger willkürlich gewählt. Sie entspricht einem Zusammenhang, der für den Grubber unter bestimmten Verhältnissen ermittelt wurde [7], was aber in dieser Arbeit ohne Belang ist.

In **Bild 1** ist unter anderem der bezogene Leistungsbedarf dargestellt. Daneben sind in einem b-v-Diagramm die nach Gl. (1) ermittelten Linien gleichen Leistungsbedarfs P_G und die Linien gleicher Hauptzeit t_H (h/ha) aufgetragen. Die Linien gleicher Hauptzeit werden nach folgender Gleichung ermittelt:

$$t_H = \frac{10}{b v} \quad (2)$$

Man erkennt, daß die Linien gleichen Leistungsbedarfs die Linien gleicher Hauptzeit schneiden, und zwar in der Weise, daß bei Zugrundelegen eines bestimmten Leistungsbedarfs für das Gerät mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit die Hauptzeit größer wird. Das heißt, um bei einer bestimmten zur Verfügung stehenden Leistung eine möglichst hohe Schlagkraft zu bekommen, muß die Arbeitsbreite auf Kosten der Arbeitsgeschwindigkeit erhöht werden. Das gilt praktisch für jeden progressiv mit der Arbeitsgeschwindigkeit zunehmenden Kurvenverlauf des bezogenen Geräteleistungsbedarfs.

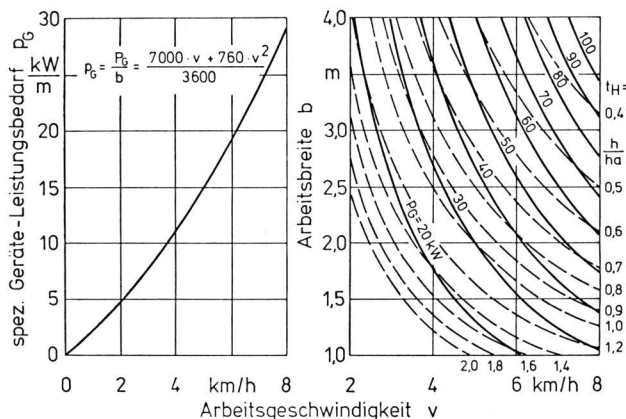


Bild 1. Arbeitsbreitebezogener Geräte-Leistungsbedarf nach Gleichung (1); Arbeitsbreite in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit bei unterschiedlichem Leistungsbedarf des Gerätes und unterschiedlichen Hauptzeiten.

Ist $P_G = f(v)$ eine Gerade, so haben im b-v-Diagramm die Linien $P_G = \text{const}$ den gleichen Kurvenverlauf wie die Linien $t_H = \text{const}$. Sie schneiden sich also nicht. Man kann daraus folgern, daß unter Zugrundelegung einer bestimmten Leistung durch Ändern der Arbeitsgeschwindigkeit bei entsprechendem Anpassen der Arbeitsbreite in diesem Sonderfall kein Einfluß auf die Hauptzeit genommen werden kann. Der flächenbezogene Energiebedarf ist für jeden Punkt des entsprechenden b-v-Diagrammes der gleiche.

Der flächenbezogene Energiebedarf W_G (kWh/ha) für die in Bild 1 dargestellten Verhältnisse ist jedoch von der Arbeitsgeschwindigkeit v abhängig. Er errechnet sich unter Zuhilfenahme der Gln. (1) und (2) nach folgender Beziehung:

$$W_G = P_G t_H = 19,4 + 2,1 v \quad (3)$$

Es soll noch einmal betont werden, daß die bisherigen Ausführungen sowohl für rein angetriebene als auch für rein gezogene als auch für kombinierte, angetriebene und gezogene Geräte gelten sollen. Ermittelt man nun den für diese Geräte notwendigen Schlepperleistungs- und -energiebedarf, so ist es nicht mehr gleichgültig, um welche Gerätart es sich handelt.

Bevor auf den Schlepperleistungs- und -energiebedarf übergegangen wird, soll kurz dargelegt werden, in welcher Weise die verschiedenen Gerätarten in den entsprechenden mathematischen Gleichungen berücksichtigt werden.

4. Zugleistungsanteil y

Die Unterschiede der Geräte werden durch den sogenannten Zugleistungsanteil y charakterisiert. Er stellt das Verhältnis von Zugleistung P_Z zur Gesamtleistung P_G für den Betrieb des Gerätes dar:

$$y = \frac{P_Z}{P_G} \quad (4)$$

$y = 0$ bedeutet, daß es sich um ein ausschließlich angetriebenes Gerät handelt (z.B. Fräse); $y = 1$ ist ein ausschließlich gezogenes Gerät (z.B. Pflug); Geräte mit einem Zugleistungsanteil zwischen 0 und 1 werden sowohl gezogen als auch angetrieben (z.B. Kreiselege).

Man kann in Gl. (1) diese Größe einführen und schreiben:

$$P_G = (1 - y) \frac{(7000 v + 760 v^2)}{3600} + y \frac{(7000 v + 760 v^2)}{3600} \quad (5)$$

bez. Zapfwellenleistung p_a bez. Zugleistung p_z

In **Bild 2** sind diese Zusammenhänge bildlich dargestellt.

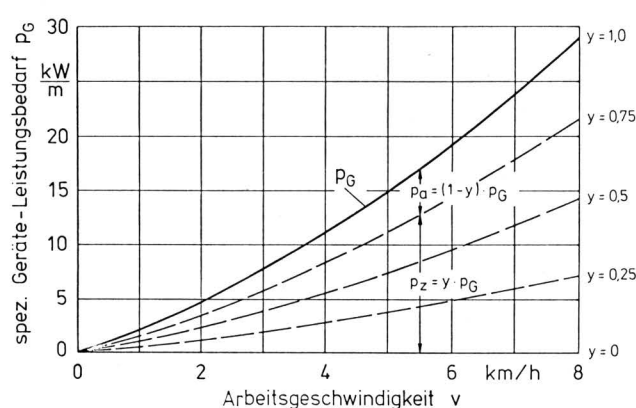


Bild 2. Aufteilung des bezogenen Leistungsbedarfs P_G in Zapfwellenleistungsbedarf p_a und in Zugleistungsbedarf p_z bei unterschiedlichem Zugleistungsanteil y .

5. Bedarf an Schlepperleistung und -energie

Kombiniert man ein Gerät mit einem bezogenen Leistungsbedarf beispielsweise nach Bild 1 mit einem Schlepper, so ist es bei der Ermittlung der notwendigen Schlepperleistung nicht mehr gleichgültig, ob es sich bei diesem Gerät um ein angetriebenes oder gezogenes handelt oder ob es sowohl angetrieben als auch gezogen wird.

Bei der Ermittlung der erforderlichen Schlepperleistung müssen die verschiedenen Wirkungsgrade und der Auslastungsgrad berücksichtigt werden. Bezeichnet man die Schlepperleistung mit P_S , so kann man aufbauend auf Gl. (5) schreiben:

$$P_S = P_{S1} + P_{S2} = (1-y) \frac{(7000v + 760v^2)b}{3600\lambda\eta_a} + y \frac{(7000v + 760v^2)b}{3600\lambda\eta_G\eta_L} \quad (6)$$

In dieser Gleichung bedeuten:

η_L	Laufwerkwirkungsgrad
η_G	Getriebewirkungsgrad (Kupplung – Radachsen)
η_a	Getriebewirkungsgrad (Kupplung – Zapfwelle)
λ	Auslastungsgrad

P_{S1} ist der Teil der Schlepperleistung, der über die Zapfwelle übertragen wird, während P_{S2} über die Radachsen geleitet wird.

Unterstellt man einmal, daß $\eta_G = \eta_a$ ist, und verwendet man die Werte und formelmäßigen Zusammenhänge, die in [7] erläutert wurden, so gelten folgende Gleichungen:

$$\eta_G = \eta_a = 0,85 \quad (7)$$

$$\lambda = 0,83 \quad (8)$$

$$\eta_L = \frac{\kappa}{\kappa + \rho} (1 - \sigma) \quad (9)$$

$$\sigma = 0,013 \cdot 621,3^{\kappa} \quad (10)$$

$$\rho = 0,028 + 0,003 \cdot 621,3^{\kappa} \quad (11)$$

$$\kappa = \frac{y(7000 + 760v)b}{12768 + 400P_S + 942b} \quad (12)$$

Hierin bedeuten:

κ	Triebkraftbeiwert
ρ	Rollwiderstandsbeiwert
σ	Schlupf.

Durch Einsetzen der Gln. (7) bis (12) in Gl. (6) erhält man folgenden mathematischen Zusammenhang, wobei der Triebkraftbeiwert κ nach Gl. (12) bestimmt wird:

$$P_S = (1-y) \frac{(7000v + 760v^2)b}{2540} + \frac{(12768 + 400P_S + 942b)v(\kappa + 0,028 + 0,003 \cdot 621,3^{\kappa})}{(1 - 0,013 \cdot 621,3^{\kappa})2540} \quad (13)$$

Bei einem ausschließlich gezogenen Gerät ($y = 1$) wird der erste Summand in Gl. (13) zu Null. Bei einem ausschließlich angetriebenen Gerät ($y = 0$) wird κ nach Gl. (12) zu Null. In Gl. (13) bleiben aber beide Summanden erhalten, wobei der zweite Summand die Rollwiderstandsleistung des Schleppers berücksichtigt. Für ein ausschließlich angetriebenes Gerät lautet dann die Gleichung für die Schlepperleistung:

$$P_S = \frac{(7000v + 760v^2)b}{2540} + \frac{(12768 + 400P_S + 942b)v(0,028 + 0,003)}{(1 - 0,013)2540} \quad (14)$$

In die abgeleiteten Gleichungen geht unter anderem auch das Gerätegewicht in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite ein. Dieser Zusammenhang wurde für alle untersuchten Geräte ($y = 0$ bis $y = 1$) gleich gehalten. Es ist die Beziehung, die in [7] für den Grubber verwendet wurde.

In Bild 3 sind für einen bezogenen Leistungsbedarf nach Bild 1 die Leistungskurven für eine Schlepperleistung von 100 kW bei unterschiedlichem Zugleistungsanteil y mittels der Gln. (12) und (13) dargestellt. Da die Gleichungen nicht explizit nach der Arbeitsbreite b auflösen sind, mußten die Kurven iterativ mit einem Kleincomputer ermittelt werden.

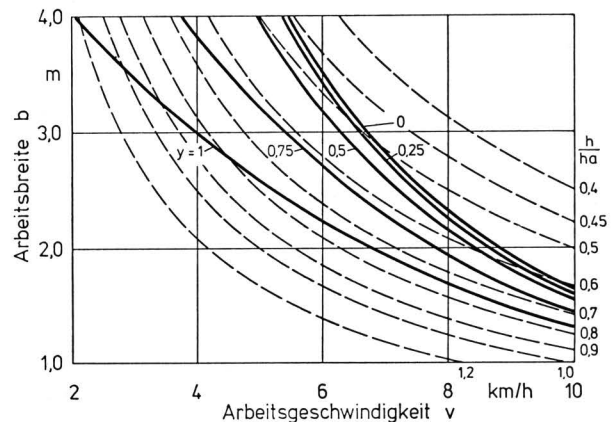


Bild 3. Arbeitsbreite in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Hauptzeiten und unterschiedlichem Zugleistungsanteil y (sämtliche durchgezogenen Kurven gelten für eine Schlepperleistung von 100 kW).

Trotz gleicher Werte von Schlepperleistung und bezogenem Geräte-Leistungsbedarf unterscheiden sich die Kurven ganz erheblich, je nachdem wie hoch der y -Wert ist. Man erkennt, daß die Geräte mit kleinem Zugleistungsanteil gegenüber den nur gezogenen Geräten wesentlich kleinere Werte der Hauptzeit aufweisen. So ergibt sich bei 6 km/h und $y = 0$ ein Wert von etwa 0,47 h/ha, während bei $y = 1$ ein Wert von etwa 0,75 h/ha abzulesen ist. Entsprechend verhalten sich auch die Werte für den Energiebedarf, da es sich immer um einen 100 kW-Schlepper handelt (47 bzw. 75 kWh/ha).

Anhand dieses Diagrammes kann man sehr deutlich den Vorteil der über die Zapfwelle angetriebenen gegenüber gezogenen Geräten erkennen, wenn – und das muß in diesem Zusammenhang ganz besonders betont werden – der bezogene Leistungsbedarf der Geräte gleich ist. Und das ist derzeit nicht der Fall, d.h. der Leistungsbedarf der angetriebenen Geräte ist im allgemeinen beträchtlich höher als der der gezogenen Geräte. So wird beispielsweise in [8] für den Tiefgrubber bei 7 bis 10 km/h ein mittlerer Schlepperleistungsaufwand von 18 bis 35 kW pro Meter Arbeitsbreite angegeben und für die Fräse bei 4 bis 7 km/h ein Bereich von 22 bis 34 kW/m. Transformiert man diese Leistungswerte auf gleiche Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitstiefe und bestimmt so den Leistungsbedarf der Geräte bei gleichen Bedingungen, dann ist er bei dem angetriebenen Gerät beträchtlich höher als bei dem gezogenen.

Das Ziel müßte also sein, angetriebene Geräte zu konstruieren, die unter vergleichbaren Verhältnissen in etwa den gleichen Leistungsbedarf wie gezogene Geräte haben. Erst dann kommen die Vorteile der angetriebenen Geräte bezüglich des Leistungs- und Energiebedarfs zum Tragen, was anhand des Bildes 3 verdeutlicht wurde. Ein Schritt in diese Richtung ist der im NIAE, Silsoe/England entwickelte Rotary Digger [9].

Interessant ist, daß im unteren Bereich des Zugleistungsanteils y (von 0 bis 0,5) die Verringerung der Arbeitsproduktivität weit geringer ist als im oberen Bereich (von 0,5 bis 1). Das macht sich zwangsläufig auch bei den möglichen Arbeitsbreiten bemerkbar, wenn man von einer bestimmten Arbeitsgeschwindigkeit ausgeht. Der Grund hierfür ist der durch Gl. (10) festgelegte Verlauf der κ - σ -Kurve, die bei kleinen Zugkräften einen steilen Verlauf hat, so daß sich im unteren y -Bereich der Schlupf nicht so stark ändert wie im oberen Bereich. In Bild 4 sind die Arbeitsbreite und der Schlupf in Abhängigkeit vom Zugleistungsanteil y für eine Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h dargestellt.

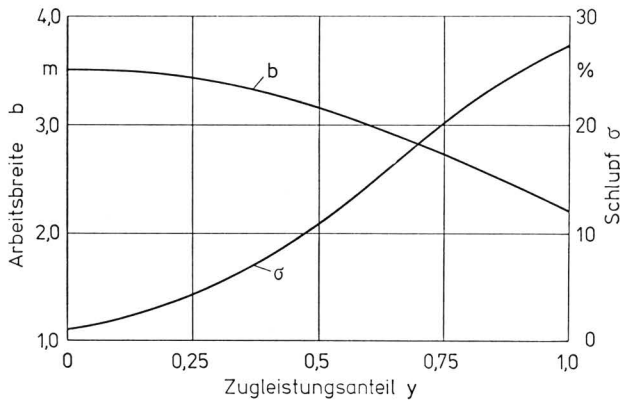


Bild 4. Arbeitsbreite b und Schlupf σ in Abhängigkeit vom Zugleistungsanteil y (100 kW-Schlepper, Arbeitsgeschwindigkeit 6 km/h).

Aufbauend auf den bisherigen Ausführungen kann man folgende Überlegung im Hinblick auf ein Bodenbearbeitungsgerät anstellen, das einen möglichst geringen Leistungs- und Energiebedarf hat. Ideal wäre es, wenn man ein rein angetriebenes Gerät konstruieren könnte, das unter vergleichbaren Bedingungen den gleichen Leistungsbedarf hat wie ein gezogenes Gerät. Es wird sehr schwer sein, ein derartiges Gerät zu erfinden, insbesondere auch für größere Arbeitstiefen.

Deswegen scheint ein kombiniertes Bodenbearbeitungsgerät aus gezogenem und angetriebenem Werkzeug im Hinblick auf die Leistungs- und Energiebedarfsminimierung eine interessante Lösung zu sein. Dabei sollte der Zugleistungsanteil y entsprechend den obigen Ausführungen nicht größer als 0,5 sein. Schon früher wurden entsprechende Kombinationen wissenschaftlich untersucht, beispielsweise Schar-Fräsen-Kombinationen [10]. Auch im Rahmen der Arbeiten des Hohenheimer Sonderforschungsbereichs wurde eine entsprechende Maschine zur kombinierten tiefen Bodenbearbeitung und zur Saatbettbereitung entwickelt und gebaut. Über diese Maschine und die damit gewonnenen Versuchsergebnisse wird zusammen mit den diesbezüglichen grundlegenden Zusammenhängen an anderer Stelle zu berichten sein.

Abschließend noch eine Bemerkung in Verbindung mit Bild 3. Anhand dieses Bildes kann man erkennen, daß die Zuordnung der Linien gleicher Schlepperleistung ($P_S = \text{const}$) zu den Linien gleicher Hauptzeit ($t_H = \text{const}$) sehr stark vom Zugleistungsanteil y abhängig ist. Dadurch wird auch wesentlich der flächenbezogene Energiebedarf W_S in kWh/ha beeinflusst, der unter Zuhilfenahme der Gln. (2) und (13) nach folgender Beziehung ermittelt wird:

$$W_S = P_S t_H = (1 - y) \frac{(7000 + 760 v)}{254} + \frac{(12768 + 400 P_S + 942 b)(\kappa + 0,028 + 0,003 \cdot 621,3^{\kappa})}{(1 - 0,013 \cdot 621,3^{\kappa}) 254 b} \quad (15).$$

Der Triebkraftbeiwert κ wird nach Gl. (12) bestimmt.

In den Bildern 5 bis 7 sind die Linien gleicher Schlepperleistung ($P_S = \text{const}$) und die Linien gleichen Energiebedarfs ($W_S = \text{const}$) für verschiedene Zugleistungsanteile y dargestellt.

Man erkennt, daß trotz gleichen bezogenen Leistungsbedarfs der Geräte (Bild 1) der Zugleistungsanteil y sehr stark die Lage der Kurven für konstante Schlepperleistung beeinflusst. Dadurch werden auch die Form und die Lage der Linien gleichen Energiebedarfs beeinflusst, was besonders gut zu erkennen ist, wenn man die Kurven für $y = 0$ (Bild 5) mit denen für $y = 1$ (Bild 7) vergleicht. Im ersten Fall überdecken die Kurven für 38 bis 58 kWh/ha den dargestellten Diagrammausschnitt, im zweiten Fall die entsprechenden Kurven für 70 bis 86 kWh/ha.

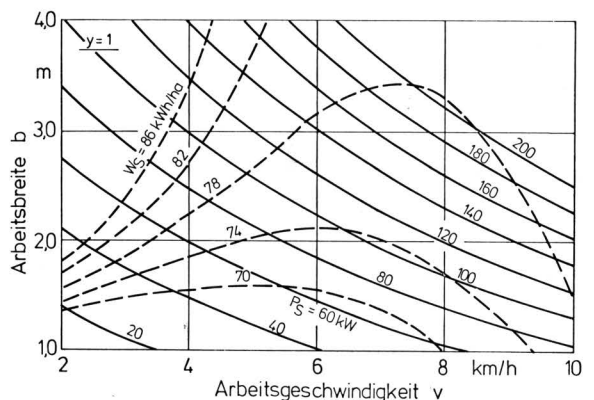
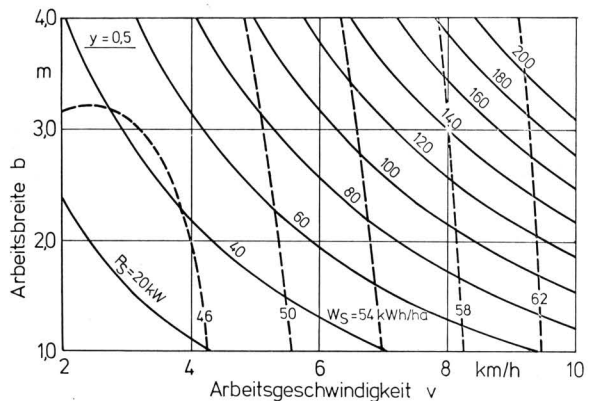
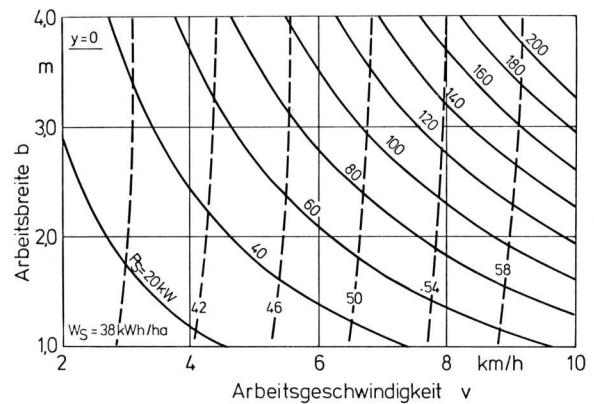


Bild 5 bis 7. Kurven konstanten Leistungs- und Energiebedarfs bei unterschiedlichem Zugleistungsanteil y .

Bild 5: $y = 0$

Bild 6: $y = 0,5$

Bild 7: $y = 1$

Bei Geräten mit $y = 0$ ist zu erwarten, daß die Linien gleichen Energiebedarfs Parallelen zur Ordinate sind. Durch den Rollwiderstand des Schleppers (s. Gl. (14)) sind diese Linien jedoch etwas geneigt, wie Bild 5 zeigt. Ganz anders sehen die Linien gleichen Energiebedarfs für $y = 1$ aus. Sie schneiden im dargestellten Diagrammausschnitt zum Teil die Linien gleichen Leistungsbedarfs zweimal, was zur Folge hat, daß bei einem Schlepper bestimmter Leistung für zwei Wertepaare b und v der gleiche Energiebedarf vorhanden ist (z.B. für einen 100 kW-Schlepper ist sowohl bei $b = 2,1$ m und $v = 6,4$ km/h als auch bei $b = 1,65$ m und $v = 8,2$ km/h ein Energiebedarf von 74 kWh/ha notwendig).

6. Zusammenfassung

Es werden gezogene und angetriebene Bodenbearbeitungsgeräte bezüglich des Leistungs- und Energiebedarfs verglichen. Der Vergleich erfolgt unter Zugrundelegung gewisser Annahmen — z.B. gleicher auf die Arbeitsbreite bezogenen Leistungsbedarfs für alle Geräte —, so daß die Ergebnisse nicht so ohne weiteres verallgemeinert werden können. Der erläuterte Rechengang und die entsprechende Darstellungsweise der Ergebnisse gelten allgemein, so daß bei geänderten Voraussetzungen die entsprechenden Ergebnisse schnell ermittelt werden können.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● *Rosegger, S., F.-P. Sörgel u. H. Steinkampf*: Verfahrenstechnische Entwicklungen bei steigenden Arbeits- und Energiekosten. DLG-Archiv 55, 1974, S. 9/32, DLG-Verlag, Frankfurt.
- [2] *Sieg, R.*: Erfahrungen mit neuartigen Geräten für Bodenbearbeitung und Bestellung. Landtechnische Schriftenreihe Heft 15, 1976, Österr. Kuratorium für Landtechnik, Wien.
- [3] *Fischer, A.*: Der Gegensatz zwischen Grubber und Fräse. Technik in der Landwirtsch. Bd. 2 (1921) H. 4, S. 73/75.
- [4] *Meyenburg, K. v.*: Grubber und Fräse (und Pflug). Technik in der Landwirtsch. Bd. 2 (1921) H. 5, S. 96/97.
- [5] *Bornemann, A.*: Die Fräskultur und ihre Beziehungen zur Ernährung der Kulturpflanzen. Technik in der Landwirtsch. Bd. 3 (1922) H. 8, S. 182/84.
- [6] ● *Klemm, V. u. G. Meyer*: Albrecht Daniel Thaer. Halle/Saale: VEB Max Niemeyer Verlag, 1968, S. 119 ff.
- [7] *Stropfel, A.*: Eine Methode zur Beurteilung von Bodenbearbeitungsverfahren im Hinblick auf die Schlagkraft. Grndl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 4, S. 108/14.
- [8] *Steinkampf, H. u. M. Zach*: Vom Pflug bis zur Direktsaat; Geräte zur Bodenbearbeitung und ihr Leistungs- und Energiebedarf. DLG-Mitteilungen Bd. 93 (1978) H. 16, S. 934/36.
- [9] *Patterson, D.*: The NIAE Rotary Digger. Symposiumsbericht "Grubber und Grubberfräse" Agrartechnische Berichte Nr. 8, 1978, Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim.
- [10] *Eggenmüller, A.*: Untersuchungen an einer Schar-Fräsen-Kombination. Grndl. Landtechnik H. 11 (1959) S. 64/71.

Untersuchungsergebnisse zur Verbesserung der Tropfenanlagerung in Feldkulturen

Von P. Jegatheeswaran und H. Göhlich, Berlin*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 — Landtechnik "Verfahrenstechnik in der Körnerfruchtproduktion"

DK 632.9:632.982

Die Frage, wie eine weitere Verbesserung der Anlagerung von Spritztropfen an den vorgegebenen biologischen Zielflächen durch physikalische und insbesondere strömungstechnische Maßnahmen zu erreichen ist, ist nach wie vor zu stellen. Vor allem geht es hierbei um Möglichkeiten, die Verteilung der chemischen Substanz nicht nur wie bisher in einer definierten Ebene in bestimmtem Abstand von der Düse zu gewährleisten, sondern sie ebenfalls in der Tiefe eines Pflanzenbestandes zu verbessern. Im folgenden werden Untersuchungen dargestellt, wie mittels Luftführungselementen der Strömungsverlauf im Bestand beeinflußt und die Anlagerung verbessert werden kann.

*) *Dipl.-Ing. P. Jegatheeswaran* ist wiss. Mitarbeiter des Sonderforschungsbereichs 140 am Institut für Maschinenkonstruktion der Technischen Universität Berlin — Bereich Landtechnik und Baumaschinen, *Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich* ist geschäftsführender Direktor des gleichen Instituts.

1. Einleitung

Wichtige Größen für das Durchdringen von Spritzschleiern in Feldbeständen sind die Tropfengröße und die vertikale Eindringgeschwindigkeit. Aus bisherigen Untersuchungen geht hervor, daß für eine ausreichende Durchdringung eines 30–40 cm hohen Getreidebestandes eine vertikale Tropfengeschwindigkeit von mindestens 3–4 m/s erforderlich ist. Die konventionellen Spritzdüsen (hydraulische Düsen) erzeugen beim Spritzvorgang nicht nur Tropfen unterschiedlicher Größe, sondern auch Tropfen mit unterschiedlichen Fluggeschwindigkeiten und -richtungen. Besonders Tropfen unter 100 μ m erreichen nach kurzem Flugweg bereits oberhalb des Bestandes ihre Endgeschwindigkeit (Schwebegeschwindigkeit) und driften außerordentlich leicht ab.

Diese Abdrift wird durch den Fahrtwind und den natürlichen Wind verursacht. Besonders bei größeren Arbeitsbreiten, die im praktischen Betrieb eine größere Spritzhöhe erfordern, verringert sich die vertikale Tropfengeschwindigkeit bis zum Anlagerungsort noch weiter. Eine zunehmende Spritzhöhe verringert also die Durchdringung des Pflanzenbestandes und vergrößert die Verluste durch Abdrift. Eine Verminderung der Abdriftverluste und eine