

# Zu einigen Problemen von Theorie und Praxis der Bodenbearbeitung<sup>1)</sup>

Prof. Dr.-Ing. R. Soucek, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

Aus ackerbaulicher Sicht bleibt das mechanische Bearbeiten des Bodens eine wichtige Maßnahme zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit. Die agrotechnischen Forderungen bezüglich Arbeitsqualität und Arbeitsproduktivität der Bodenbearbeitungsmaßnahmen bedingen beim jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik einen bestimmten Aufwand bei Herstellung, Einsatz und Instandhaltung der technischen Arbeitsmittel. Obwohl bekannt ist, daß die gesamtwirtschaftlichen Möglichkeiten den jeweiligen Stand bestimmen, wird im weiteren nur der technische Prozeß der Bodenbearbeitung mit einigen Bezügen zu den agrotechnischen Anforderungen betrachtet.

Der technische Prozeß der Bodenbearbeitung wird im wesentlichen durch ein System von Antriebs- und Arbeitsmaschine realisiert, das bezüglich seiner Leistungsbilanz wie im Bild 1 dargestellt werden kann.

Auch die Wirkleistung enthält weitere Verlustanteile, so daß sich insgesamt beim Bodenbearbeiten sehr geringe Wirkungsgrade ergeben. Die Theorie der Bodenbearbeitung geht davon aus, einen gegebenen Boden mit geringstem Aufwand in den von der Pflanze geforderten und in den agrotechnischen Forderungen festgelegten Zustand zu überführen. Für den dazu notwendigen Aufwand sind die Verfahrenskosten repräsentativ, wobei aus volkswirtschaftlicher Sicht die Teilaufwendungen für Werkstoff, Energie und Arbeitszeit getrennt zu bewerten sind. Die allgemeine Zielstellung, die Kosten und alle spezifischen Aufwendungen zu senken, ist zunächst richtig, darf aber nicht zu unbegründeten Wunschvorstellungen führen, da bei einem technisch richtig ausgelegten System z. B. Einsparungen an Arbeitszeit meist mit einem höheren spezifischen Aufwand an Werkstoff und Energie erkauft werden müssen. Spürbare Verbesserungen werden deshalb nur durch ein System komplex zusammenwirkender Einzelmaßnahmen erreicht werden können (Tafel 1).

Es ist nicht möglich, in diesem Rahmen auf alle Einzelmaßnahmen nach Tafel 1 einzugehen. Um einige Zusammenhänge sichtbar zu machen, gehen die weiteren Betrachtungen davon aus, daß alle Aggregatierungen die jeweils geforderte Arbeitsqualität gewährleisten. Generell ist festzustellen, daß bei technisch richtig ausgelegten und eingesetzten Systemen die vorhandenen Reserven als relativ gering angesehen werden müssen und nur über den wissenschaftlich-technischen Fortschritt erschlossen werden können. Ein wesentlicher Beitrag muß über ackerbauliche und verfahrenstechnische Maßnahmen erbracht werden. Wenn solche nicht typisch landtechnischen Fragen, wie Verbesserung des Wirkungsgrades von mechanischen und hydraulischen Antrieben sowie Verminderung der Reibung zwischen Arbeits- und Stützorganen und dem Boden, außer Betracht bleiben, ergeben sich nach der Leistungsbilanz im Bild 1 drei Hauptgebiete für die technische Forschung und konstruktive Umsetzung bei der Entwicklung von Arbeitsmitteln für die Bodenbearbeitung.

Erstens:

Wirkpaarung Laufwerk—Boden mit den Teilaufgaben

- Verringerung des Rollwiderstands
- Verringerung des Bodendrucks
- Übertragung hoher Umfangskräfte.

Der Stand der Forschung und die Entwicklung sind gegenwärtig so weit, daß technisch wirkungsvolle Laufwerke bekannt sind, aber dazu erstens die ökonomische Begründung aus volkswirtschaftlicher Sicht fehlt und zweitens die Wirtschaftskraft eines Landes bereits der begrenzende Faktor für die Produktion und den Einsatz unterschiedlicher Laufwerktypen wird. Der Wechsel oder die Anpassung der Laufwerke an unterschiedliche Einsatzbedingungen führen auch beim Nutzer zu hohen Aufwendungen. Deshalb sind Forschungen zur Normierung der standortabhängigen Befahrbarkeitsgrenze mobiler Maschinen mit bekannten Laufwerken mit Schlußfolgerungen für Zeitspannen des Einsatzes bis hin zu Aussagen über den notwendigen Maschinenbestand von großer Bedeutung.

Zweitens:

Kräftegleichgewicht an Traktor und Maschine vor allem bei ihrer Aggregatierung. Hierbei sind die Masseverteilung und das Gleichgewicht der äußeren Kräfte an der Einzelmaschine oft schon problematisch. Große Reserven liegen teilweise noch bei der Aggregatierung, da Traktoren meist unabhängig von Geräten entwickelt werden, deren Zuordnung aber z. B. durch den Dreipunktbau vorgegeben ist. Oft sind die Vertikal- und Seitenkräfte an nur der Führung dienenden Stützrädern zu groß und verursachen hohe Rollwiderstand- und Schlupfverluste. Die einheitliche Entwicklung von Zugmittel und Maschine, der Einsatz von Regeleinrichtungen zur Begünstigung der Achslastverteilung und die richtige Einstellung der Maschinen im Einsatz sind wichtige Voraussetzungen für Energieeinsparung und hohe Arbeitsqualität.

Drittens:

Wirkpaarung Arbeitsorgan—Boden als Kern-

problem für die Realisierung der Zielstellung beim Bodenbearbeiten

Hierbei kann man von folgenden Feststellungen ausgehen:

— Aufgrund der Vielfalt der Bodenarten und -zustände sowie des angestrebten Arbeitsergebnisses ist auch weiterhin eine bestimmte Anzahl unterschiedlicher Arbeitsorgane und Maschinen erforderlich. Eine solche Zielstellung, die Vielfalt der Werkzeuge durch eine größere Anzahl variabler Konstruktionsparameter mit an die jeweiligen Einsatzbedingungen angepaßten Einstellwerten einzuschränken, ist technisch denkbar, gegenwärtig aber wegen der ungenügend geklärten Zusammenhänge zwischen Konstruktions-, Betriebs- und Bodenparametern noch nicht oder nur mit zu hohem Konstruktions- und Energieaufwand realisierbar. Neue, nicht mechanische Verfahren der Bodenzerkleinerung, wie z. B. Anwendung von Sprengstoffen, elektrische Stoßladung oder künstliches Frosten, sind bisher kaum über den Rahmen des Prinzipversuchs getreten.

— Angetriebene Arbeitsorgane haben gegenüber gezogenen einen günstigeren Wirkungsgrad der Energieübertragung zum Arbeitsorgan, aber der Wirkungsgrad der Energieumsetzung am Werkzeug beim Einwirken auf den Boden ist ungünstiger [1]. Zum Problem des Einsatzes passiver oder aktiver Arbeitsorgane werden seit langem Untersuchungen durchgeführt und widersprüchliche Ergebnisse veröffentlicht. Der alleinige Nachweis der Einsparung von Zugenergie ist noch kein Beweis für den Vorteil angetriebener Organe, wenn nicht gleichzeitig der Energieaufwand für den Dreh- oder Schwingantrieb und der Gesamtaufwand, bezogen auf das Arbeitsergebnis, angegeben werden. Mit ausreichender Sicherheit kann z. Z. nur der Energieaufwand

Tafel 1. Maßnahmen zur Erhöhung der Effektivität der Bodenbearbeitung

ackerbauliche Maßnahmen	verfahrenstechnische Maßnahmen	technische Maßnahmen
Abstimmung aller Maßnahmen der Bodenbearbeitung, Düngung, Chemisierung und Melioration agronomische Disziplin bei Einhaltung z. B. der — Fruchtfolge — Humusversorgung — Termine und Zeitspanne — Befahrbarkeitsgrenze — Verteilung der Ernterückstände	Anwendung von wirtschaftlichen, den Boden schonenden Verfahren — Einsparung von Arbeitsgängen — Vermeidung von Spuren und Spurlockerung — Kombination — Kopplung — Maschineneinstellung — Schlaggestaltung	Entwicklung leistungsgesteigerter Arbeitsmittel Entwicklung bodenschonender Arbeitsmittel für die gesamte Pflanzenproduktion Entwicklung von Arbeitsorganen mit hoher Wirksamkeit für die zielgerichtete Veränderung des Bodens Senkung der Energieverluste

Traktor		Maschine
Antriebsleistung	Zapfwellenleistung	Reib- und Rollwiderstands-verlustleistung Wirkleistung (Schneiden, Deformieren, Zerkleinern, Beschleunigen, Reiben)
	Zugleistung	
	Gefriebever-lustleistung Laufwerk-verlustleistung	

Bild 2. Leistungsbilanz von Traktor-Maschine-Kombinationen zur Bodenbearbeitung

gemessen werden, während die Bestimmungsmethoden und Meßverfahren für das Arbeitsergebnis selbst für den Forschungsbetrieb noch unzureichend entwickelt sind. Deshalb ist die Bewertung unterschiedlicher Geräte oft noch lückenhaft und subjektiv. Angetriebene Arbeitsorgane setzen sich zwar zögernd, aber doch zunehmend durch. Ihre Vorteile liegen nicht eindeutig im geringeren spezifischen Energieverbrauch, sondern im Zusammenwirken mehrerer Faktoren, wie z. B. kleiner Bauraum, Kombierfähigkeit mit anderen Arbeitsorganen, und in der Einsparung von Arbeitsgängen. Als Beispiele dafür sind die Bodenfräse und die Kreiselegge anzusehen. Schwingend angetriebene Lockerungswerkzeuge sind ebenfalls an zahlreichen Stellen entwickelt worden, konnten sich aber bisher wegen des zu hohen Konstruktionsaufwands mit Ausnahme der Rütteleger nicht durchsetzen. Die oft gestellte Frage, warum das älteste landwirtschaftliche Gerät, der Pflug, als Arbeitsprinzip noch nicht abgelöst ist, kann so beantwortet werden, daß bei einer ausgereiften Lösung für die Nutzung der Naturgesetze, in diesem Falle der Geometrie, der Strömungsmechanik und der Stoffgesetze, ein besseres Prinzip nur durch die bessere Nutzung bekannter oder durch neu erkannte Gesetze gefunden werden kann. Wenn angetriebene Arbeitsorgane echte Fortschritte bringen sollen, so muß erreicht werden, daß die zugeführte Energie mit einem höheren Wirkungsgrad für das angestrebte Arbeitsergebnis genutzt wird. In diesem Zusammenhang spielen bodenmechanische Betrachtungen eine wesentliche Rolle. Allerdings darf das Problem nicht nur auf Spannungs-, Verformungs- und Bruchzustände reduziert werden, weil Beschleunigung und Reibung den Energieauf-

wand erheblich, aber das Arbeitsergebnis nur unwesentlich beeinflussen.

— Die Theorien und Hypothesen der Bruchmechanik für die Zerkleinerung (Lockerung) des Bodens beschreiben bisher vorwiegend nur Einzelvorgänge an einer Bruchstelle und nicht die Vorgänge im gesamten beanspruchten Volumen. Bisher wurde der Bruchvorgang im Boden vorwiegend mit der zweiachsigen Schubspannungshypothese erklärt, die für Werkzeuge mit zunehmendem Keilwinkel, vor allem in Bereichen über 40°, zunehmende Bedeutung hat [2]. So konnte nachgewiesen werden, daß die Schubfestigkeit des Bodens geeignet ist, als alleiniger Bodenparameter den spezifischen Bodenwiderstand eines Pflugkörpers zu kennzeichnen [3]. Die Anwendung der Methode der finiten Elemente kann hier zu besseren Ergebnissen zunächst in der Forschung führen. Für die Praxis wird diese Methode erst Bedeutung erlangen, wenn es gelingt, die Stoffgesetze des Bodens in größeren Gültigkeitsbereichen zu beschreiben und möglichst auch dreidimensionale Betrachtungen durchzuführen [4].

Mathematische Beziehungen zwischen Boden-, Konstruktions- und Betriebsparametern bestehen bisher nur für energetische Zusammenhänge. Über die Arbeitsqualität lassen sich nur qualitative Aussagen machen. Die bisherigen bodenmechanischen Erkenntnisse lassen für die Werkzeugentwicklung den Schluß zu, den Bruch bei kleinen Belastungsgeschwindigkeiten und in einem kleinen Volumen bei geometrisch definierter Verformung durchzuführen, um Verluste durch Reibung, Verschiebung und Beschleunigung zu vermeiden. Hypothesen [5], daß durch Zug- und Biegebeanspruchung des Bodens gegenüber Schub wesentliche

Energieeinsparungen möglich sind, beziehen sich bisher ebenfalls nur auf Einzelbruchstellen und sind technisch nur schwer oder durch eine Reihe von Kompromissen in einer Konstruktion realisierbar.

### Zusammenfassung

Im Beitrag werden ausgehend von der Gesamtenergiebilanz der Bodenbearbeitungsaggregate die Möglichkeiten für die Verbesserung der Effektivität beim Bodenbearbeiten dargestellt. Auf einige wichtige Teilgebiete, wie Fahrwerk—Boden, Kräftegleichgewicht zwischen Traktor und Gerät und besonders auf die Vorgänge im Boden wird näher eingegangen.

### Literatur

- [1] Stropfel, A.; Bunk, A.: Ein Beitrag zum Leistungs- und Energiebedarf gezogener und angetriebener Bodenbearbeitungsgeräte. Grundlagen der Landtechnik (1978) H. 6, S. 214—218.
- [2] Bernhardt, H.: Schnittprozeß im Boden. Technische Universität Dresden, Sektion 16/1, Jahresbericht 1978 (unveröffentlicht).
- [3] Ganzuch, U.; Soucek, R.; Bernhardt, G.: Experimentell-theoretische Methode zum Bestimmen des spezifischen Bodenwiderstands von Pflugkörpern bei beliebigem Bodenzustand. agrartechnik 28 (1978) H. 9, S. 388—390.
- [4] Jong, R. N.; Hanna, A. W.: Finite element analysis of plane soil cutting (Finite-Elemente-Analyse beim ebenen Bodenschnitt). Journal of Terramechanics 14 (1977) H. 3, S. 103—125.
- [5] Vomocil, J. A.; Chancellor, W. J.: Energy Requirements for Breaking Soil Samples (Energiebedarf für das Brechen von Bodenproben). Transaction of the ASAE (1969) S. 375—383, 388. A 2588

1) Überarbeitete Fassung eines Vortrags anlässlich der Mechanisierungstagung an der Ingenieurhochschule Berlin—Wartenberg vom 6. bis 8. November 1979

## Untersuchungen über die stochastischen Änderungen der Siebfähigkeit des Bodens

Dr.-Ing. T. Uhlig, KDT/Dipl.-Ing. W. Dreessen, KDT/Ing. K. Ziems, KDT  
 Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR  
 Dr. agr. F. Roch, Agraringenieurschule Haldensleben, Bezirk Magdeburg

### Verwendete Formelzeichen

a	m	Meßabstand der Bodenproben
aT	M-%	abschlammbare Teilchen aus Feinschluff und Ton einer Korngröße $\leq 6 \mu\text{m}$
F		Prüfwerte der F-Verteilung
F <sub>i</sub>		Tabellenwerte der F-Verteilung
m		Stichprobenumfang aus der Grundgesamtheit y
n		Stichprobenumfang aus der Grundgesamtheit x
R <sub>x</sub> ( $\tau$ )		Autokorrelationsfunktion
r <sub>x</sub> ( $\tau$ )		normierte Autokorrelationsfunktion
s <sub>x,y</sub>		Standardabweichung der Grundgesamtheiten x und y
s <sub>i</sub>		gewogene Standardabweichung
S <sub>x</sub> ( $\omega$ )		Spektralichte
S <sub>x,n</sub> ( $\omega\mu$ )		normierte Spektralichte
T		Prüfwerte der T-Verteilung
T <sub>n</sub>		Tabellenwerte der T-Verteilung
T <sub>A</sub>	s	Abtastzeit
T <sub>p</sub>	s	zeitliche Pause zwischen Verstellungen von Regelsystemen
t	s	Zeit des Teilintervalls der stochastischen Funktion

VG		Vertrauensgrenze
v <sub>F</sub>	m/s	Fahrgeschwindigkeit
x <sub>i</sub> , y <sub>i</sub>		Einzelwerte aus den Grundgesamtheiten x, y
$\bar{x}$ , $\bar{y}$		Mittelwerte der Grundgesamtheiten x, y
$\eta_s$	%	Siebwirkungsgrad
$\lambda$	m	Wellenlänge
$\mu$		konstante Differenz der Korrelationsfunktion und der Spektralichte (obere Grenze M)
$\nu$		konstante Differenz der stochastischen Funktion (obere Grenze N)
$\tau$	s	Zeitverschiebung der Korrelationsfunktion
$\omega$	rad/s	Kreisfrequenz
$\omega_{1,2}$	rad/s	untere bzw. obere Grenzfrequenz

### 1. Problemstellung

Die Siebfähigkeit des Bodens hängt von mehreren, abhängig und unabhängig voneinander wirkenden Faktoren ab, wie von der Textur, der Struktur und dem Wassergehalt, und weist, verteilt über die gesamte Bodenfläche, im Be-

arbeitungshorizont entsprechende Änderungen auf. Diese Änderungen sind nicht determiniert. Die stochastischen Änderungen der Siebfähigkeit des Bodens beeinflussen den Durchsatz und die Arbeitsqualität von Siebeinrichtungen der Pflanzenproduktion (z. B. Siebeinrichtung in Kartoffelerntemaschinen) auch dann, wenn andere äußere Bedingungen als konstant angenommen werden können. Parameter der Arbeitsqualität sind z. B. der im Überlauf der Siebeinrichtung verbleibende Anteil siebbarer Bestandteile und die auf das Erntegut ausgeübten Belastungen bzw. Beschädigungen. Die Verstellung der Siebeinrichtung während der Arbeit nach der jeweils vorherrschenden Siebfähigkeit des Bodens durch ein Regelungssystem gewährleistet im Gegensatz zu einer konstanten Einstellung nach den durchschnittlichen Siebbedingungen des gesamten Feldes einen maximalen Durchsatz bei der erforderlichen Reinheit und den zulässigen minimalen mechanischen Belastungen bzw. Beschädigungen des Ernteguts. Damit verbun-