

Zur rationellen Nutzung von Energie bei der Bodenbearbeitung

Dr.-Ing. W.-D. Kalk, KDT, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR

In der Pflanzenproduktion der DDR werden zur Produktion von Rohstoffen und Nahrungsmitteln etwa 0,9 Mill. t Dieselkraftstoff benötigt. Die in diesem Dieselkraftstoff enthaltene Energiemenge macht nur einen Teil der für die Pflanzenproduktion erforderlichen Energiemenge aus. Für die Herstellung von Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln, Traktoren und Maschinen muß in der Industrie etwa das Dreifache der im Dieselkraftstoff enthaltenen Energiemenge aufgewendet werden. Trotz dieser hohen Vorleistungen an Energieaufwand durch die Volkswirtschaft bildet die Pflanzenproduktion mit ihrem Produkt Pflanzensubstanz eine Ausnahme. Durch Umwandlung von Sonnenenergie in Pflanzensubstanz wird über die Photosynthese der Pflanzen etwa das Fünffache der gesamtvolkswirtschaftlich aufgewendeten Energiemenge erzeugt [1].

Es ist jedoch die Tendenz erkennbar, daß die aufgewendete Energiemenge in den letzten Jahren schneller als die erzeugte Energiemenge angestiegen ist. Deshalb und wegen der sich verschärfenden allgemeinen energiewirtschaftlichen Situation sind alle Wege zur Einsparung von Energie aus industriellen Vorleistungen und von Dieselkraftstoff aufzudecken und zu nutzen.

Bei der Erzeugung von Pflanzensubstanz hat die Bodenbearbeitung die nach jeder Vegetationsperiode durch verschiedene Ursachen beeinträchtigte Bodenstruktur so umzuwandeln, daß Voraussetzungen für stabile und steigende Erträge vorliegen.

Ein hoher Energieaufwand, vor allem in Form von Dieselkraftstoff, ist dazu erforderlich. Für die Bodenbearbeitung und Aussaat werden etwa 30% des in der Pflanzenproduktion der DDR benötigten Dieselkraftstoffs verbraucht. Mögliche Wege zur Senkung des Kraftstoffaufwands sind die bessere Ausnutzung der im Kraftstoff enthaltenen Energiemenge und die Kraftstoffeinsparung. Eine Verbesserung des Ausnutzungsgrades des Dieselkraftstoffs ist durch konstruktive Maßnahmen an Traktoren und Geräten sowie durch richtige Einsatzorganisation möglich. Direkte Kraftstoffeinsparungen ergeben sich durch Maßnahmen der Einsatzorganisation, Pflege und Wartung sowie durch rationelle Verfahren der Bodenbearbeitung.

1. Verbesserung des Ausnutzungsgrades des Dieselkraftstoffs

Der Wirkungsgrad der Kraftstoffausnutzung wird im Traktor durch Motor, Getriebe und Fahrwerk beeinflusst. 68% der im Dieselkraftstoff enthaltenen Energiemenge werden vom Motor über die Auspuffgase und die Kühlung ungenutzt abgegeben. Im Getriebe werden 5% und am Fahrwerk 7 bis 13% verbraucht, so daß für die Zugarbeiten nur 14 bis 20% der mit dem Dieselkraftstoff zugeführten Energiemenge genutzt werden können [1]. Bei der Bodenbearbeitung mit gezogenen Geräten kann nur auf die Verluste am Fahrwerk Einfluß genommen werden. Der Verlust von 7 bis 13% der Energie des verbrauchten Dieselkraftstoffs durch Rollwiderstand und Schlupf des Fahrwerks entspricht Fahrwerkwirkungsgraden zwischen 0,52 und 0,75.

Traktorenreifen mit Diagonalkarkasse und

Normalstollen erreichen auf trockenem festen Boden einen optimalen Fahrwerkwirkungsgrad $\eta_T = 0,69$ (Bild 1, Säule a). Mit Radialreifen ist unter gleichen Bedingungen eine Erhöhung um 9% auf 0,75 möglich (Säule b). Das entspricht einer Kraftstoffeinsparung von 9%. Auf nassem schmierenden Boden ist der Fahrwerkwirkungsgrad bei Radial- und Diagonalreifen gleich, allerdings mit 0,54 gegenüber 0,69 bzw. 0,75 wesentlich geringer (Säule c). Der Kraftstoffverbrauch erhöht sich demzufolge bei nassem schmierenden Boden um rd. 20% bei Diagonal- und 30% bei Radialreifen. Mit zunehmender Bodenfeuchte wird das Fahren in der Furche vorteilhafter, weil Triebkraftbeiwert und Radlast in der Furche höher sind.

Werden Treibräder auf lockerem Boden eingesetzt, erhöht sich der DK-Verbrauch um 10 bis 20% je nach vorliegenden Bedingungen (Säulen d und f). Dieser Nachteil wird zwar dadurch etwas vermindert, daß die Hinterräder in einer vorverfestigten Spur mit besseren Betriebseigenschaften fahren, wobei sich die günstige Wirkung mit größerem Porenvolumen und steigendem Tongehalt des Bodens erhöht. Jedoch sollte auf gepflügtem oder gegrubbertem unverdichteten Boden möglichst nicht gefahren werden, d.h. mit jeder Saatsfurche muß ein Arbeitsgang zur Saatsbettbereitung kombiniert werden, der möglichst keinen weiteren Arbeitsgang zur Saatsbettbereitung erfordert. Muß trotzdem auf gelockertem Boden gefahren werden, ergibt sich durch Verbreiterung der Treibräder oder durch Gitterräder ein erhöhter Rollwiderstand und damit ein erhöhter DK-Verbrauch von etwa 5% (Säulen d und e) [2]. Durch Zwillingbereifung und Gitterräder ist zwar eine Verminderung der Spurtiefe und des Bodendrucks und damit der Verdichtung des Bodens möglich, aber keine Erhöhung des Fahrwerkwirkungsgrades und keine Kraftstoffeinsparung. Wird auf gepflügtem Boden mit sehr langsamen Geschwindigkeiten gefahren, werden die Rollwiderstandsverluste geringer, der Fahrwerkwirkungsgrad überschreitet sogar den Wert für trockenen festen Boden (Säule g). Geschwindigkeiten von 1,62 km/h haben nur theoretische Bedeutung, da die erreichbare Flächenleistung zu gering und der Arbeitseffekt der Werkzeuge nicht ausreichend ist.

Zur Ermittlung der günstigsten Geschwindigkeiten bei der Bodenbearbeitung ist es notwendig, die Zugeigenschaften eines Traktors und den Zugkraftbedarf des Arbeitsgeräts im Zusammenhang zu betrachten [3]. Verbindet man z. B. die Meßergebnisse der Zugcharakteristik des ZT 303 [4] mit dem theoretischen Zugkraftbedarf des Pfluges B 201 nach Gorjatschkin [5], ergibt sich der Zusammenhang zwischen Kraftstoffverbrauch je Hektar, Flächenleistung und Arbeitsgeschwindigkeit (s. Bild 4a in [3]). Aus diesem Bild läßt sich ableiten, daß der optimale Geschwindigkeitsbereich eines Traktors mit Pflug hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs je Hektar und der maximalen Flächenleistung relativ niedrig liegt. Mit dem ZT 303 lassen sich maximale Flächenleistungen bei Arbeitsgeschwindigkeiten zwischen 5 und 7 km/h erreichen. Der Kraftstoffverbrauch nimmt von 4,5 km/h an kontinuier-

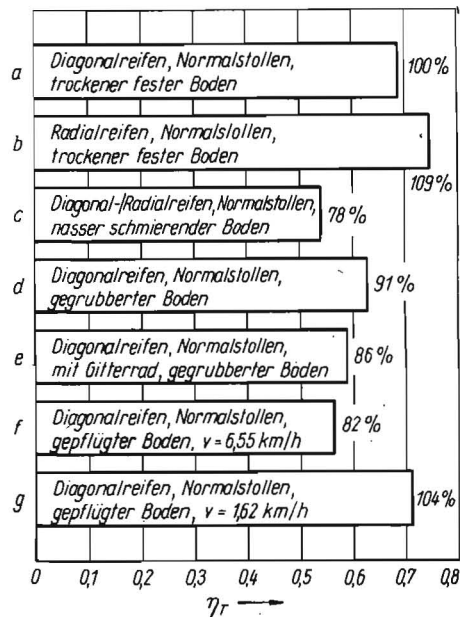


Bild 1. Optimale Fahrwerkwirkungsgrade für verschiedene Reifen und Einsatzbedingungen (nach Steinkampf); v Arbeitsgeschwindigkeit

lich mit der Arbeitsgeschwindigkeit zu (im Beispiel zwischen 4,5 km/h und 9 km/h um 32%). Einen optimalen Arbeitspunkt mit hoher Flächenleistung und niedrigem Kraftstoffverbrauch gibt es bei etwa 5,2 km/h.

Die Verringerung der Arbeitsgeschwindigkeit erscheint als eine wichtige Maßnahme zur Einsparung von Dieselkraftstoff. Es gibt jedoch einige Möglichkeiten, bei zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit den Fahrwerkwirkungsgrad zu erhöhen.

Eine zusätzliche Belastung der Traktortreibräder zur Gewichtskraft ($m \cdot g$) des Traktors kann zum einen durch Ballast (beim Traktor K-700 z. B. durch Füllung der Reifen mit etwa 1,5 t Wasser um $14,7 \text{ kN} \approx 13\%$ der Gewichtskraft) und zum anderen mit Hilfe der Regelhydraulik durch Verlagern von im Bodenbearbeitungsgerät auftretenden Kräften auf den Traktor erreicht werden. Allerdings erhöht sich dadurch auch der Rollwiderstand des Traktors. Bei Allradantrieb sind durch Achslasterhöhung mit Hilfe der Regelhydraulik Zugkrafterhöhungen und entsprechend Geschwindigkeitsverminderungen um maximal 25% möglich [6], wobei sich die Vorderachsentlastung besonders dann positiv auswirkt, wenn eine stark erhöhte statische Vorderachslast gegenüber der Hinterachslast vorliegt.

Um die hinsichtlich der Energieübertragung nachteiligen Wirkungen des Fahrwerks generell zu vermeiden, besteht nur die Möglichkeit, anstelle der gezogenen Werkzeuge angetriebene Werkzeuge einzusetzen. Der Gesamtwirkungsgrad η_Z beim Einsatz gezogener Geräte errechnet sich nach Gl. (1) [7]:

$$\eta_Z = \frac{P_Z}{P_M} = \lambda \eta_{GZ} \eta_T; \quad (1)$$

P_Z Zugleistung

P_M Motorleistung.

Rechnet man mit häufig vorkommenden Wer-

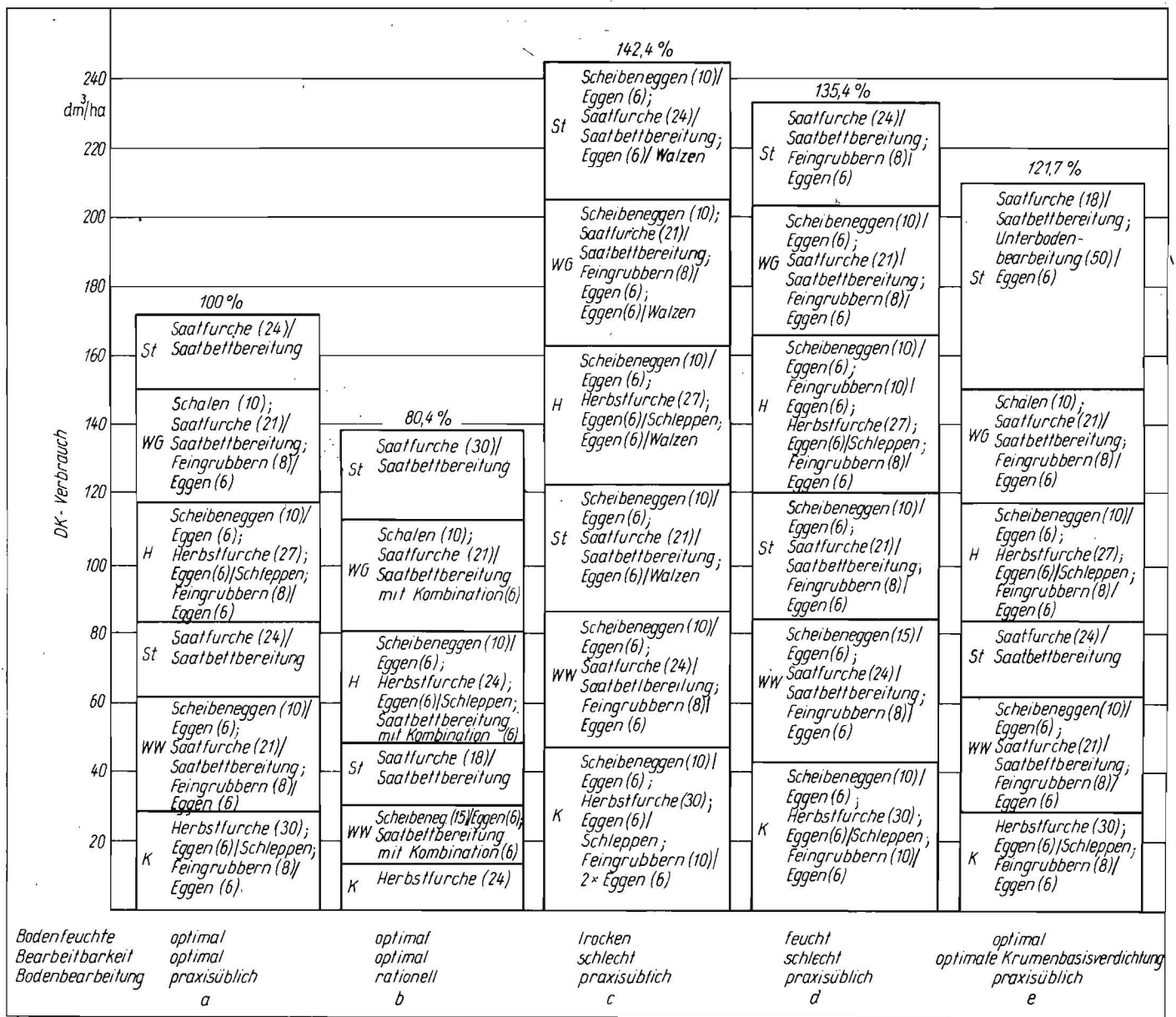


Bild 2. Dieseldieselkraftstoffverbrauch bei praxisüblicher bzw. rationeller Bodenbearbeitung in einer Fruchtfolgerotation auf den natürlichen Standorteinheiten D3 bis D5; () Arbeitstiefe in cm
K Kartoffeln, WW Winterweizen, St Stoppelfrucht, H Hafer, WG Wintergerste

ten für Motorauslastungsgrad $\lambda = 0,85$, Getriebewirkungsgrad bei Übertragung von Zugenergie $\eta_{GZ} = 0,85$ und Fahrwerkwirkungsgrad $\eta_T = 0,62$, so ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad $\eta_Z = 0,45$. Beim Einsatz von Maschinen mit angetriebenen Werkzeugen, bei denen eine relativ kleine oder keine Zugkraft vom Traktor abgegeben werden muß, ist der Wirkungsgrad nicht explizit zu formulieren und es gilt Gl. (2) [8]

$$P_M = \frac{P_A}{\lambda \eta_{GZ}} + \frac{(Z + R) v_f}{(1 - S) \lambda \eta_{GZ}} \quad (2)$$

Der Zugkraftbedarf Z ist beim Anbau einer Fräse gleich Null. Der Rollwiderstand R errechnet sich als Produkt aus Rollwiderstandsbeiwert ρ und der Gewichtskraft von Traktor und Gerät. Der Rollwiderstandsbeiwert ρ schwankt zwischen 0,05 auf relativ fester Fahrbahn und 0,15 (im Beispiel wird $\rho = 0,08$ gewählt). Die Gewichtskraft des Traktors ZT 300 beträgt ohne Ballast 48,2 kN, die der Fräse U-511 aus der VR Polen (Arbeitsbreite 2,8 m) 6,1 kN. Mit einer Arbeitsgeschwindigkeit v_f

von 2 m/s, einem Schlupf S von 5 % und einem Getriebewirkungsgrad η_{GZ} von 0,92 bei nur geringer Belastung des Triebwerks [8] ergeben sich für den zweiten Summanden in Gl. (2) 11,7 kW. Diese Leistung ist für die Eigenbewegung des Traktors und des Geräts notwendig. Mit dem Motorauslastungsgrad $\lambda = 0,85$, dem Antriebswirkungsgrad bei Nutzung der Zapfwelle $\eta_{GA} = 0,85$ und der Traktormotorleistung $P_M = 66$ kW ergibt sich die maximale Anzapfleistung $P_A = 39,2$ kW. Der Gesamtwirkungsgrad η_A beim Einsatz von Maschinen mit angetriebenen Werkzeugen, die keinen Zugleistungsbedarf haben, kann nun errechnet werden nach

$$\eta_A = \frac{P_A}{P_M} = \frac{39,2 \text{ kW}}{66 \text{ kW}} = 0,59 \quad (3)$$

Gegenüber dem Gesamtwirkungsgrad beim Einsatz gezogener Werkzeuge erhöht sich im gewählten Beispiel der Wirkungsgrad um etwa 30 %. Dieser Wert kann sich erhöhen, wenn die aktiven Werkzeuge eine Schubwirkung auf den Traktor ausüben und wenn spezielle Traktoren

geringerer Eigenmasse für Maschinen mit aktiven Werkzeugen eingesetzt werden. Die Wirkungsgradzunahme vermindert sich, wenn die aktiven Werkzeuge neben der Antriebsleistung noch eine Zugleistung erfordern (z. B. Kreiselegge).

Der Vorteil des günstigeren Wirkungsgrades bei der Übertragung der Antriebsenergie auf das Werkzeug setzt sich nach gegenwärtigen Erkenntnissen nicht als Arbeitsergebnis im Boden um. Der Wirkungsgrad der Energieumsetzung am Werkzeug beim Einwirken auf den Boden ist bei aktiven Werkzeugen ungünstiger [9]. Der gewonnene Vorteil für den Traktor wird als Ergebnis im Boden nicht wirksam. Eine grundlegende Verringerung des spezifischen Energieaufwands im Boden bei der Bearbeitung mit aktiven Werkzeugen ist noch nicht absehbar.

Energieeinsparungen werden auch in Forschungsarbeiten an Geräten mit passiven Werkzeugen angestrebt, z. B. durch Verminderung der Pflugmasse, rollende Anlagen und spezielle Werkstoffe für Streichblechoberflächen. Grundsätzlich ist allerdings festzustellen, daß die Weiterentwicklung von Bodenbearbei-

tungsaggregaten auf der Grundlage herkömmlicher technischer Prinzipien nur eine Senkung des Energieverbrauchs um 5 bis 10% ermöglicht [10].

2. Kraftstoffeinsparungen

Direkte Kraftstoffeinsparungen sind durch Maßnahmen besserer Einsatzorganisation, Pflege und Wartung sowie Verbesserungen im Verfahren der Bodenbearbeitung möglich.

Beim Einsatz von Traktor und Gerät führen Auslastung des Motors, Vermeiden von Leerfahrten und Leerlauf sowie Vermeiden von Doppelbearbeitung zu direkter Einsparung von Kraftstoff. Beim Lenken von Aggregaten mit großer Arbeitsbreite ergeben sich z. B. Doppelbearbeitungen, die beim Scheibeneggen 15%, beim Schleppen, Walzen und Eggen rd. 10% der Arbeitsbreite betragen können. Zum Vermeiden solcher Verluste sind automatische Lenkhilfen geeignet.

Sorgfältige Pflege und Wartung des Traktors, z. B. richtiges Einstellen des Einspritzzeitpunktes, Reinigen des Luftfilters, bewirken ebenfalls DK-Einsparungen.

Wesentliche Kraftstoffeinsparungen müssen im Verfahren der Bodenbearbeitung erreicht werden. Einsparungen an Energie auf Kosten der Qualität der Bodenbearbeitung, mangelhafter Unkrautbekämpfung und unzureichender Auflockerung stark verdichteter Krumschichten sind hinsichtlich der Zielstellung der Pflanzenproduktion der DDR, stabile und steigende Erträge zu erreichen, nicht zulässig. Rationelle Bodenbearbeitung ist eine auf den Fruchtfolgeablauf bezogene und nach den jeweiligen Witterungsbedingungen und physikalischen Bodenzuständen stark differenzierte Bodenbearbeitung mit Kombinationen von Geräten und Werkzeugen.

Der Aufgabenumfang für die Bodenbearbeitung im Pflanzenproduktionsprozeß hat in den letzten Jahren zugenommen. Durch den mit Nutz- und Eigenmasse der Mechanisierungsmittel angewachsenen Druck der Fahrwerke auf den Boden und das mehrfache ganzzahlige Befahren des Bodens während jeder Vegetationsperiode hat sich der Strukturzustand des Bodens insgesamt verschlechtert (z. B. werden beim Befahren sehr feuchter Böden mit dem Traktor K-700 Schadverdichtungen bis in 50 cm Tiefe verursacht). Außerdem müssen mit der Bodenbearbeitung zahlreiche Mängel der vorgelagerten Ernte- und Transportarbeiten beseitigt werden, z. B. unsauber geräumtes Stroh, unebene Flächen nach der Kartoffelernte, tiefe Fahrspuren bei der Ernte von Hackfrüchten und Futter und bei der Ausbringung von Gülle und Mineraldünger. Das Beseitigen großer Unebenheiten nach der Kartoffelernte erfordert für den zusätzlichen Arbeitsgang einen DK-Verbrauch von 6 bis 8 dm³/ha. Die tiefen Fahrspuren führen vor allem auf humusarmen, sandigen Böden zu irreversiblen Verdichtungen und Strukturschäden bis in den Unterboden. Es entstehen sog. Krumbasisverdichtungen, deren negative Wirkung auf das Wurzelwachstum und die Pflanzenentwicklung durch spezielle Arbeitsgänge der Lockerung wieder beseitigt werden muß.

Als Beispiel für die Möglichkeiten der rationellen Bodenbearbeitung mit den gegenwärtigen Mechanisierungsmitteln soll eine Fruchtfolge-rotation Kartoffeln — Winterweizen — Stoppelfrucht — Hafer — Wintergerste — Stoppelfrucht dienen, die auf den natürlichen Standorteinheiten D3 bis D5 angebaut wird (Bild 2) [11]. Diese Standorteinheiten repräsentieren 44,6% der Ackerfläche der DDR. Die Betrachtung einzelner Fruchtfolgeabschnitte

führt hinsichtlich der Einsparungen zu falschen Schlußfolgerungen, da die Einsparungen eines Jahres in den Folgejahren oft zusätzlich aufgewendet werden müssen.

Mit der praxisüblichen Bearbeitung wird unter optimalen Bodenbedingungen für die gesamte vierjährige Fruchtfolge-rotation ein DK-Aufwand von 171 dm³/ha benötigt (Bild 2, Säule a). Die Kombination von Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung wird durch die in den Pflanzenproduktionsbetrieben vorhandenen Kombinationen Pflug B 550/Saatbettbereitungsgerät B 601 und Pflug B 201/Saatbettbereitungsgerät B 459 bereits weitgehend angewendet. Die Saatfurche und Saatbettbereitung für Stoppelfrüchte wird praxisüblich in einem Arbeitsgang durchgeführt. Die Kombination von Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung wirkt sich in drei Richtungen positiv aus:

— Der Boden kann bei der Saatbettbereitung im günstigsten Feuchtezustand, d. h. mit geringstem DK-Aufwand, weitgehend in einem Arbeitsgang bearbeitet werden.

— Die Energieverluste durch hohe Rollwiderstände bei den dem Pflügen folgenden Arbeitsgängen sind durch die Einschränkung der Anzahl der Arbeitsgänge und durch die Vorverdichtung des Bodens beim ersten Arbeitsgang gering.

— Die Anzahl der für Pflanzenwachstum und spätere Bearbeitung nachteiligen Spuren wird eingeschränkt.

Je nach Bodenzustand und Bodenart muß nach der kombinierten Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung für Wintergetreide und Winterzwischenfrüchte ein weiterer Arbeitsgang durchgeführt werden. Dieser ist zukünftig mit der neuen Saatbettbereitungskombination B 610 im Kopplungswagen T 890 [12] vor allem hinsichtlich des Arbeitszeitaufwands sowie der Arbeitsqualität und weniger hinsichtlich des DK-Aufwands zu rationalisieren (Säule b, Kombination Schlepp, Federzinken, Krümelwalze).

Zur guten Qualität der Bodenbearbeitung gehört in erster Linie das Einhalten einer ackerbaulich begründeten Arbeitstiefe. Eine Reduzierung der Arbeitstiefe wirkt sich wesentlich auf die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs aus. Ackerbauliche Versuche haben aber gezeigt, daß eine erhebliche Reduzierung der Bearbeitungstiefe nur im Wechsel mit den üblichen Bearbeitungstiefen innerhalb der Fruchtfolge zu keiner Ertragsminderung führt [11]. Meistens wird für Hackfrüchte bzw. Stoppelfrüchte vor Hackfrüchten auf Krumentiefe gepflügt (Säule b). Beim nachfolgenden Winter- oder Sommergetreide kann die Tiefe der Grundbodenbearbeitung um so mehr reduziert werden, je besser die Bodenstruktur bei der Ernte erhalten geblieben ist und je weniger Unkräuter und Pflanzenrückstände vorhanden sind. Für Winterweizen wurde deshalb bei der rationellen Bodenbearbeitung (Säule b) für die Grundbodenbearbeitung die Scheibenegge mit einer Arbeitstiefe von 15 cm vorgesehen. Nach Getreide und Futterpflanzen ist zur Unterbringung von Pflanzenresten, Ausfallgetreide und Unkräutern eine wendende Bodenbearbeitung erforderlich, deren Tiefe je nach Ausgangsbedingungen zwischen 15 und 25 cm (großer Rückstandbesatz, tiefe Fahrspuren) zu differenzieren ist. Daraus folgt eine Senkung der Arbeitstiefe von 24 auf 18 cm für Stoppelfrucht und von 27 auf 24 cm für Hafer (Säulen a, b). Die Anwendung der rationellen Bodenbearbeitung führt zur DK-Einsparung von etwa 20%.

Der Bodenzustand beeinflußt den DK-Verbrauch entscheidend (Säulen c, d). Bei trockenem Boden steigt der Bearbeitungswiderstand an. Die Krümelung geht bei trockenem und feuchtem Boden zurück. Bei feuchtem Zustand verschlechtert sich der Fahrwerkungsgrad des Traktors, Spurtiefen und Erntemängel nehmen zu. Die Zunahme des DK-Verbrauchs um 40% bei trockenem Boden und um 35% bei feuchtem Boden im Fall praxisüblicher Bearbeitung kann bei rationaler Bodenbearbeitung auf 30 bzw. 25% gesenkt werden. Diese Angaben sind auch für trockene oder feuchte Vegetationsperioden gültig. Theoretisch müssen solche Bodenzustände bei der Bearbeitung vermieden werden. Wegen der Notwendigkeit, die agrotechnischen Zeitspannen einzuhalten, muß der höhere Aufwand aber oft betrieben werden.

Die erforderliche Beseitigung von bewirtschaftungsbedingten Krumbasisverdichtungen in jeder Fruchtfolge-rotation erfordert etwa 20% Dieseldieselkraftstoff zusätzlich zur Bodenbearbeitung (Säule e), wobei die im Beispiel angegebenen natürlichen Standorteinheiten hinsichtlich der Schadverdichtungen besonders empfindlich sind.

Weitere Kraftstoffeinsparungen durch reduzierten Aufwand für die Bodenbearbeitung wären theoretisch möglich. Beim derzeitigen pflanzenbaulichen Kenntnisstand ist jedoch das Risiko von Ertragsausfällen durch reduzierte Bodenbearbeitung wesentlich höher zu veranschlagen als die dabei möglicherweise einzusparenden Kosten bzw. Energiemengen [13]. Der weiter verringerte Aufwand bei der Bodenbearbeitung würde die Erzeugung des fünffachen Wertes der eingesetzten Energiemenge durch Nutzung der Sonnenenergie und damit den guten Wirkungsgrad des Pflanzenproduktionsprozesses in Frage stellen.

3. Zusammenfassung

Mögliche Wege zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs sind die bessere Ausnutzung des Kraftstoffs und die Kraftstoffeinsparung. Die Ausnutzung des Kraftstoffs kann bei Traktoren durch Ausrüstung mit Radialreifen, Einsatz bei relativ trockenem Bodenzustand und Vermeiden von Fahrten auf lockerem unverdichtetem Boden verbessert werden. Der optimale Geschwindigkeitsbereich eines Traktors mit Pflug liegt hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs je Hektar und der maximalen Flächenleistung relativ niedrig. Beim Traktor ZT 303 nimmt der Kraftstoffverbrauch zwischen 4,5 km/h und 9 km/h kontinuierlich zu. Für niedrige Geschwindigkeiten des Traktors und hohe Zugkräfte sind große Treibachsbelastungen zweckmäßig. Die wirksame Treibachsbelastung kann durch Ballast sowie Zusatzbelastung der Treibachsen mit Hilfe der Regelhydraulik erhöht werden.

Im Verfahren der Bodenbearbeitung sind Kraftstoffeinsparungen durch Verringerung der Arbeitstiefe, Durchführung von Arbeitsgängen mit günstigeren technischen Mitteln sowie Verringern und Kombinieren von Arbeitsgängen möglich. Vorrangiges Ziel sind stabile und steigende Erträge.

Bei Anwendung aller Möglichkeiten der rationellen Bodenbearbeitung kann in einer Fruchtfolge-rotation auf den natürlichen Standorteinheiten D3 bis D5 eine Einsparung von rd. 20% Dieseldieselkraftstoff erreicht werden. Bei zu trockenem oder zu feuchtem Bodenzustand steigt der DK-Verbrauch um rd. 40 bzw. 35% an. Optimale Bodenzustände müssen zügig genutzt werden. Die Beseitigung bewirtschaftungs-

tungsbedingter Krumenbasisverdichtungen erfordert für die Fruchtfolgerotation 20 % Dieselkraftstoff zusätzlich.

Literatur

[1] Steinkampf, H.; Sommer, C.; Zach, M.: Möglichkeiten der Energieeinsparung beim Schleppereinsatz, insbesondere bei der Bodenbearbeitung. Landbauforschung Völknerode (1979) Sonderheft 49, S. 42—50.
 [2] Steinkampf, H.: Problematik der Leistungsumwandlung über die Triebäder bei leistungsstarken Schleppern. Grundlagen der Landtechnik 27 (1977) H. 5, S. 168—172.
 [3] Kalk, W.-D.; Bosse, O.: Betrachtungen zu optimalen Geschwindigkeiten beim Pflügen. agrartechnik 31 (1981) H. 8, S. 373—376.
 [4] Stieglitz, E.: Prüfbericht Nr. 24 Radtraktor ZT 303. Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim 1970.

[5] Krutikow, N. P., u. a.: Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1955.
 [6] Steinkampf, H.: Ermittlung von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. Landbauforschung Völknerode (1975) Sonderheft 27.
 [7] Steinkampf, H.: Probleme der effizienten Umwandlung der Motorleistung in Zugleistung bei leistungsstarken Schleppern. Grundlagen der Landtechnik 24 (1974) H. 1, S. 14—20.
 [8] Steinkampf, H.; Zach, M.: Leistungsbedarf und Krümelungseffekt von gezogenen und zapfwellengetriebenen Geräten zur Saatbettbereitung. Landbauforschung Völknerode 24 (1974) H. 1, S. 55—62.
 [9] Soucek, R.: Zu einigen Problemen von Theorie und Praxis der Bodenbearbeitung. agrartechnik 30 (1980) H. 2, S. 69—70.
 [10] Untersuchung der bestehenden technologischen

Prozesse auf dem Gebiet der Mechanisierung der Pflanzenproduktion mit dem Ziel der Senkung des Energieverbrauchs. ECE-Bericht der UdSSR-Vertretung auf der Sitzung der Arbeitsgruppe Mechanisierung der Landwirtschaft, Genf 1980.
 [11] Kunze, A., u. a.: Richtwerte und Normative für die Bodenbearbeitung nach Standortgruppen und Fruchtarten als Bestandteil komplexer Verfahren zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit. FZB Müncheberg, Forschungsbericht 1979 (unveröffentlicht).
 [12] Kalk, W.-D.: Maschinen und Geräte für die Bodenbearbeitung in der DDR. agrartechnik 29 (1979) H. 6, S. 241—243.
 [13] Hollmann, P.: Ökonomische Aspekte des Energieeinsatzes in der Pflanzenproduktion. Landbauforschung Völknerode (1979) Sonderheft 49, S. 56—67. A 3031

Betrachtungen zu optimalen Geschwindigkeiten beim Pflügen

Dr.-Ing. W.-D. Kalk, KDT/Dr. agr. O. Bosse, KDT
 Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

B, b	m	Arbeitsbreite des Pfluges
d_r	dm ³ /ha	flächenbezogener Kraftstoffverbrauch
B, F_x	dm ³ /h N	stündlicher Kraftstoffverbrauch Zugkraft
k	N/m ²	spezifischer Widerstand des Bodens gegen Deformierung
mg	N	Gewichtskraft des Pfluges
t	cm	Arbeitstiefe des Pfluges
v	m/s	Arbeitsgeschwindigkeit
W	ha/h	Flächenleistung
ϵ	N · s ² /m ⁴	Beiwert, abhängig von der Form des Streichblechs und von der Bodenart
ρ		Rollwiderstandsbeiwert
τ	N/cm ²	Schubfestigkeit

1. Problemstellung

Die Produktivitätssteigerung von Traktoren-Landmaschinen-Aggregaten für die Bodenbearbeitung steht im engen Zusammenhang mit der Steigerung der Motorleistung der Traktoren [1, 2]. Die Masse der Traktoren wächst nicht linear, sondern degressiv mit der Motorleistung [3], d. h. die Masse der Traktoren nimmt in geringerem Maß als die Motorleistung zu, und das Masse-Leistungs-Verhältnis wird kleiner. Bei optimalem Fahrwerkwirkungsgrad können auf trockener, fester Bodenoberfläche bei einem Schlupf von etwa 10 % nur 30 bis 40 % der Treibachslast als Zugkraft übertragen werden (Bild 1, $\alpha = 0,35$). Daraus folgt, daß mit zunehmender Motorleistung die Zugfähigkeit der Traktoren ebenfalls nur degressiv ansteigt. Um bei zunehmender Motorleistung die Traktoren mit gezogenen Geräten im optimalen Bereich des Fahrwerkwirkungsgrades auszulasten, sind demzufolge höhere Arbeitsgeschwindigkeiten erforderlich (Bild 2). Bei einer Nutzung von 35 % der Treibachslast als Zugkraft ergibt sich für die Auslastung der effektiven Motorleistung des Traktors ZT 303

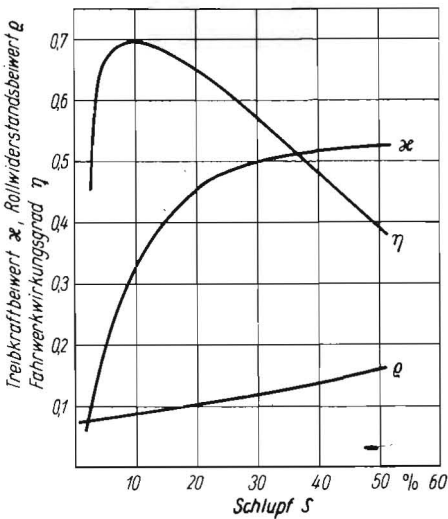


Bild 1. Betriebsverhalten eines Traktortreibradreifens auf trockener fester Bodenoberfläche (nach [4])

eine Arbeitsgeschwindigkeit von 5,4 km/h. Für den K-700 ohne Wasserfüllung der Reifen sind 7 km/h und für den T-150 K 7,8 km/h notwendig. Bei nassem, schmierenden Boden werden bei optimalem Fahrwerkwirkungsgrad nur 20 % der Treibachslast als Zugkraft übertragen [4]. Der ZT 303 müßte bei nasser Bodenoberfläche bereits 7,5 km/h fahren, um die installierte Motorleistung zu nutzen, beim K-700 wären 9,8 km/h erforderlich. Solche hohen Geschwindigkeiten sind jedoch wegen des quadratischen Einflusses der Geschwindigkeit auf den Zugkraftbedarf der Werkzeuge ungünstig [5]. Diese Aussage wird auch durch sowjetische Untersuchungen bestätigt, nach denen Arbeits-

geschwindigkeiten im Bereich von 9 bis 15 km/h beim Pflügen hinsichtlich des Zugkraftbedarfs und Kraftstoffverbrauchs nicht ökonomisch sind [6, 7]. Welche Arbeitsgeschwindigkeiten hinsichtlich der Flächenleistung und des Kraftstoffverbrauchs beim Pflügen optimal sind, kann anhand der Veröffentlichungen bisher nicht eindeutig beantwortet werden. Eine Aussage läßt sich finden, wenn mit einer experimentell-theoretischen Methode die Zugeigenschaften eines Traktors und der Zugkraftbedarf eines Geräts im Zusammenhang betrachtet werden.

2. Methode zur Bestimmung der Flächenleistung und des flächenbezogenen Kraftstoffverbrauchs

Der Zugkraftbedarf für einen Pflug beträgt nach Gorjatschkin [5]:

$$F_x = \rho (mg) + ktb + \epsilon t b v^2 \quad (1)$$

Durch Einführung der von der Arbeitsbreite b abhängigen Gewichtskraft des Pfluges (mg)/B anstelle der Gewichtskraft (mg) eines Pfluges mit der konstanten Arbeitsbreite B ergibt sich:

$$F_x = \rho (mg)b/B + t b (k + \epsilon v^2) \quad (2)$$

Der Klammerausdruck im zweiten Summanden kann nach Untersuchungen an der TU Dresden [8] für den Pflugkörper 30 Z ersetzt werden durch

$$k_n = 1,28 + 0,845\tau + 0,301 v^2 \quad (3)$$

Durch Einsetzen von Gl. (3) in Gl. (2) ergibt sich nach Umstellung eine Gleichung für die Arbeitsbreite:

$$b = \frac{F_x}{\rho (mg) / B + t (1,28 + 0,845\tau + 0,301 v^2)} \quad (4)$$

Die Flächenleistung beim Pflügen errechnet