

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] Eimer, M.: Untersuchungen zur Durchsatzregelung am Mähdrösch. Habilitationsschrift Univ. Göttingen, 1973.
- [2] Otto, R.: Untersuchungen zu einigen Problemen bei der Ernte von kurzstrohigen Winterweizen- und Sommerweizenformen. Deutsche Agrartechnik Bd. 22 (1972) H. 3, S. 131/33.
- [3] Rilling, K.E.: Stroh – leistungsbestimmender Faktor beim Mähdrösch. DLG-Mitteilungen Bd. 91 (1976) H. 12, S. 667/68.
- [4] Vornkahl, W.: Voraussage der Bestandsentwicklung von landwirtschaftlichen Maschinen mit Hilfe einer graphischen Methode. Landt. Forschung Bd. 13 (1963) H. 2, S. 40/46.
- [5] Reiner, L.: Getreide- und Hackfruchterträge 1980. DLG-Mitteilungen Bd. 91 (1976) H. 12, S. 670/74.
- [6] Baader, W., H. Sonnenberg u. H. Peters: Die Entmischung eines Korngut-Fasergut-Haufwerks auf einer vertikal schwingenden, horizontalen Unterlage. Grundl. Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 5, S. 149/57.
- [7] Sonnenberg, H.: Korn-Stroh-Trennung mit Doppelkurbel-Hordenschüttlern. Grundl. Landtechnik Bd. 20 (1970) Nr. 6, S. 161/66.
- [8] Herbsthofer, F.J.: Wo stehen wir im Mähdröschbau und wie geht es weiter? Grundl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 3, S. 94/103.
- [9] Sonnenberg, H. u. W. Baader: Erntemaschinen für Halmfrüchte. Grundl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 6, S. 181/82.
- [10] Gorsler, K.G.: Intensivierung der Abscheidewirkung am Hordenschüttler von Mähdröschern durch Querschüttler. Vortrag anlässlich der VDI-Tagung Landtechnik, Stuttgart 1974.
- [11] Sonnenberg, H.: Korn-Stroh-Trennung mit einer Umlenktrömmel. Grundl. Landtechnik Bd. 21 (1971) Nr. 6, S. 169/72.
- [12] Mac Aulay, J.T. u. J.H.A. Lee: Grain separation on oscillating combine sieves as affected by material entrance conditions. Trans. ASAE Bd. 11 (1968) S. 648/54.
- [13] Reumschüssel, G. u. Chr. Zehme: Untersuchungen am Obersieb einer ebenen Reinigungseinrichtung. Agrartechnik Bd. 23 (1973) H. 6, S. 280/83.
- [14] Damm, J.: Der Sortiervorgang beim luftdurchströmten Schwingsieb. Fortschr.-Bericht VDI-Z. Reihe 3, Nr. 37, Düsseldorf: VDI-Verlag 1972.
- [15] Rochell, P.: Der Fördervorgang auf dem Schwingförderer unter besonderer Berücksichtigung der Reinigungsanlage im Mähdrösch. Diss. TH Stuttgart, 1975.
- [16] Segler, G.: Verfahrenstechnik in der Landwirtschaft. VDI-Zeitschrift Bd. 109 (1967) Nr. 9, S. 394/400.
- [17] Wieneke, F.: Das Arbeitskennfeld des Schlagleistendreschers. Grundl. Landtechnik H. 21 (1964) S. 33/34.
- [18] Deutsche Auslegeschrift Nr. 1582621.
- [19] •Autorenkollektiv: Kompendium der sowjetischen Landmaschinen-technik. VEB Verlag Technik, Berlin 1954.
- [20] Glaser, F.: Korn-Stroh-Trennung unter besonderer Berücksichtigung eines umlaufenden Siebbandschüttlers (Zinkbandschüttler). Diss. TH München 1976.
- [21] Deutsche Offenlegungsschrift 2160038.
- [22] Druckschrift der Firma Allis Chalmers, Milwaukee Nr. AED 400-7603-R.
- [23] Deutsche Patentschrift 1582 651.
- [24] Busse, W.: The design and use of combine harvesters for minimum crop loss. The Agricultural Engineers Bd. 32 (1977) H. 1, S. 7/9.
- [25] Gorden, L.L. u. F.D. Robinson: Development of the MF cascade shoe (Entwicklung des kaskadenförmigen Siebschuhs von MF). Trans. ASAE Bd. 14 (1971) Nr. 3, S. 448/49.

Eine Methode zur Beurteilung von Bodenbearbeitungsverfahren im Hinblick auf die Schlagkraft

Von Alfred Stroppel, Stuttgart-Hohenheim*)

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

DK 631.312:631.316:631.51

Die heute in der Landwirtschaft praktizierten intensiven Fruchtfolgen mit den dadurch bedingten kurzen Feldzeitspannen für die Bodenbearbeitung, der Arbeitskräftemangel, der Trend zu größeren Betriebsgrößen zur Verbesserung der Einkommenslage der Landwirte u.a.m. erfordern Bodenbearbeitungsverfahren mit hoher Schlagkraft. So konnte beispielsweise der Grubber in zahlreichen Fällen den Streichblechpflug verdrängen, weil er schlagkräftiger ist. Leider gibt es heute noch keine eindeutig festgelegte, objektive Methode, mit der man Kenn-

daten für die Schlagkraft verschiedener Verfahren der Bodenbearbeitung ermitteln kann, um mit diesen Werten die Verfahren untereinander zu vergleichen. In dieser Arbeit wird eine entsprechende Methode vorgeschlagen und zur Diskussion gestellt.

1. Einleitung

Bei der Ermittlung von arbeitswirtschaftlichen Daten in der Verfahrenstechnik der Bodenbearbeitung muß man zwei Zielsetzungen unterscheiden. In dem einen Fall sollen sog. Arbeitsbedarfszahlen für Arbeiten mit bestimmten, meist in einem Betrieb vorhandenen Geräten mit vorgegebener Arbeitsbreite ermittelt werden. Diese Zahlen werden beispielsweise für die Erstellung eines

*) Prof. Dr.-Ing. Alfred Stroppel ist Inhaber des Lehrstuhls für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim.

Arbeitsvoranschlag für einen bestimmten Einzelbetrieb verwendet und sollten die spezielle Betriebsstruktur, z.B. die unterschiedliche Form und Größe der zu bearbeitenden Schläge, berücksichtigen. Hierfür sind Tabellenbücher erarbeitet worden [1, 2], die z.T. diese betriebsspezifischen Einflußgrößen berücksichtigen. **Tafel 1** zeigt für das Pflügen und Grubbern einen Ausschnitt aus dem KTBL-Taschenbuch [1]. Hier wurde neben der Arbeitsbreite des Gerätes auch die Parzellengröße variiert, wobei bestimmte optimale Arbeitsgeschwindigkeiten unterstellt wurden. Beim Gebrauch dieser Tabellenwerte wird vorausgesetzt, daß eine ausreichende Schlepperleistung zur Verfügung steht, um – z.B. im Rahmen der Bodenbearbeitung – unterschiedlichen Arbeitstiefen und Bodenarten gerecht zu werden. Grobe Richtwerte für den Schlepperleistungsbedarf bei leichten bis mittelschweren Böden und mittleren Arbeitstiefen sind den Tabellen beigelegt.

Effektive Arbeitsbreite m	Parzellengröße in ha				
	0,5	1	2	5	10
	AKh/ha				
	Pflügen mit Kehrflug*)				
0,5	6,7	5,6	4,9	4,4	4,1
0,8	4,4	3,6	3,1	2,8	2,6
1,1	3,4	2,7	2,2	2,0	1,9
1,4	2,8	2,2	1,8	1,6	1,5
1,7	2,4	1,8	1,5	1,3	1,2
2,0	2,0	1,6	1,3	1,1	1,1
	Grubbern mit Tiefgrubber*)				
1,5	1,8	1,5	1,3	1,1	1,1
2,0	1,5	1,2	0,96	0,82	0,79
2,5	1,3	0,95	0,79	0,67	0,63
3,0	1,1	0,84	0,67	0,57	0,54
3,5	1,0	0,74	0,60	0,49	0,45
4,0	0,92	0,68	0,53	0,44	0,40

*) Leistungsbedarf: 15 bis 22 kW je Schar beim Pflug und ca. 26 kW je m Arbeitsbreite beim Tiefgrubber

Tafel 1. Arbeitsbedarfzahlen für das Pflügen und Grubbern nach KTBL-Taschenbuch [1].

Ein anderes Ziel bei der Ermittlung von arbeitswirtschaftlichen Daten sind Arbeitszeit-Kennwerte, die für die Schlagkraft von Bodenbearbeitungsverfahren charakteristisch sind und eine vergleichende Beurteilung verschiedener Verfahren hinsichtlich der Arbeitsproduktivität ermöglichen. Hierfür enthalten die o.g. Tabellenwerke auf der einen Seite zu viele Angaben, da der Einfluß der Betriebsstruktur, z.B. der Parzellengröße, beim Verfahrenvergleich von untergeordneter Bedeutung ist. Zum anderen fehlen entscheidende Werte und Abhängigkeiten, so daß es derzeit nicht möglich ist, mit Hilfe beispielsweise des Zahlenmaterials in Tafel 1 einen arbeitswirtschaftlichen Vergleich zwischen Pflug und Grubber zu machen, wenn auch die in Arbeitszeitstudien ermittelten Zeitelemente und die entsprechenden mathematischen Zusammenhänge (Arbeitszeitfunktionen), die den Tabellen zugrundeliegen, für die Lösung dieses Problems benötigt werden.

Im folgenden soll eine Methode erläutert und zur Diskussion gestellt werden, mit der eine vergleichende Beurteilung verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren im Hinblick auf die Schlagkraft durchgeführt werden kann.

2. Aufgabenstellung

Bei der Erstellung einer Methode zur Durchführung eines objektiven arbeitswirtschaftlichen Vergleichs von Bodenbearbeitungsverfahren muß von der gesamten Systemkette "zu bearbeitende

Fläche" – "zu bearbeitender Boden" – "Bodenbearbeitungsgerät" – "Schlepper" ausgegangen werden. Dabei gilt es zuerst einmal die funktionellen Abhängigkeiten zu ermitteln, die für die Lösung des vorliegenden Problems von Bedeutung sind. Derartige Abhängigkeiten können ausschließlich ein Glied dieser Kette betreffen (z.B. Schlepperleistung) oder sich auf das Wechselspiel zwischen zwei Gliedern dieser Kette beziehen (z.B. erforderliche Zugkraft zum Ziehen eines Bodenbearbeitungsgerätes in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit). Sind alle relevanten Abhängigkeiten in mathematischer Form ermittelt worden, können sie zusammengeführt, das Problem damit gelöst werden.

Damit ist die Aufgabe, die in dieser Arbeit behandelt wird, umrissen. Das gestellte Problem soll nicht mit Tabellen, sondern mit Hilfe von Arbeitsdiagrammen gelöst werden, eine in der Technik weit verbreitete und sehr praktikable Methode, da sie den großen Vorteil der Anschaulichkeit hat, besser die Möglichkeit des Interpolierens bietet und nicht zuletzt in der Regel schneller zum Ziel führt.

Um den Vergleich verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte hinsichtlich der Schlagkraft richtig durchführen zu können, müssen alle Einflußfaktoren der oben erwähnten Systemkette, die nicht verfahrensspezifisch sind, konstant gehalten werden. Das bedeutet, daß bezüglich der zu bearbeitenden Fläche, des zu bearbeitenden Bodens und des zu verwendenden Schleppers gewisse Annahmen getroffen werden. Ideal wäre es, wenn man für die Vergleichsrechnung von einer einzigen Modellfläche, von einem einzigen Modellboden mit einer bestimmten Bodenart und einem bestimmten Bodenzustand und von einem einzigen Modellschlepper ausgehen könnte. Die zu ermittelnden Arbeitszeit-Kennwerte, z.B. in AKh/ha, würden dann jedoch nur als Relativ- und nicht als Absolutwerte zu verwenden sein, was für den Verfahrenvergleich völlig ausreicht.

Die im folgenden getroffenen Annahmen mit den daraus entwickelten Abhängigkeiten dienen in erster Linie der Darstellung der Methode, die am Beispiel zweier gezogener Bodenbearbeitungsgeräte, dem Kehrflug und dem Grubber, erläutert wird. Weiterhin sollen die entwickelten Abhängigkeiten ebenso wie die dargestellte Methode als Diskussionsgrundlage dienen. Vielleicht findet sich eine Arbeitsgruppe von Wissenschaftlern zusammen, die bereit ist, eingehend darüber zu diskutieren mit dem Ziel, sich auf eine einheitliche Vorgehensweise bei der Ermittlung von Arbeitszeit-Kennwerten für den Verfahrenvergleich zu einigen, damit die diesbezüglichen Ergebnisse verschiedener Autoren vergleichbar werden, was heute nicht der Fall ist.

3. Ermittlung der Abhängigkeiten

3.1 Bodenbearbeitungsgerät/zu bearbeitende Fläche

Hierbei handelt es sich um eine Abhängigkeit zwischen der Arbeitsbedarfzahl, der Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit des Gerätes. Arbeitsbedarfzahlen für die Feldwirtschaft werden über die Teilzeiten [3] ermittelt. Bei der Bodenbearbeitung handelt es sich um folgende Zeiten: Hauptzeit, Nebenzeit, Verlustzeit, Rüstzeit und Wegezeit. Bei der Ermittlung von Arbeitsbedarfzahlen für den Verfahrenvergleich kommt es nur auf die Relativ- und nicht auf die Absolutwerte an, im Gegensatz zur Ermittlung von Arbeitsbedarfzahlen für den Arbeitsvoranschlag. Für die Lösung des vorliegenden Problems genügt es also, wenn man vom einfachsten Modell ausgeht, das nur die Voraussetzung zu erfüllen hat, daß alle verfahrensspezifischen Kenngrößen, die für die Ermittlung der Arbeitsbedarfzahlen wichtig sind, berücksichtigt werden.

Dem Berechnungsmodell liegt ein Rechteckschlag von 2 ha mit einem Längen-Breiten-Verhältnis von 2 : 1 zugrunde (in Anlehnung an [1], S. 88). Setzt man weiterhin auf beiden Seiten ein 6 m breites Vorgewende voraus, das zu bearbeiten ist, so erhält man folgende Gleichung zur Ermittlung des gesamten Arbeitszeitbedarfs t_{ges} in AKh für die Bearbeitung des 2 ha-Rechteckschlages:

Hauptzeit Breite Vorgew.

$$t_{ges} = \left[\frac{20}{b \cdot v} + \frac{0,2}{v} + \left(\frac{20000}{200} + 12 \right) \frac{t_w}{b \cdot 60} \right] \left(1 + \frac{\varphi}{100} \right) + (t_p + t_i) n \quad (1)$$

oder die Gleichung für die Arbeitsbedarfszahl a (AKh/ha), indem man durch die bearbeitete Fläche von 2 ha teilt:

$$a = \frac{t_{ges}}{2} = \left[\frac{1}{v} \left(\frac{10}{b} + 0,1 \right) + \frac{0,93 t_w}{b} \right] \left(1 + \frac{\varphi}{100} \right) + \frac{(t_p + t_i) n}{2} \quad (2)$$

In diesen Gleichungen bedeuten:

t_{ges}	AKh	Arbeitszeitbedarf für 2 ha
a	AKh/ha	Arbeitsbedarfszahl
b	m	effektive Arbeitsbreite
v	km/h	Arbeitsgeschwindigkeit
t_w	min	Zeit pro Wendung am Vorgewende
φ	%	Verlustzeitfaktor
t_p	AKh/Halbtage	Rüstzeit auf Hof und Feld
t_i	AKh/Halbtage	Wegezeit Hof-Feld und zurück

$$a_2 = 1 : \left(\left(\frac{10}{b} + 0,1 \right) + \frac{0,465}{b} \right) \cdot 1,04 + 0,265$$

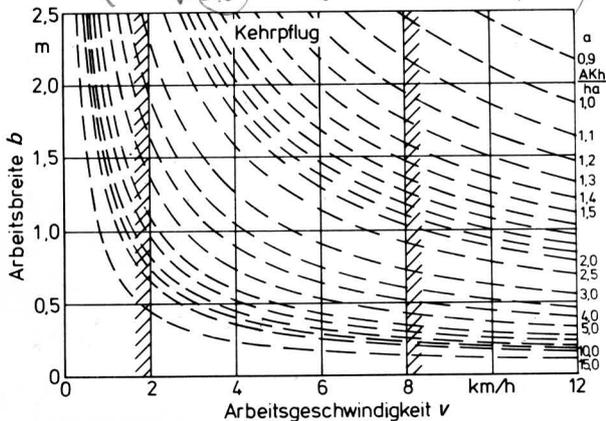


Bild 1. Arbeitsbreite, Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitsbedarfszahlen beim Kehrflug nach Gleichung (2) ($t_p = 0,33$ h/Halbtage, $t_i = 0,2$ h/Halbtage, $t_w = 0,5$ min/Wendung, $\varphi = 4$ %).

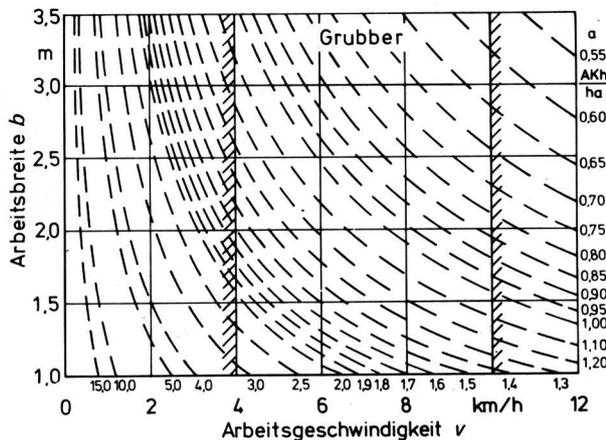


Bild 2. Arbeitsbreite, Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitsbedarfszahlen beim Grubber nach Gleichung (2) ($t_p = 0,23$ h/Halbtage, $t_i = 0,2$ h/Halbtage, $t_w = 0,2$ min/Wendung, $\varphi = 2$ %).

Der Faktor n berücksichtigt die Anzahl der Halbtage, die beansprucht werden, da sich sowohl die Rüstzeit als auch die Wegezeit auf einen Halbtage bezieht. Unterstellt man den Halbtage mit 4 Stunden, so gilt:

$$n = 1, \text{ wenn } t_{ges} = 2 a \leq 4 \text{ h}$$

$$n = 2, \text{ wenn } 4 \text{ h} < t_{ges} = 2 a \leq 8 \text{ h}$$

$$n = 3, \text{ wenn } 8 \text{ h} < t_{ges} = 2 a \leq 12 \text{ h}$$

usw.

Gl. (2) kann nach b aufgelöst werden. Mit dieser neuen Gleichung kann ein Diagramm $b = f(v)$ mit Linien gleicher Arbeitsbedarfszahl erstellt werden. **Bild 1** und **2** geben entsprechende Diagramme für den Kehrflug und den Grubber wieder, wobei die angegebenen Werte für t_p , t_i , t_w und φ aus [4] stammen. In jedem Diagramm ist ein Geschwindigkeitsbereich angegeben. Innerhalb dieses Bereiches liegen die praktischen Arbeitsgeschwindigkeiten für die beiden Bodenbearbeitungsgeräte.

3.2 Bodenbearbeitungsgerät

Beim Einsatz des Gerätes mit Regelhydraulik wird ein Teil seines Gewichtes auf den Schlepper übertragen, wodurch das Zugkraftverhalten des Schleppers und damit die Schlagkraft verbessert werden. Um diesen Einfluß berücksichtigen zu können, muß der Zusammenhang zwischen der Masse des Bodenbearbeitungsgerätes und seiner Arbeitsbreite bekannt sein.

Bild 3 enthält die Werte für die Gerätemasse von Anbau-Kehrpflügen (Vollrehpflüge) und von Grubbern von auf dem Markt befindlichen Typen in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite. Die Werte wurden Firmenschriften entnommen. Mit Hilfe der Ausgleichsrechnung wurden die entsprechenden Regressionsgeraden ermittelt. Diese lauten:

$$M_G = -21 + 803 \cdot b \quad \text{für Anbau-Vollrehpflug} \quad (3)$$

$$M_G = 128 + 157 \cdot b \quad \text{für Grubber} \quad (4)$$

M_G in kg.

Diese Funktionen gelten nur für bestimmte Bereiche der Arbeitsbreite, und zwar von $b = 0,3$ bis 2,0 m beim Pflug und $b = 1,0$ bis 4,5 m beim Grubber.

Im folgenden wird angenommen, daß 60 % des Gerätegewichtes, das sich aus Gl. (3) und (4) ergibt, beim Arbeiten auf dem Schlepper abgestützt wird. Dieser Prozentsatz berücksichtigt ebenfalls die vertikale Komponente der Widerstandskraft des Gerätes beim Arbeiten im Boden. Diese Annahme wird durch Versuchsergebnisse aus [5] gestützt. Ob sie verallgemeinert werden darf, muß noch eingehend überprüft werden.

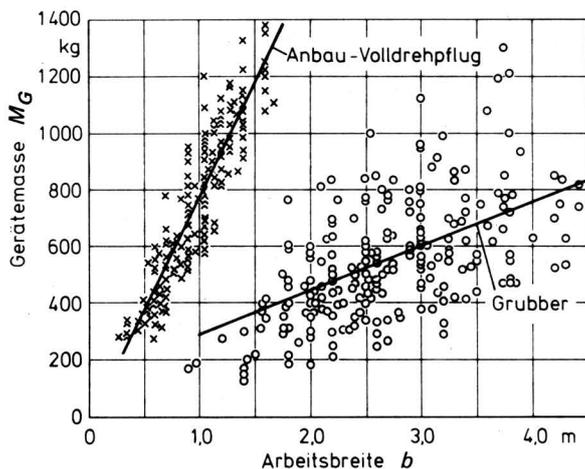


Bild 3. Gerätemasse in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite beim Anbau-Vollrehpflug und beim Grubber (nach Angaben in Firmenschriften).

$$\frac{h_a}{h} = \frac{10000 \text{ m}^2}{3600 \text{ s}} = \frac{h_a}{h}$$

$$= \frac{1}{0,36} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Die sich ergebenden Gerätekräfte, die den Schlepper zusätzlich vertikal belasten, berechnet man nach folgenden Gleichungen:

$$F_G = -126 + 4818 \cdot b \quad \text{für Anbau-Volldrehpflug} \quad (5)$$

$$F_G = 768 + 942 \cdot b \quad \text{für Grubber} \quad (6),$$

F_G in N.

Eine weitere gerätebezogene Abhängigkeit, die bei der Lösung dieses Problems eine Rolle spielt, ist der Zusammenhang zwischen dem Schwerpunktabstand des Gerätes (z.B. vom Kupplungsdreieck aus gemessen) und der Arbeitsbreite. Diese Abhängigkeit spielt jedoch, wenn es um das Zugkraftverhalten geht, nur bei hinterradgetriebenen Schleppern eine Rolle. Da – worauf später noch eingegangen wird – für den Verfahrensvergleich nur Allradsschlepper herangezogen werden, kann auf diese Kennlinien hier verzichtet werden.

3.3 Bodenbearbeitungsgerät/zu bearbeitender Boden

Um das Bodenbearbeitungsgerät im Boden fortbewegen zu können, müssen am Kupplungsdreieck Zugkräfte bzw. an der Zapfwelle Drehmomente aufgebracht werden, je nachdem ob es sich um gezogene oder um zapfwellengetriebene Geräte handelt. Sehr wichtig für die Schlagkraft eines Bodenbearbeitungsgerätes sind die Funktionen für die notwendige Zugkraft bzw. das Drehmoment in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit. Auch beide Funktionen können für ein Gerät Gültigkeit haben, wenn man beispielsweise an eine Grubber-Fräsen-Kombination oder ähnliche Geräte denkt. Da es in dieser Arbeit in erster Linie um die Erläuterung einer Methode zur Ermittlung von Arbeitszeit-Kenndaten für den Verfahrensvergleich geht, wird hier auf die diesbezüglichen Kennlinien von zapfwellengetriebenen Geräten verzichtet. Die zu entwickelnde Methode gilt prinzipiell in gleicher Weise für rotierende Geräte.

Bei den Bodenbearbeitungsgeräten kann man in der Regel unterstellen, daß der Zugkraftbedarf linear mit der Arbeitsbreite zunimmt. Deshalb ist es zweckmäßig, die Kennlinien für den Zugkraftbedarf pro Meter Arbeitsbreite in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit zu erstellen. Bild 4 zeigt beispielhaft diese Abhängigkeiten für einen Pflug [6] und einen Grubber. Sie gelten jedoch nur für eine bestimmte Bodenart und eine bestimmte Arbeitstiefe. Ändert man diese Bedingungen, so ändern sich auch diese Gesetzmäßigkeiten. Ideal wäre es, wenn man, wie einleitend schon erwähnt, für den Verfahrensvergleich mit einer einzigen Bodenart auskäme, so daß man nur für diese die Kennlinien bei zwei charakteristischen Arbeitstiefen in mathematischer Form kennen müßte. Dies muß jedoch noch eingehend überprüft werden.

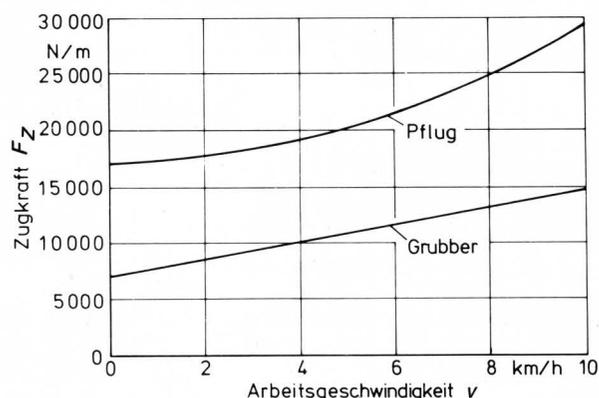


Bild 4. Zugkraft-Kennlinien für Pflug und Grubber (Bodenart: sandig-toniger Lehm; Arbeitstiefe: 20–25 cm).

In den letzten Jahren sind nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen Ländern sehr viele Untersuchungen zur Ermittlung der Zugkraft- und Drehmoment-Kennlinien bei Bodenbearbeitungsgeräten durchgeführt worden. In den Forschungsinstitutionen, die

sich mit den technischen Problemen der Bodenbearbeitung befassen, gehören mittlerweile entsprechende Meßeinrichtungen zur Grundausrüstung (z.B. Silsoe/England, Wageningen/Holland, Völknerode, Hohenheim). Es ist nunmehr an der Zeit, diese Untersuchungsergebnisse zusammenzufassen, um einen umfassenden Überblick über diese Kennlinien in Abhängigkeit vom Gerätetyp, der Bodenart und der Arbeitstiefe zu bekommen. Anhand einer solchen Zusammenfassung könnte man dann vielleicht auch die Kennlinien festlegen, die in Zukunft für einen Verfahrensvergleich in arbeitswirtschaftlicher Hinsicht herangezogen werden sollen.

Für die weiteren Ausführungen sollen die beiden Abhängigkeiten in Bild 4 verwendet werden. Die entsprechenden Gleichungen lauten für F_Z in N/m:

$$F_Z = 17140 + 120 \cdot v^2 \quad \text{für Pflug} \quad (7)$$

$$F_Z = 7000 + 760 \cdot v \quad \text{für Grubber} \quad (8).$$

3.4 Schlepper/zu bearbeitender Boden

Ähnlich wie bei der Thematik des letzten Abschnittes gibt es auch auf dem Gebiet des Systems Schlepper/zu bearbeitender Boden zahlreiche Forschungsergebnisse, die im Hinblick auf den in dieser Arbeit behandelten Problemkreis zusammengefaßt werden müßten (z.B. [5, 7, 8]).

Im folgenden soll gezeigt werden, welche Abhängigkeiten in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen. Dabei wird von einem Allradsschlepper ausgegangen, der bei der Rechnung gegenüber der Maschine mit Hinterradantrieb gewisse Vorteile bietet; u.a. kann man mit einer konstanten Gewichtskraft (Schleppergesamtgewicht + Anteil des Gerätegewichtes) zur Ermittlung der Zugkraft rechnen. Im Grunde genommen ist es gleichgültig, ob man eine allrad- oder hinterradgetriebene Maschine nimmt, solange man immer den gleichen Schlepper verwendet.

Die Zugkraft eines Schleppers ist unter anderem von der Triebkraftbeiwert-Schlupf-Kurve und der Rollwiderstandsbeiwert-Schlupf-Kurve abhängig. Diese beiden Funktionen müssen also als mathematische Gleichungen bekannt sein. Natürlich sind diese Kurven in sehr starkem Maße vom Bodenzustand abhängig. Aber auch hier würde es sicher genügen, wenn man für den Verfahrensvergleich nur wenige typische Bodenzustände verwendet, auf die man sich noch einigen müßte.

Die beiden oben erwähnten Funktionen sind im Laufwerkwirkungsgrad η_L zusammengefaßt, der das Verhältnis von abgegebener Triebleistung zur Radnabenleistung darstellt. Der Laufwerkwirkungsgrad η_L des Allradsschleppers ist gleich dem Wirkungsgrad des einzelnen Triebrades η_T , sofern alle Triebräder den gleichen Kennlinienverlauf für die Triebkraftbeiwert-Schlupf-Kurven und Rollwiderstandsbeiwert-Schlupf-Kurven und gleiche Umfangsgeschwindigkeiten haben. Wenn man auch die gleichen Umfangsgeschwindigkeiten bei allen Triebrädern nicht immer unterstellen kann (man denke nur an den in der Furche fahrenden Schlepper beim Pflügen), so kann man bei der Lösung der vorliegenden Aufgabe die Gleichheit vereinfachend unterstellen. Geht man weiterhin von gleichen Kennlinien aus – worauf noch einzugehen ist –, so kann man für den Laufwerkwirkungsgrad folgende Gleichung aufstellen [9]:

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

In dieser Gleichung bedeuten die Größen, die alle die Dimension 1 haben:

η_L	Laufwerkwirkungsgrad des gesamten Schleppers
η_T	Wirkungsgrad des einzelnen Triebrades
κ	Triebkraftbeiwert
ρ	Rollwiderstandsbeiwert
σ	Schlupf.

Nun kann man den Rollwiderstandsbeiwert ρ und den Schlupf σ als Funktion des Triebkraftbeiwertes angeben, so daß Gl. (9) auch in folgender Form geschrieben werden kann:

$$\eta_L = \eta_T = \frac{\kappa}{\kappa + f_1(\kappa)} [1 - f_2(\kappa)] \quad (10)$$

Der Triebkraftbeiwert κ errechnet sich nach der Gleichung:

$$\kappa = \frac{F_Z b}{F_S + F_G} \quad (11)$$

Der Zugkraftbedarf F_Z wird nach Gl. (7) bzw. (8) und das anteilige Gerätegewicht F_G nach Gl. (5) bzw. (6) berechnet. Auf die Ermittlung des Schleppergewichtes F_S wird in Abschnitt 3.5 eingegangen (siehe Gl. (16)).

Unbekannt sind noch die beiden Funktionen in Gl. (10). Aus vielen Veröffentlichungen (z.B. [5, 7, 8]) ist bekannt, daß $\rho = f_1(\kappa)$ und $\sigma = f_2(\kappa)$ nicht nur Funktionen des Triebkraftbeiwertes sind, sondern auch der Reifenabmessungen, der Reifenbauart, der Reifenprofilierung, des Reifeninnendruckes, der Bodenart und des Bodenzustandes. Nun kann man, um die beinahe unübersehbare Zahl an Kurven zu reduzieren, den Modellschlepper, der für den Verfahrensvergleich herangezogen werden soll, nur mit einer bestimmten Reifenbauart, mit einem bestimmten Reifenprofil und Reifeninnendruck versehen. Das ist in diesem Zusammenhang durchaus zulässig. Die Reifenabmessungen sind jedoch in der Regel an einem Allradsschlepper vorn und hinten unterschiedlich, außerdem sind sie schlepperleistungsabhängig. Sie haben zumindestens nach Ergebnissen von Laborversuchen einen bestimmten Einfluß beispielsweise auf die Triebkraftbeiwert-Schlupf-Kurven (z.B. je größer der Reifendurchmesser desto höher liegen die κ - σ -Kurven).

Die Ergebnisse, die nicht im Labor, sondern auf dem Feld ermittelt wurden, lassen den Einfluß der unterschiedlichen Reifenabmessungen nicht deutlich werden. Als Beispiel hierfür sind in Bild 5 Ergebnisse von Steinkampf [5] zusammengetragen worden. Diese Ergebnisse beziehen sich auf Diagonalreifen mit Normalprofil. Obwohl die Reifenabmessungen sehr stark variiert wurden (von 11–28 bis 15,5–38), sind keine signifikanten Abhängigkeiten deutlich geworden, so daß man diese beiden Kurvenscharen durch zwei Regressionskurven wiedergeben kann, die als Kennlinien der Schlepper für die betreffende Bodenart und für den betreffenden Bodenzustand gelten können, unabhängig von den Reifenabmessungen.

Damit ist die oben getroffene Annahme, den Berechnungen die gleichen Kennlinien für alle Triebräder des Allradsschleppers zugrunde zu legen, gerechtfertigt. Natürlich sind diese Kennlinien sehr stark von der Bodenart und dem Bodenzustand abhängig, was bei der Festlegung des Modellschleppers für den Verfahrensvergleich zu berücksichtigen ist, worauf weiter oben schon eingegangen wurde.

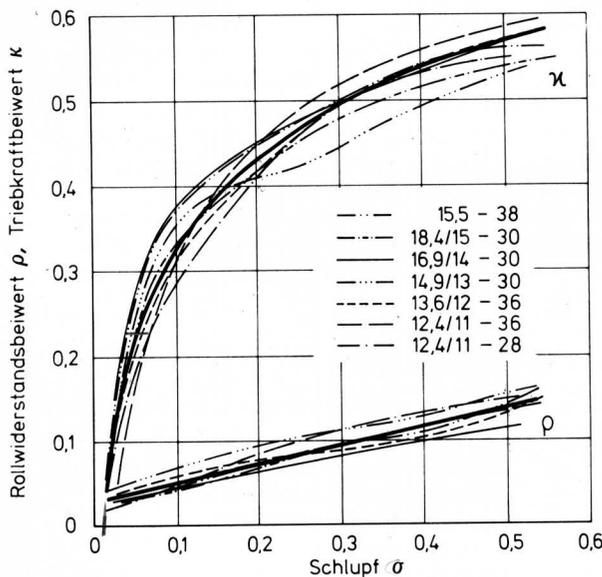


Bild 5. Rollwiderstandsbeiwert ρ und Triebkraftbeiwert κ in Abhängigkeit vom Schlupf σ bei unterschiedlichen Reifenabmessungen (Boden: IS; Rübenacker; Bodenfeuchte 6,6–7,9 % [5]).

Im folgenden wird mit den über die Kurven in Bild 5 ermittelten Regressionskurven weitergerechnet. Die entsprechenden Gleichungen lauten:

$$\kappa = 0,677 + 0,358 \cdot \lg \sigma \quad (12)$$

$$\sigma = 0,013 \cdot 621,3^\kappa \quad (13)$$

$$\rho = 0,028 + 0,226 \sigma \quad (14)$$

Es sei an dieser Stelle nur kurz vermerkt, daß es beispielsweise Triebkraftbeiwert-Schlupf-Kurven gibt, die durch das Bodenbearbeitungsverfahren beeinflusst werden können. So kann beispielsweise trotz gleichen Bodenzustandes und gleicher Bodenart beim Pflügen die κ - σ -Kurve günstiger liegen als beim Grubbern, da die Triebräder der einen Schlepperseite in der Furche fahren. Diese Unterschiede wurden in dieser Arbeit, in der es in erster Linie um die Methode geht, nicht berücksichtigt.

3.5 Schlepper

Das Zugkraftverhalten des Schleppers und damit die Schlagkraft des Bodenbearbeitungsverfahrens wird sehr entscheidend vom Schleppergewicht beeinflusst. Deswegen wird für die Lösung des vorliegenden Problems die Abhängigkeit der Schlepperleistung von der Schleppermotorleistung benötigt. Söhne und Pietsch [10] haben die entsprechenden Daten der auf dem Markt befindlichen Schlepper zusammengestellt. In Anlehnung an diese Ergebnisse wurde für Allradsschlepper die Abhängigkeit der Schlepperleistung von der Schleppermotorleistung in Bild 6 dargestellt. Für den dargestellten Bereich der Schleppermotorleistung (40 bis 120 kW) kann folgende Funktion angegeben werden:

$$M_S = 1200 + 40 P \quad (15)$$

oder als Gewichtskraft

$$F_S = 12000 + 400 P \quad (16)$$

In diesen Gleichungen bedeuten:

M_S	kg	Schlepperleistung
P	kW	Schleppermotorleistung
F_S	N	Schleppergewicht

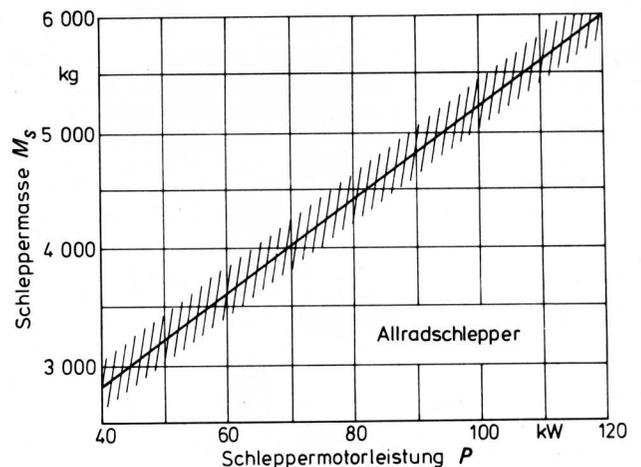


Bild 6. Schlepperleistung von Allradsschleppern in Abhängigkeit von der Schleppermotorleistung (nach Werten aus [10]).

4. Diagramme für den Verfahrensvergleich

Nachdem nunmehr die wichtigsten Abhängigkeiten bekannt sind, können diese in einer Gleichung zusammengefaßt werden, über die dann die Diagramme für den Verfahrensvergleich in arbeitswirtschaftlicher Hinsicht ermittelt werden können. Dabei werden in Analogie zu den Bildern 1 und 2 Diagramme für die Arbeitsbreite in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit erstellt, jedoch

mit Linien gleicher Schlepperleistung. Die Kurvenscharen für konstante Arbeitsbedarfszahlen und diejenigen für konstante Schlepperleistungen werden dann in ein einziges Diagramm gebracht, so daß man beispielsweise für eine bestimmte Arbeitsgeschwindigkeit eines bestimmten Gerätes bei einer vorgegebenen Schlepperleistung die Arbeitsbreite und die Arbeitsbedarfszahl, die für den Verfahrensvergleich herangezogen werden kann, sofort ablesen kann. Die in den Abschnitten 3.2 bis 3.5 ermittelten Abhängigkeiten werden in der Leistungsgleichung zusammengefaßt. Da hier nur gezogene Geräte in Verbindung mit einem Allradschlepper zur Diskussion stehen, handelt es sich um die folgende Gleichung für die Zugleistung:

$$P = \frac{F_Z \cdot b \cdot v}{\eta_L \cdot \eta_G \cdot \lambda \cdot 3600} \quad (17).$$

In dieser Gleichung bedeuten:

P	kW	Schlepperzugleistung (Motorleistung)
F _Z	N/m	Zugkraftbedarf pro m Arbeitsbreite (s. Gl. (7) und (8))
b	m	effektive Arbeitsbreite
v	km/h	Arbeitsgeschwindigkeit
η _L	1	Laufwerkwirkungsgrad (s. Gl. (10))
η _G	1	Getriebewirkungsgrad
λ	1	Auslastungsgrad.

In Anlehnung an andere Autoren [5, 11] werden für den Getriebewirkungsgrad und den Auslastungsgrad folgende konstante Werte eingesetzt:

$$\eta_G = 0,85 \text{ und} \\ \lambda = 0,83.$$

Damit kann man nach Einsetzen der entsprechenden Gleichungen aus den Abschnitten 3.2 bis 3.5 in Gl. (17) schreiben ($\eta_G \cdot \lambda \cdot 3600 = 2540$):

$$P = \frac{(17140 + 120 \cdot v^2) \cdot b \cdot v \cdot (\kappa + 0,028 + 0,003 \cdot 621,3^\kappa)}{\kappa \cdot (1 - 0,013 \cdot 621,3^\kappa) \cdot 2540} \quad (18),$$

wobei

$$\kappa = \frac{(17140 + 120 \cdot v^2) \cdot b}{11874 + 400 \cdot P + 4818 \cdot b} \quad (19).$$

Für den Grubber:

$$P = \frac{(7000 + 760 \cdot v) \cdot b \cdot v \cdot (\kappa + 0,028 + 0,003 \cdot 621,3^\kappa)}{\kappa \cdot (1 - 0,013 \cdot 621,3^\kappa) \cdot 2540} \quad (20),$$

wobei

$$\kappa = \frac{(7000 + 760 \cdot v) \cdot b}{12768 + 400 \cdot P + 942 \cdot b} \quad (21).$$

Setzt man κ nach Gl. (19) bzw. (21) in Gl. (18) bzw. (20) ein, so erhält man zwei Gleichungen für den Kehrflug bzw. Grubber, in denen nur noch die Schlepperleistung P, die Arbeitsbreite b und die Arbeitsgeschwindigkeit v unbekannt sind. Damit kann man die gesuchten Diagramme für die Arbeitsbreite in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit mit Linien gleicher Schlepperleistung erstellen. Das Ergebnis ist in Bild 7 und 8 für Schlepperleistungen von 40 bis 120 kW zu sehen. Außerdem sind in diese Diagramme die Linien konstanter Arbeitsbedarfszahlen, die den Bildern 1 und 2 entnommen sind, eingetragen. Die Diagramme gelten für bestimmte Werte von Bodenart, Bodenzustand und Arbeitstiefe.

Läßt man einmal unberücksichtigt, daß die Arbeitsbreite des Pfluges und des Grubbers nur in Sprüngen entsprechend der Scharbreite bzw. dem Strichabstand veränderbar ist, was berücksichtigt werden könnte, so kann man mit Hilfe der Bilder 7 und 8 die Schlagkraft des Kehrfluges mit der des Grubbers wie folgt vergleichen: Geht man beispielsweise von einer Schlepperleistung von 60 kW und einer Arbeitsgeschwindigkeit von 7 km/h aus, so erhält man

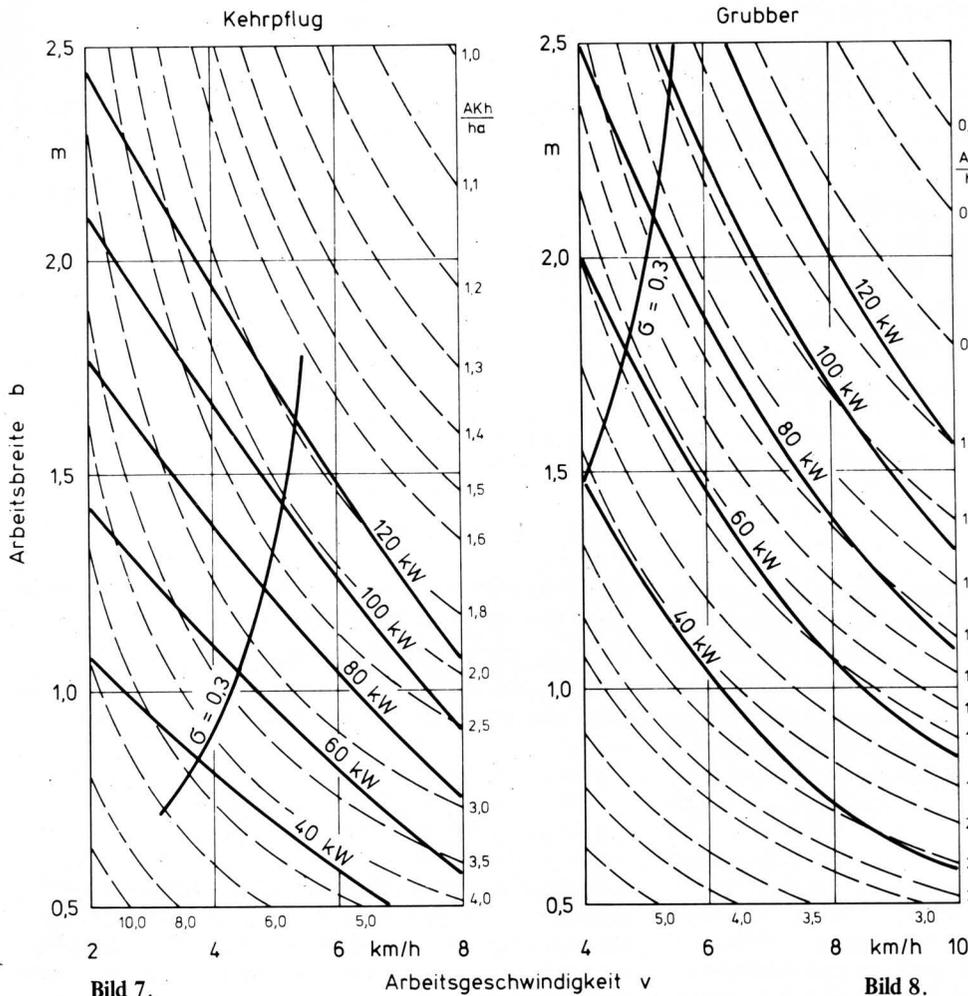


Bild 7 und 8. Diagramme für Kehrflug und Tiefgrubber zur Ermittlung von Arbeitszeit-Kenndaten für den Verfahrensvergleich (Bodenart: sandig-toniger Lehm; Bodenzustand: Rübenaacker; Arbeitstiefe: 20–25 cm; Arbeitsbedarfszahlen nach Bild 1 und 2).

beim Kehrflug eine Arbeitsbedarfszahl von 3,4 AKh/ha und beim Grubber den Wert 1,55 AKh/ha. Die Schlagkraft des Grubbers ist also mehr als doppelt so groß wie die des Pfluges (2,2 : 1). Interessant ist festzustellen, daß dieses Verhältnis mit zunehmender Schlepperleistung abnimmt. So ist die entsprechende Schlagkraft-Relation bei 120 kW nur 1,94 : 1 zugunsten des Grubbers. Dieser Punkt kann jedoch hier nicht weiter vertieft werden.

Man kann den Diagrammen in Bild 7 und 8 noch weitere Angaben und Zusammenhänge entnehmen. So kann man die Linien gleichen Schlupfes eintragen und damit die Arbeitsbereiche der Diagramme weiter einengen. Geht man davon aus, daß bei der Bodenbearbeitung im System Schlepper/Boden maximal ein Schlupf von 30 % auftreten darf, so stellt die in den Diagrammen eingetragene 30 %-Schlupfkurve eine Grenzkurve dar. Auch hierauf kann an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

5. Zusammenfassung

Es fehlt bisher eine Methode, mit der ein objektiver Vergleich verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte bezüglich der Schlagkraft durchgeführt werden kann. Dieses Problem ist nicht lösbar über einen konstanten Wert für die Schlepperleistung pro Meter Arbeitsbreite des Gerätes, was vielfach versucht wird. Man muß die relevanten Abhängigkeiten aller Glieder des Systems Schlepper – Gerät – Boden berücksichtigen. Heute liegen zahlreiche Forschungsergebnisse darüber vor, so daß man daran gehen kann, dieses Problem zu lösen.

Deswegen wurde in dieser Arbeit am Beispiel des Kehrfluges und des Grubbers mittels der entsprechenden Abhängigkeiten eine Methode vorgestellt, bei der mit Hilfe von Diagrammen entsprechende Vergleichsdaten ermittelt werden können.

Die vorgestellte Methode und insbesondere die getroffenen, zum Teil vereinfachenden Annahmen sind Vorschläge, über die noch eingehend diskutiert werden müßte. Es ist jedoch dringend notwendig, sich auf eine einheitliche Vorgehensweise bei der Ermittlung von Arbeitszeit-Kennwerten für den Vergleich bei der Bodenbearbeitung zu einigen, damit die Ergebnisse verschiedener Autoren vergleichbar sind, was heute sehr selten der Fall ist.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] •KTBL-Taschenbuch für Arbeits- und Betriebswirtschaft; herausgegeben und bearbeitet vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. KTBL-Schriften Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH Münster-Hiltrup, 8. Auflage, 1976, 310 S.
- [2] •Kwantitative Akkerbouw-Informatie 1976–1977, Proefstation voor de Akkerbouw, Lelystad, Holland Publikatie Nr. 23, Aug. 1976, 104 S.
- [3] Kreher, G. u. J. Hesselbach: Arbeits- und Zugkraftbedarfszahlen. KTBL-Kalkulationsunterlagen für Betriebswirtschaft, Bd. 1, 1969, S. III/1 bis 7.
- [4] KTBL-Computer-Unterlagen; 1977; unveröffentlicht.
- [5] •Steinkampf, H.: Ermittlung von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 27 (1975), 106 S.
- [6] Zach, M., H. Steinkampf u. C. Sommer: Arbeitseffekte und Leistungsbedarf eines Kreiseplfluges. Landbauforschung Völkenrode Bd. 23 (1973) H. 1, S. 29/40.
- [7] •Sonnen, F.J.: Über den Einfluß von Form und Länge der Aufstandsfläche auf die Zugfähigkeit und den Rollwiderstand von AS-Reifen. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 3, (1970), 176 S.
- [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, 35 S.
- [9] •Schilling, E.: Landmaschinen, 1. Band: Ackerschlepper, 543 S., Köln: Selbstverlag 1960.
- [10] Söhne, W. u. H. Pietsch: Ackerschlepper 1974/75. Automobiltechnische Zeitschrift Bd. 77 (1975) Nr. 4, S. 101/106.
- [11] Meyer, H.: Die Bedeutung eines stufenlosen Getriebes für den Ackerschlepper und seine Geräte. Grundl. Landtechnik H. 11 (1959) S. 5/12.

Voraussetzungen für eine Weiterentwicklung von Pflanzenschutzverfahren

Von Horst Göhlich und Peethambaram Jegatheeswaran, Berlin*)

DK 632.9:632.982

Um Pflanzenschutzmaßnahmen gezielter als bisher durchführen zu können, muß der Einfluß technologischer Faktoren auf die Anlagerung des Pflanzenschutzmittels im Bestand genauer bekannt sein. Besonders wichtig sind Kenntnisse über den Bewegungsablauf innerhalb des Bestandes in Abhängigkeit des Spritzdruckes, der Fahrgeschwindigkeit, der Düsenart und der physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeit. Weitere Verbesserungen bei

der Anlagerung und bei der Reduzierung der Abdrift ergeben sich durch Einflußnahme auf den Strömungsverlauf, z.B. durch Anwendung sog. Leitbleche. Die Ergebnisse wurden unter Benutzung eines künstlichen Pflanzenbestandes mittels einer Labor-Spritzbahn gewonnen.

1. Einleitung

Die Aufgabe einer Optimierung von chemischen Pflanzenschutzverfahren stellt sich heute stärker denn je, weil mit der zunehmenden Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel, vgl. Bild 1, über den Verbleib der nicht am Zielort zur Ablage gekommenen Substanzen genauere Rechenschaft abzulegen ist. Das bedeutet die

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