

$$\rho_{Trmax} = \frac{\rho_{Tr1}}{1 - 3,4 (U_1 - 0,4)^2}$$

Hierin ist nach Gl. (3):

$$\rho_{Tr} = \rho_1 (1 - U_1)$$

Da ρ_1 festgelegt ist durch Gl. (2), ergibt sich:

$$\rho_{Trmax} = \frac{(50 + 7 p) (1 - U_1)}{1 - 3,4 (U_1 - 0,4)^2}$$

Nach Einsetzen dieses Ausdruckes in Gl. (5) erhält man mit $U_1 = 0,18$:

$$\rho = \frac{(50 + 7 p)}{1 - U} \cdot 0,98 [1 - 3,4 (U - 0,4)^2] \quad (6).$$

Es bedeuten:

ρ Ballendichte, auf Gesamtmasse bezogen kg/m^3
 p Radialpreßdruck k Pa
 U Feuchtegehalt

Mit Gl. (6) läßt sich die bei der Rollverdichtung eintretende Dichte von Wiesenheu berechnen. Die drei Einflußgrößen sind noch in der Gleichung erkennbar: Den Druckeinfluß gibt der Ausdruck $0,98 \cdot (50 + 7 p)$ wieder, der Einfluß der Wassermasse zeigt sich durch den Faktor $1/(1 - U)$ und die Halmgut-Biegesteifigkeit wird berücksichtigt durch den Wert in der eckigen Klammer.

Werte aus der Praxis zeigen eine recht gute Übereinstimmung mit den Rechnungsergebnissen. Dabei können unterschiedlich fein- oder grobstengelige Halmgutsorten, ihre verschiedenartigen Vorbehandlungen, die Verdichtungsgeschwindigkeit u.ä. Dichtabweichungen in der Größenordnung von $\pm 10\%$ verursachen.

Abschließend sei noch auf die verhältnismäßig geringe Größe der in Bild 9 angegebenen Preßdrücke eingegangen. Mit z.B. 11,5 kPa erzielt man in der Rollpresse bei Stroh eine Ballendichte von 100 kg/m^3 . Will man diesen Dichtewert in einem Preßtopfversuch erreichen, muß man einen mehr als zehnfach höheren Normaldruck (100–200 kPa) aufbringen [2]. Verschiedene Faktoren sind für diese günstigen Werte verantwortlich. Die Rollpresse wird kontinuierlich und mit dünnen Schwaden beschickt. Die Halme des Schwades kommen zum Teil ausgerichtet in den Verdichtungsbe- reich zwischen Ballen und Förderboden, und außerdem steht für die Ballenbildung eine relativ lange Verdichtungszeit (im Minutenbereich) zur Verfügung. Ähnlich günstige kraft- und arbeitssparende Verdichtungen wurden früher beim Verdrehen von Halmgut zu Strängen festgestellt [4]. Wie bedeutsam das positive Zusammenspiel der verschiedenen Einflüsse auf das Rollverdichtungsverfahren ist, wird deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß höhere Preßdrücke eine entsprechend kräftiger dimensionierte Ma-

schine bedingen. Erst durch die günstigen Verdichtungsverhältnisse ist der Bauaufwand der Rollpressen und ihr Leistungsbedarf vorteilhaft in Grenzen zu halten.

5. Zusammenfassung

Mit der Einführung von Großballenpressen zur Halmgutbergung ist die Entwicklung auf dem Gebiet der Halmgutverdichtung in ein neues Stadium getreten: Diese Maschinenart ermöglicht erstmals eine für die landwirtschaftliche Praxis geeignete Verfahrenskette, die auf den Einsatz von schwerer Handarbeit verzichtet und die Anforderungen an ein modernes Ernteverfahren wie hohe Schlagkraft, verringertes Wetterrisiko und geringen Personaleinsatz bei vertretbarem Maschinenaufwand erfüllt.

Nach einer Darstellung der Entwicklungsschritte mit einer Beschreibung von Aufbau und Arbeitsweise der für die jeweilige Entwicklung charakteristischen Leitmaschine werden grundlegende Erkenntnisse des Rollpreßverfahrens aus Praxis und wissenschaftlichen Untersuchungen aufgezeigt. Dabei wird zuerst der Einfluß der unterschiedlichen Verdichtungssysteme auf die örtliche Ballendichte und -struktur behandelt. Im Anschluß daran wird auf die Wechselbeziehungen zwischen mittlerer Preßdichte und den wichtigen Einflußgrößen Preßdruck, Gutart, Zuführgeschwindigkeit des Halmgutes sowie insbesondere Feuchtegehalt eingegangen. Unter Berücksichtigung von Meßergebnissen und anhand theoretischer Überlegungen ist eine für praktische Berechnungen geeignete formelmäßige Darstellung des Zusammenhanges zwischen Preßdruck, Preßdichte und Feuchtegehalt angegeben.

Schrifttum

- [1] Hesse, Th. u. Scheufler, B.: Dichtemessungen an Großballen mit Hilfe des Spitzendrucksondiervfahrens. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 3, S. 113/17.
- [2] Sacht, H.O.: Das Verdichten von Halmgütern in Strangpressen. Fortschr.-Ber. der VDI-Z Reihe 14, Nr. 4, Düsseldorf: VDI-Verlag 1966.
- [3] Wieneke, F.: Wickel- und Reibungsuntersuchungen an Wellen und anderen umlaufenden Maschinenteilen. VDI-Forschungsheft 463, S. 13. Düsseldorf: VDI-Verlag 1957.
- [4] Mewes, E.: Über das Verdichten von landwirtschaftlichen Stoffen durch Verdrehen. Landtechn. Forschung Bd. 8 (1958) H. 6, S. 165/67.

Maximierung der Schlagkraft beim Pflügen durch stufenlose Arbeitsbreitenverstellung

Von Alfred Stroppel und Winfried Schäfer,
 Stuttgart-Hohenheim*)

Professor Dr.-Ing. Hans Jürgen Matthies zum 60. Geburtstag

DK 631.372:631.51:65.015

*) Prof. Dr.-Ing. A. Stroppel war von 1960 bis 1967 Mitarbeiter von Herrn Prof. Dr.-Ing. H.J. Matthies am Institut für Landmaschinen der TU Braunschweig. Er ist jetzt Inhaber des Lehrstuhls für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim. Dipl.-Ing.agr. W. Schäfer ist wissenschaftlicher Angestellter an demselben Hohenheimer Institut.

Eine Maximierung der Schlagkraft beim Pflügen, d.h. Minimierung des Arbeitszeitbedarfs pro Hektar, erfordert eine optimale Zuordnung von Schlepper und Pflug. In diesem Beitrag wird diskutiert, welche Bedeutung in diesem Zusammenhang eine stufenlose Verstellung der Arbeitsbreite des Pfluges hat. Ferner wird der Prototyp eines Pfluges mit stufenloser Arbeitsbreitenverstellung vorgestellt.

1. Einleitung

Will man einen Schlepper bestimmter Nennleistung und Masse, der einen bestimmten Boden bei konstanter Arbeitstiefe zu pflügen hat, bezüglich der Schlagkraft optimieren, d.h. den Arbeitszeitbedarf minimieren, so muß man entsprechend den Ergebnissen aus einer früheren Arbeit [1] zunächst dafür sorgen, daß der Schleppermotor voll ausgelastet wird. Dies ist bei vorgegebener Arbeitsbreite des Pfluges nur durch Wahl eines ganz bestimmten Getriebebeganges (Nenngeschwindigkeit) möglich oder bei einem vorgegebenen Getriebebegang nur durch Einstellung einer ganz bestimmten Arbeitsbreite. Die Erfüllung dieser Forderung setzt also einen Schlepper mit stufenlosem Getriebe oder einen Pflug mit stufenloser Arbeitsbreitenverstellung voraus.

Würde man durch einen entsprechend ausgerüsteten Schlepper oder durch einen entsprechenden Pflug die Forderung nach Schleppermotorauslastung erfüllen, so hätte man damit noch nicht das absolute Maximum der Schlagkraft (Minimum des Arbeitszeitbedarfs), das bei den vorgegebenen Daten für Nennleistung, Schleppermasse, Bodenart und Arbeitstiefe möglich ist. Dies ist entsprechend [1] erst dann vorhanden, wenn ein ganz bestimmter Getriebebegang (Nenngeschwindigkeit) und eine ganz bestimmte Arbeitsbreite gewählt werden, die natürlich ebenfalls den Schleppermotor auslasten. Um diesen Betriebspunkt fahren zu können, wäre es erforderlich, daß bei dem System Schlepper-Pflug sowohl der Getriebebegang (Nenngeschwindigkeit) als auch die Arbeitsbreite des Pfluges stufenlos verändert werden können.

In der Praxis kann man die Schlagkraft nur in Ausnahmefällen maximieren, da weder die Normalschlepper ein stufenloses Getriebe besitzen, noch Pflüge mit einer stufenlosen Arbeitsbreitenverstellung auf dem Markt sind. In der Vergangenheit wurde versucht, mittels eines stufenlosen Schleppergetriebes das relative Schlagkraft-Maximum bei konstanter Arbeitsbreite zu erreichen. Zahlreiche interessante Untersuchungen [2, 3] in Verbindung mit diesem Themenkreis wurden durchgeführt. Die stufenlosen Getriebe haben sich jedoch bisher nicht im Normalschlepper durchsetzen können (Preis, Wirkungsgrad, Geräusch). Deswegen soll in dieser Arbeit der Frage nachgegangen werden, inwieweit man mit einer stufenlosen Arbeitsbreitenverstellung in Verbindung mit einem Stufengetriebe das gleiche Ziel erreichen kann und wie ein derartiger Pflug aussehen könnte.

2. Aufgabenstellung

Will man den Arbeitszeitbedarf für das Pflügen beispielsweise mittels einer Einrichtung zur stufenlosen Verstellung der Arbeitsbreite des Pfluges minimieren, so sollte man sich darüber Klarheit verschaffen, wo das absolute Minimum des Zeitbedarfs (h/ha) für vorgegebene Daten der Nennleistung, Schleppermasse, Bodenart und Arbeitstiefe liegt. Dieser Frage wird im folgenden Abschnitt 3. nachgegangen.

Bei Verwendung eines Schleppers mit Stufengetriebe und eines Pfluges mit fester Arbeitsbreite liegt der erreichbare Zeitbedarf in der Regel über dem minimal möglichen. Im Abschnitt 4. wird gezeigt, wie groß die Unterschiede sein können und welchen Einfluß z.B. die Bodenart hat. Es wird erläutert, welche Vorteile im Hinblick auf den Zeitbedarf eine stufenlose Arbeitsbreitenverstellung haben könnte. Dabei wird die stufenlose Arbeitsbreitenverstellung auch mit der stufenlosen Geschwindigkeitsverstellung verglichen.

Die in Abschnitt 3. und 4. diskutierten Ergebnisse wurden mittels eines praxisnahen Simulationsmodelles [4, 1] auf einem Computer ermittelt. Um die Verhältnisse auch unmittelbar in der Praxis testen zu können, wurde auf unseren Wunsch von einer Pflugfirma¹⁾ ein Prototyp eines Pfluges mit stufenloser Arbeitsbreitenverstellung gebaut, der der Universität Hohenheim für Versuche zur Verfügung gestellt worden ist. Dieser Pflug wird in Abschnitt 5. erläutert. Dabei wird aber noch nicht auf konkrete Versuchsergebnisse eingegangen. Diese werden zu einem späteren Zeitpunkt publiziert, wenn ein umfassender Überblick vorliegt.

3. Absolutes Zeitbedarfsminimum

Will man die Schlagkraft beim Pflügen unter bestimmten Rahmenbedingungen (Nennleistung, Schleppermasse, Arbeitstiefe, Bodenart, Bodenzustand) über die Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit maximieren, so sollte man wissen, bis zu welchem Schlagkraft-Grenzwert dies theoretisch möglich ist, d.h. welcher minimale Zeitbedarf pro Hektar im günstigsten Fall überhaupt erreicht werden kann, und mit welchen Werten der Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit dieser Optimalzustand gefahren werden kann.

Wie schon einleitend erwähnt und in [1] näher ausgeführt wurde, ist für diesen Optimalzustand die volle Motorauslastung eine notwendige aber noch nicht hinreichende Bedingung. Für bestimmte Rahmenbedingungen gibt es zahlreiche Wertepaare für die Nenngeschwindigkeit v_N und die Arbeitsbreite b , die den Motor auslasten (Nähere Erläuterungen zu den verwendeten Größen findet man in [1]). Es gibt jedoch nur ein bestimmtes Wertepaar für v_N und b , bei dem das absolute Zeitminimum auftritt ([1], siehe dort Bild 9).

Mittels des schon erwähnten Simulationsmodelles für das System Schlepper-Pflug-Boden kann man nun das absolute Zeitminimum für verschiedene Randbedingungen berechnen. In Bild 1 ist für einen mittelschweren bis schweren Boden (spez. Pflugwiderstand 750 N/dm^2 bei 5 km/h , Stoppelacker) und für eine Arbeitstiefe von 25 cm der minimale Zeitbedarf $(t_e)_{\min}$ in Abhängigkeit von der Schleppermasse m_S und von der Nennleistung P_N dargestellt. Mit steigender Schleppermasse nimmt der minimale Zeitbedarf stetig ab. Er nähert sich einem Grenzwert, auf den hier nicht näher eingegangen werden soll. Ebenfalls fällt der minimale Zeitbedarf mit steigender Motornennleistung. Auch diese Kurve nähert sich asymptotisch einem Grenzwert. Jedem Punkt der dargestellten Fläche ist eine bestimmte Arbeitsbreite b und eine bestimmte Nenngeschwindigkeit v_N zuzuordnen. Ebenfalls hat jeder Punkt einen ganz bestimmten Schlupf σ und daraus sich ergebend eine bestimmte wahre Arbeitsgeschwindigkeit v . Für $P_N = 60 \text{ kW}$ und $m_S = 4 \text{ t}$ sind die entsprechenden Daten beispielhaft eingetragen. Bei diesen vorgegebenen Werten für die Nennleistung und Schleppermasse muß man also eine Arbeitsbreite von $b = 1,02 \text{ m}$ und eine Nenngeschwindigkeit von $v_N = 7,66 \text{ km/h}$ einstellen, um bei dem unterstellten Boden und bei der verwendeten Arbeitstiefe ein absolutes Zeitminimum zu bekommen. Dabei ergibt sich ein Schlupf von $23,04 \%$ und eine Arbeitsgeschwindigkeit von $5,89 \text{ km/h}$. Der minimale Zeitbedarf ist in diesem Fall $1,67 \text{ h/ha}$.

Handelt es sich um einen schweren Boden (z.B. 900 N/dm^2 bei 5 km/h), so wird die in Bild 1 dargestellte Fläche des minimalen Zeitbedarfs nach oben, d.h. zu größeren Zeitwerten, verschoben. Handelt es sich um einen leichteren Boden (z.B. 450 N/dm^2 bei 5 km/h), so wird die dargestellte Fläche nach unten, d.h. zu kleineren Zeitwerten, verschoben. In Bild 2 ist der minimale Zeitbedarf in Abhängigkeit von der Schleppermasse und der Motornennleistung für unterschiedlich schwere Böden dargestellt.

Es muß noch bemerkt werden, daß den Ergebniskurven in den Bildern 1 und 2, wie auch allen anderen Ergebnissen dieses Aufsatzes, die Annahmen, Bedingungen und Kennlinien zugrunde liegen, die auch in den früheren Untersuchungen [1, 4] verwendet wurden. Nur bei den Widerstandsgleichungen für den Pflug (siehe Gleichung (13) in [4]) ändert sich das konstante Glied, wenn spezifische Pflugwiderstände bei $v = 5 \text{ km/h}$ unterstellt werden, die von 600 N/dm^2 abweichen. Darauf kann jedoch hier nicht im Detail eingegangen werden.

¹⁾ Der Firma RABEWERK (Clausing), 4551 Bad Essen-Linne, sei auch an dieser Stelle für die großzügige Unterstützung unseres Forschungsvorhabens gedankt.

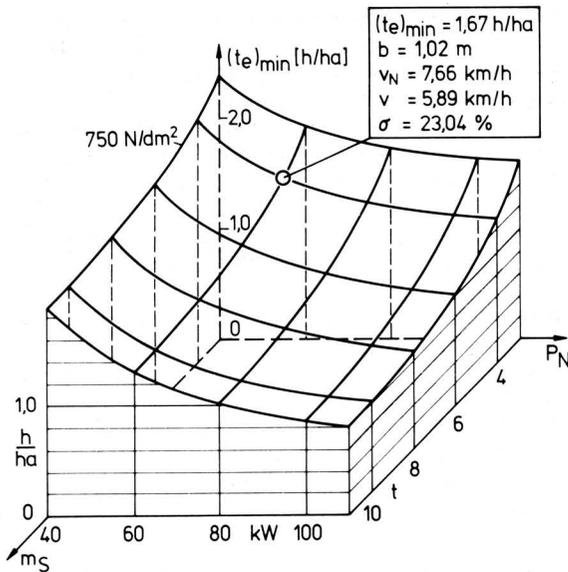


Bild 1. Minimaler Zeitbedarf $(t_e)_{\min}$ beim Pflügen in Abhängigkeit von der Motornennleistung P_N und der Schleppermasse m_S für einen Boden mit einem spezifischen Pflugwiderstand von 750 N/dm^2 und für eine Arbeitstiefe von 25 cm .

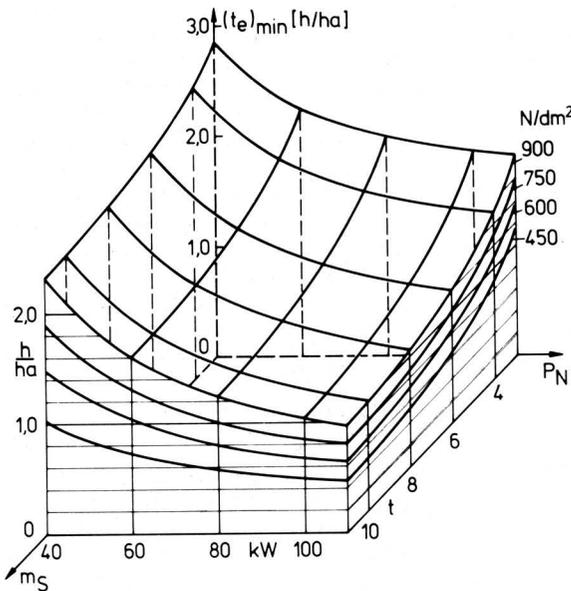


Bild 2. Minimaler Zeitbedarf $(t_e)_{\min}$ beim Pflügen in Abhängigkeit von der Motornennleistung P_N und der Schleppermasse m_S für unterschiedliche spezifische Pflugwiderstände bei einer Arbeitstiefe von 25 cm .

4. Theoretischer Zeitgewinn durch stufenlose Arbeitsbreitenanpassung

Der im Abschnitt 3. erläuterte minimale Zeitbedarf $(t_e)_{\min}$ kann in der Praxis mit den derzeitigen Schleppern und Pflügen wegen fehlender Einrichtungen zur stufenlosen Geschwindigkeits- und Arbeitsbreitenanpassung, mit denen die Optimalwerte eingestellt werden könnten, nicht erreicht werden. Es wäre reiner Zufall, wenn die Nenngeschwindigkeit eines vorhandenen Schlepperganges und die Pflugbreite gerade den optimalen Werten für den zu pflügenden Boden, für die gewünschte Arbeitstiefe usw. entsprechen würden. Aber wenn dies auch zuträfe, so würden diese Werte nicht mehr stimmen, wenn man mit dem gleichen Schlepper

und Pflug eine andere Arbeitstiefe zu bearbeiten hätte oder auf einem anderen Feld pflügen müßte, das z.B. einen kleineren oder größeren spez. Pflugwiderstand hat. Auch wären andere Werte für b und v_N optimal, wenn man anstatt in der Ebene bergauf oder bergab zu pflügen hätte. Selbst bei Änderung des Bodenzustandes – beispielsweise infolge eines Regens – würden sich die Verhältnisse so ändern, daß eine erneute Anpassung von b und v_N an neue Optimalwerte notwendig wäre.

Im folgenden soll anhand eines praktischen Beispiels gezeigt werden, wie groß in der Praxis der Zeitverlust wegen fehlender Optimierungsmöglichkeiten sein kann. Dabei wird beim Schleppergetriebe von einem Stufensprung von $\Delta v_N = 1 \text{ km/h}$ ausgegangen. Dieser Geschwindigkeitssprung (Getriebeabstufung) gilt natürlich nur für den Geschwindigkeitsbereich, der für das Pflügen wichtig ist. In diesem Bereich sollen die Getriebegänge bei $v_N = 7; 8; 9 \text{ km/h}$ liegen. Der im folgenden Beispiel verwendete Stufensprung für die Arbeitsbreite entspricht der Arbeitsbreite eines Pflugkörpers. Es wurde $\Delta b = 40 \text{ cm}$ gewählt, ein in der Praxis oft vorhandener Wert. Der verwendete Pflug kann also Arbeitsbreiten von $0,4; 0,8; 1,2; 1,6 \text{ m}$ usw. haben.

Als Beispiel wird der in Bild 1 markierte Punkt ($P_N = 60 \text{ kW}$; $m_S = 4 \text{ t}$) verwendet. Hierfür ist, wie schon erwähnt, der minimale Zeitbedarf von $1,67 \text{ h/ha}$ dann vorhanden, wenn mit einer Geschwindigkeit von $v_N = 7,66 \text{ km/h}$ und mit einer Arbeitsbreite von $b = 1,02 \text{ m}$ gepflügt wird. Wird auch nur von einem dieser beiden Optimalwerte abgewichen, so verschlechtert sich das Ergebnis, d.h. der Zeitbedarf wird größer.

Eine Abweichung von den Optimalwerten für v_N und b bedeutet nicht zwangsläufig, daß der Motor nicht mehr seine Nennleistung abgibt, d.h. nicht mehr ausgelastet ist. Darauf wurde schon einleitend im ersten Abschnitt hingewiesen. Es gibt eine Zeitbedarfskurve in Abhängigkeit von der Nenngeschwindigkeit v_N und der Arbeitsbreite b , für die der Schleppermotor immer ausgelastet ist. Der Punkt mit dem geringsten Zeitbedarf $(t_e)_{\min}$ ist ein Punkt dieser Kurve. In Bild 3 ist diese Kurve in räumlicher Darstellung für die Verhältnisse des in Bild 1 markierten Punktes zu sehen. Wird also eine Größe, entweder v_N oder b , beliebig vorgegeben, so ist die andere Größe, entweder b oder v_N , entsprechend dem dargestellten Kurvenverlauf festgelegt, wenn der Schleppermotor seine Nennleistung abgeben soll.

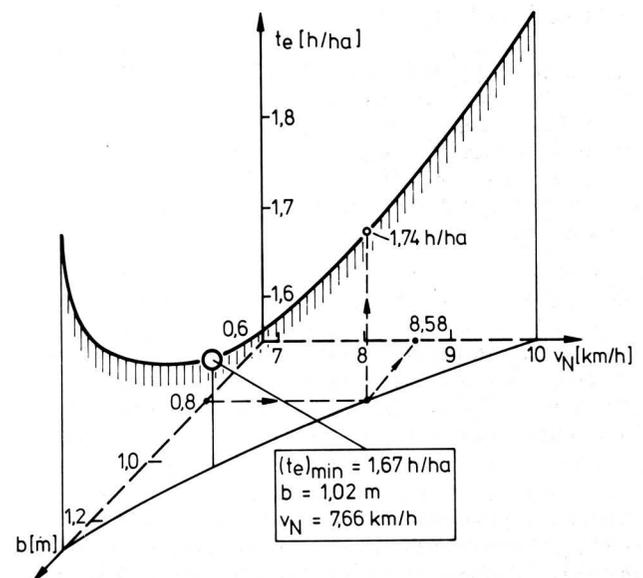


Bild 3. Arbeitszeitbedarf t_e in Abhängigkeit von der Nenngeschwindigkeit v_N und der Arbeitsbreite b bei voller Motorauslastung für Verhältnisse, die durch den in Bild 1 gekennzeichneten Punkt festgelegt sind.

Wie groß ist der Zeitverlust für eine bestimmte Arbeitsbreite und einen bestimmten Getriebegang in der Nähe der Optimalwerte? Die beiden Arbeitsbreiten, die dem entsprechenden Optimalwert (1,02 m) am nächsten kommen, sind 0,8 m (2-Schar-Pflug) und 1,2 m (3-Schar-Pflug). Die beiden Getriebegänge, die dem entsprechenden Optimalwert (7,66 km/h) am nächsten kommen, sind 7 und 8 km/h.

Geht man von einem 2-Schar-Pflug aus ($b = 0,8$ m), so ergibt der Kurvenzug in Bild 3, daß mit einer Nenngeschwindigkeit von 8,58 km/h der Schleppermotor ausgelastet werden kann. Es würde sich dann ein Zeitbedarf von $t_e = 1,74$ h/ha ergeben. Dieser Zeitbedarf wäre für die Arbeitsbreite von $b = 0,8$ m minimal. Jede Nenngeschwindigkeit, die bei dieser Arbeitsbreite größer oder kleiner als 8,58 km/h ist, würde größere Zeitwerte ergeben, da der Schleppermotor nicht mehr ausgelastet ist. Dieser minimale Zeitbedarf für $b = 0,8$ m liegt etwa 4 % höher als der absolut geringste ($(t_e)_{\min} = 1,67$ h/ha).

Ein Getriebegang mit einer Nenngeschwindigkeit von 8,58 km/h ist jedoch nicht vorhanden. Man muß also den Getriebegang mit $v_N = 8$ km/h nehmen, der unter den gegebenen Bedingungen den Schleppermotor nicht auslastet. Der Zeitverlust wird also noch größer.

In Bild 4 sind die Verhältnisse, aufbauend auf Bild 3, dargestellt. Für eine Arbeitsbreite von 0,8 m und eine Nenngeschwindigkeit von 8 km/h ergibt sich ein Zeitbedarf von 1,83 h/ha (Punkt A). Die Rechnung ergibt ferner, daß in diesem Punkt der Schleppermotor nur zu ungefähr 92 % ausgelastet ist. Gegenüber dem minimalen Zeitbedarf bei dieser Arbeitsbreite (Punkt B) ist der Zeitverlust etwa 5 % ($1,83/1,74 = 1,05$). Gegenüber dem absoluten Zeitminimum (Punkt O) beträgt der Zeitverlust etwa 10 % ($1,83/1,67 = 1,1$).

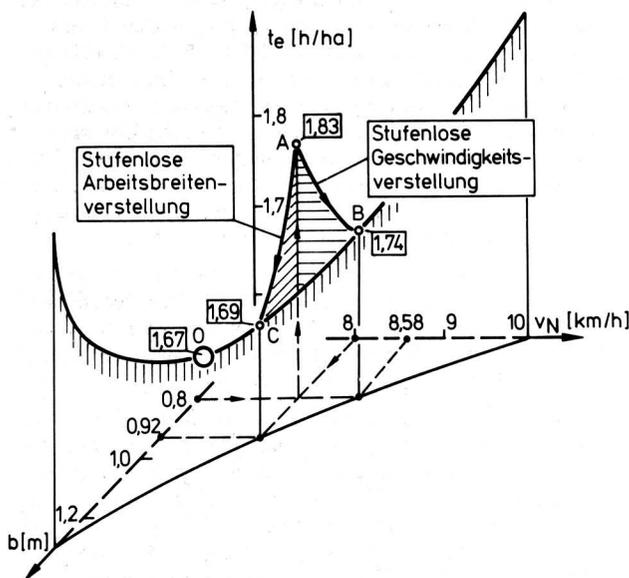


Bild 4. Beeinflussung des Zeitbedarfs t_e bei stufenloser Geschwindigkeitsverstellung und stufenloser Arbeitsbreitenverstellung (ausgehend von den Verhältnissen in Bild 3 und $v_N = 8$ km/h und $b = 0,8$ m).

Würde man ein Getriebe mit einer stufenlosen Geschwindigkeitsverstellung haben, so könnte man den Zeitbedarf entlang der Linie AB in Bild 4 von 1,83 auf 1,74 h/ha (also um etwa 5 %) reduzieren. Die Nenngeschwindigkeit wird von 8 auf 8,58 km/h erhöht. Im übrigen entspricht dieser Kurvenzug den t_e -Linien in [1] (siehe dort die Bilder 3d bis 8d). Würde man anstelle der stufenlosen Geschwindigkeitsverstellung einen Pflug mit einer stufenlosen Arbeitsbreitenverstellung verwenden, so könnte man den Zeitbedarf entlang der Linie AC von 1,83 h/ha auf 1,69 reduzieren, also

um etwa 8 % ($1,83/1,69 = 1,08$). Die Arbeitsbreite wird von 0,8 auf 0,92 m erhöht. Man erkennt, daß bei diesem Beispiel eine stufenlose Arbeitsbreitenverstellung einen größeren Zeitgewinn bringt als die stufenlose Geschwindigkeitsverstellung. Den Optimalpunkt O kann man jedoch mit keiner Verstellmöglichkeit getrennt anfahren. Dies ist erst dann möglich, wenn beide Verstellmöglichkeiten vorhanden sind.

Im folgenden soll anhand eines Beispiels verdeutlicht werden, daß eine stufenlose Arbeitsbreitenverstellung auch dann Vorteile haben kann, wenn sich die spez. Pflugwiderstände auf zwei zu pflügenden Schlägen eines Betriebes unterscheiden. Dies soll anhand von Bild 5 erläutert werden. In diesem Bild sind zwei Zeitkurven in Abhängigkeit von v_N und b bei voller Motorauslastung einmal für 750 N/dm² (siehe Bild 3) und zum anderen für einen etwas leichteren Boden mit 600 N/dm² zu sehen. Das absolute Zeitminimum für 750 N/dm² liegt bei O_1 , der entsprechende Punkt für 600 N/dm² ist O_2 .

Unterstellt man einmal, daß die Arbeitsbreite des Pfluges und die Nenngeschwindigkeit eines vorhandenen Getriebeganges den für 750 N/dm² geltenden Optimalwerten entsprechen, also $b = 1,02$ m und $v_N = 7,66$ km/h, so ergibt die Rechnung, daß man bei der Bearbeitung des zweiten Schlages (600 N/dm²) im Punkt A mit $t_e = 1,50$ h/ha arbeiten würde. Man wäre also weit vom absoluten Zeitminimum (Punkt O_2) des zweiten Schlages entfernt. Der Zeitverlust wäre ungefähr 12 % ($1,50/1,34 = 1,12$). Erst durch eine Arbeitsbreitenverstellung von 1,02 m auf 1,28 m käme man in die Nähe des Optimalpunktes O_2 .

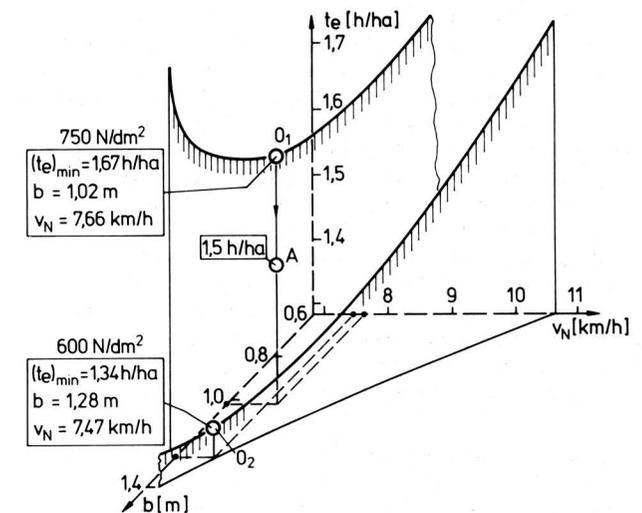


Bild 5. Arbeitszeitbedarf t_e in Abhängigkeit von v_N und b bei voller Motorauslastung für zwei verschiedene Bodenarten (600 bzw. 750 N/dm²); ($P_N = 60$ kW, $m_S = 4$ t, Arbeitstiefe 25 cm).

5. Versuchspflug mit stufenloser Arbeitsbreitenverstellung

Die Arbeitsbreite eines Pfluges kann durch Wegnehmen und Hinzufügen von Pflugkörpern, d.h. durch die Anzahl der Pflugkörper stufenweise verändert werden. Bei dieser Art von Arbeitsbreitenänderung bleibt die Arbeitsbreite pro Pflugkörper und damit auch der Arbeitseffekt konstant.

Eine andere Möglichkeit der Arbeitsbreitenänderung liegt in der Vergrößerung oder Verkleinerung der Arbeitsbreite pro Pflugkörper bei konstanter Pflugkörperzahl. Hierbei wird natürlich der Arbeitseffekt (Krümelung, Wendung) beeinflusst, da bei konstanter Arbeitstiefe das Breiten-Tiefen-Verhältnis des Pflugkörpers verändert wird. Auch wird die breitenbezogene Änderung der Zugkraft eine andere sein, wenn man die Arbeitsbreite statt über die Zahl der Pflugkörper über die Arbeitsbreite pro Pflugkörper ändert.

Die Möglichkeit der Arbeitsbreitenänderung über die Arbeitsbreite pro Pflugkörper wird beispielsweise bei Verwendung von "Unterlegkeilen" ausgenutzt, wobei letztendlich der Pflugkörper um einen bestimmten Winkel relativ zum Pflugrahmen um eine Hochachse gedreht wird. Da sich der Gesamtpflug im praktischen Betrieb immer wieder so einstellt, daß die vertikale Richtebene der Körper parallel zur Fahrtrichtung ist, kann auf diese Weise die Arbeitsbreite verändert werden. (Gewisse Nachstellungen sind notwendig, um dem ersten Pflugkörper die richtige Arbeitsbreite zu geben und um das Dreipunktgestänge wieder symmetrisch auszurichten)

Bei dem verwendeten Versuchspflug werden die Pflugkörper zum Zwecke der Arbeitsbreitenänderung ebenfalls um eine Hochachse gedreht, wobei die Verstellung stufenlos und zentral vom Schleppersitz aus erfolgt. Konstruktionen, die im Prinzip die gleiche Verstellmöglichkeit ausnutzen, sind auch an anderer Stelle [5, 6] bekannt geworden.

In Bild 6 ist der Versuchspflug mit stufenloser Arbeitsbreitenverstellung schematisiert dargestellt. Es ist ein 4-Schar-Volldrehpflug (im Bild wurde der besseren Übersicht wegen ein Beetpflug dargestellt), der an das Dreipunktgestänge des Schleppers angebaut wird. In der Normalstellung hat der Pflug eine Arbeitsbreite von 1,4 m, d.h. 35 cm pro Pflugkörper.

Der Pflugrahmen R ist gelenkig am Pflugvorderteil V befestigt. Er kann um eine vertikale Achse, die durch den Punkt A geht, geschwenkt werden. An diesen Pflugrahmen sind die Pflugkörper K (einschließlich Vorwerkzeuge) ebenfalls gelenkig angebracht, und zwar drehbar um eine vertikale Achse durch B. Mittels des doppelwirkenden Zylinders Z kann der Rahmen um A geschwenkt werden, und zwar in beiden Richtungen. Eine Schwenkung im Uhrzeigersinn bedeutet eine Vergrößerung der Arbeitsbreite, eine Schwenkung entgegen dem Uhrzeigersinn eine Verkleinerung. Der eingezeichnete Pfeil deutet eine Schwenkung in Richtung kleinerer Arbeitsbreite an. Bei der Rahmenschwenkung behalten die Pflugkörper infolge der durch das Spannschloß Sp und die Verbindungsstange St vorgegebenen Parallelogramm-Kinematik ihre Normalstellung in etwa bei, d.h. sie führen relativ zum Pflugrahmen eine entgegengesetzte Drehung aus. Da wegen gewisser konstruktiver Probleme, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, die Gegenschwenkung der Pflugkörper nicht exakt der Rahmenschwenkung gleich ist, werden die unteren Lenker, die in der Normalstellung symmetrisch angeordnet sind, bei einer Verstellung in Richtung kleinerer Arbeitsbreite nach rechts verschoben (in Fahrtrichtung gesehen), bei Vergrößerung der Arbeitsbreite entsprechend umgekehrt.

In der schmalsten Stellung hat dieser Pflug eine Arbeitsbreite von 0,9 m (22,5 cm pro Körper); die breiteste Stellung ergibt eine Arbeitsbreite von 1,9 m (47,5 cm pro Körper). Bild 7 zeigt Einzelfotos des Pfluges bei kleinster und größter Arbeitsbreite.

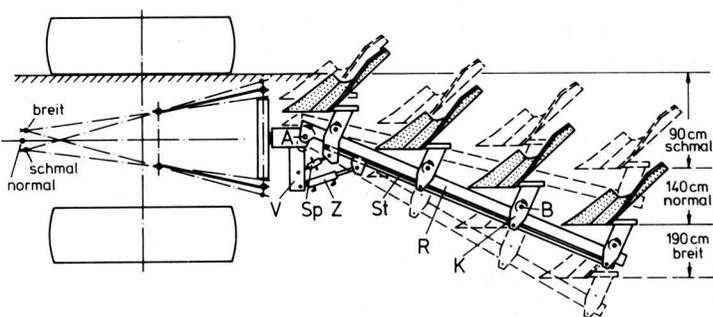


Bild 6. Vereinfachte Darstellung des Versuchspfluges mit stufenloser Arbeitsbreitenverstellung.

Der Pflug hat sich bisher im praktischen Einsatz bei jeder Arbeitsbreite gut bewährt. Die vorliegenden Versuchsergebnisse, beispielsweise bezüglich der Abhängigkeit der Zugkraft von der Arbeitsbreite, müssen durch weitere Versuche auf anderen Standorten ergänzt werden. In einer späteren Arbeit soll darüber zusammengefaßt berichtet werden.

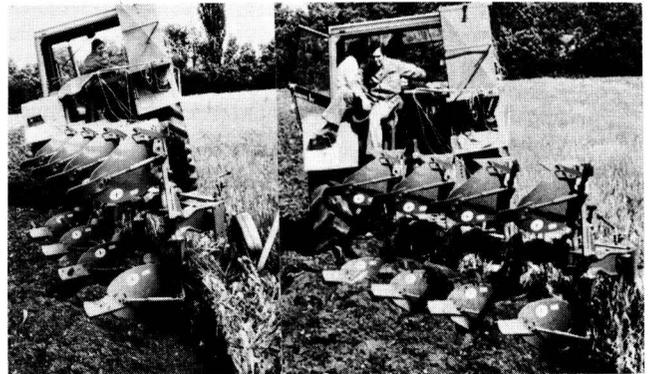


Bild 7. Versuchspflug mit stufenloser Arbeitsbreitenverstellung im Einsatz (links: kleinste Arbeitsbreite; rechts: größte Arbeitsbreite).

6. Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde gezeigt, daß eine stufenlose Arbeitsbreitenverstellung hinsichtlich der Maximierung der Schlagkraft beim Pflügen bedeutungsvoll sein kann. Man kann sich auf diese Weise dem minimalen Zeitbedarf, der durch Bodenart, Arbeitstiefe, Schlepperleistung und Schleppergewicht vorgegeben ist, nähern. Dabei sind Zeiteinsparungen von 10 % durchaus möglich. Man kann sich ferner mit dem in der Arbeitsbreite verstellbaren Pflug gut den unterschiedlichen Bodenarten, Bodenzuständen und den Neigungen der Felder anpassen. Der Pflug muß jedoch noch eingehend auf verschiedenen Standorten getestet werden.

Ob diese Arbeitsbreitenverstellung auch in derselben Furche vorgenommen werden kann, also eine Art Pflugregelung über die Arbeitsbreite bei konstanter Arbeitstiefe durchgeführt werden kann, ist wegen der dabei entstehenden krummen Furchen noch offen. Auch dies muß noch im Detail untersucht werden.

Kurzfristig wird zunächst mit diesem Verstellpflug in Verbindung mit einem Geber für die wahre Arbeitsgeschwindigkeit und einem einfachen Mikroprozessor folgende Optimierungsaufgabe realisiert. Am Armaturenbrett des Schleppers wird eine Einstellmöglichkeit für die Arbeitsbreite des Pfluges vorgesehen. Zu Beginn der Arbeit kann damit der Landwirt einen Schätzwert für die Arbeitsbreite vorgeben, der nach seiner Meinung ungefähr den minimalen Arbeitszeitbedarf ergibt. Automatisch wird der Pflug auf diese Breite eingestellt. Ferner wird dieser Wert im Mikroprozessor gespeichert. Mit dieser vorgegebenen Arbeitsbreite wird eine Furche gezogen, wobei die Arbeitsgeschwindigkeit gemessen wird. Über den Mikroprozessor wird die Arbeitsbreite und die Arbeitsgeschwindigkeit zum Arbeitszeitbedarf in h/ha umgerechnet. Am Feldende wird der Mittelwert des Arbeitszeitbedarfs für diese Furche angezeigt und gleichzeitig im Mikroprozessor abgespeichert. Nunmehr wird die Arbeitsbreite etwas geändert und eine zweite Furche gezogen. Am Ende dieser Furche steht wiederum der entsprechende Mittelwert für den Arbeitszeitbedarf zur Verfügung. Ein Vergleich des zuerst ermittelten Zeitwertes mit dem zuletzt ermittelten zeigt, welche Arbeitsbreiteneinstellung die günstigere gewesen ist. Auf diese Weise kann man mit einfachen Mitteln eine Maximierung der Schlagkraft beim Pflügen auf einem bestimmten Feld durchführen.

Schrifttum

- [1] *Stoppel, 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.
- [2] *Meyer, H.:* Die Bedeutung eines stufenlosen Getriebes für den Ackerschlepper und seine Geräte. *Grundl. Landtechnik*, Heft 11 (1959) S. 5/12.
- [3] *Coenberg, H.-H.:* Einige Grundbedingungen und Möglichkeiten für die automatische Regelung stufenloser Getriebe in Schleppern. *Landt. Forschung* Bd. 11 (1961) Nr. 4, S. 101/107.
- [4] *Stoppel, A.:* Energie- und Arbeitszeitbedarf für gezogene Geräte der Bodenbearbeitung bei unterschiedlicher Schlepperauslastung. *Grundl. Landtechnik* Bd. 30 (1980) Nr. 4, S. 135/39.
- [5] Prospektmaterial der Fa. Eicher, Forstern, aus den Jahren 1965/1966.
- [6] Prospektmaterial der Fa. White Farm Equipment, USA

Hydrostatische Antriebssysteme für Schleuderdüngerstreuer

Von Manfred Gluth, Osnabrück*)

Professor Dr.-Ing. Hans Jürgen Matthies zum 60. Geburtstag

DK 631.333.5:621.8.032:62-522

Zur Ausbringung von Mineraldünger sind bei den heute üblichen hohen Düngemittelgaben nur Düngerstreuer geeignet, die eine gleichbleibende Streumenge je Flächeneinheit unabhängig von Schwankungen der Fahrgeschwindigkeit gewährleisten. Diese Forderung läßt sich bei Schleuderdüngerstreuern, die zum Streuen von granuliertem Dünger bevorzugt eingesetzt werden, nur mit hohem technischen Aufwand verwirklichen. Mit Hilfe hydrostatischer Antriebe, die sich mit entsprechenden elektrohydraulischen Komponenten zu selbsttätig geregelten Systemen ausbauen lassen, ist eine optimale Auslegung der Antriebe der Zuführ- und Streuorgane möglich.

1. Einführung

In den letzten Jahrzehnten hat der Verbrauch von Mineraldünger ständig zugenommen. In der Bundesrepublik Deutschland erreicht der Aufwand je ha an reinen Nährstoffen z. Zt. Extremwerte von etwa 400 kg Stickstoff, 200 kg Phosphat und 200 kg Kali. In Zukunft wird man sowohl aus ökonomischen als auch aus ökologischen Gründen gezwungen sein, auf einen rationelleren Einsatz des Mineraldüngers zu achten. Bereits heute erfolgt bei der Stickstoffdüngung die Ausbringung in mehreren Gaben, um eine optimale Düngung jeweils zum Zeitpunkt des Bedarfes zu erreichen.

Die zur Ausbringung von Mineraldünger eingesetzten Streuer müssen daher die folgenden Forderungen erfüllen:

1. Gleichbleibende Streumenge je Flächeneinheit, um Ertragsverluste infolge von Über- bzw. Unterdüngung zu vermeiden.
2. Minimale Änderung der Streumenge je Flächeneinheit bei Fahrfehlern, d.h. bei geringen Schwankungen der Arbeitsbreite.
3. Variabilität der Arbeitsbreite zwecks Anpassung an unterschiedliche Fahrgassenabstände bzw. an ein Vielfaches der Arbeitsbreite von Drillmaschinen.

*) Prof. Dr.-Ing. M. Gluth war von 1963 bis 1969 Mitarbeiter von Herrn Prof. Dr.-Ing. H.J. Matthies am Institut für Landmaschinen der TU Braunschweig; er ist jetzt Professor im Fachbereich Maschinenbau an der Fachhochschule Osnabrück.

Diese Forderungen werden von den zur Ausbringung von gekörntem Mineraldünger bevorzugt eingesetzten Schleuderdüngerstreuern in der heute üblichen Grundkonzeption nur bedingt erfüllt. Normalerweise erfolgt der Antrieb der Schleuderscheibe von der Zapfwelle des Ackerschleppers aus über eine Gelenkwelle und ein Winkelgetriebe, und das Streugut gelangt über Düsen bzw. Blenden mit zeitlich konstantem Durchfluß auf die Schleuderscheibe. Schleuderdüngerstreuer dieser Konzeption liefern nur dann befriedigende Streuergebnisse, wenn die Nenndrehzahl der Schleuderscheibe eingehalten, d.h., wenn die Fahrgeschwindigkeit konstant gehalten werden kann. Bei Schwankungen der Fahrgeschwindigkeit ändert sich das Grundstreubild des Streuers erheblich, und es kommt zu starken Über- bzw. Unterdüngungen.

In der Praxis ist es vor allem bei unebenem und hängigem Gelände sowie infolge von Querfurchen nicht möglich, die Fahrgeschwindigkeit konstant zu halten. Zur Vermeidung von Verlusten, die durch Über- bzw. Unterdüngung entstehen, ist das Antriebs- und Dosiersystem eines Schleuderdüngerstreuers demzufolge so auszulegen, daß es die folgenden Forderungen erfüllt:

1. Konstanthaltung der Nenndrehzahl der Schleuderscheibe, um auch bei Absinken der Motordrehzahl ein optimales Streubild unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit zu gewährleisten.
2. Zuführung des Mineraldüngers auf die Schleuderscheibe über Dosierorgane – wie Schnecken, Wabenketten o.ä. – in der Weise, daß die Zuführmenge der zurückgelegten Wegstrecke proportional ist.

Im folgenden wird aufgezeigt, wie sich diese Forderungen mit Hilfe hydrostatischer Antriebe erfüllen lassen.

2. Vergleich hydrostatischer Antriebssysteme

Die zum Aufbau der hydrostatischen Antriebe benötigten Komponenten, wie Pumpen, Motoren und Ventile, werden – abgesehen von einer Ausnahme – von der Hydraulikindustrie in den benötigten Größen angeboten, so daß sich die Hydrostatik bereits bei Kleinserien sinnvoll einsetzen läßt.

Bild 1 zeigt drei hydrostatische Antriebssysteme für Schleuderdüngerstreuer, die die in der Einführung erläuterten Forderungen erfüllen. In der Ausführung des Schleuderscheibenantriebes stimmen die Antriebssysteme überein; die Unterschiede liegen in der Konzeption des Antriebes der Dosierorgane.