

### 1. Einführung

Die Forderung nach Steigerung der Arbeitsproduktivität in der landwirtschaftlichen Produktion, insbesondere bei der Bodenbearbeitung, führte zu einem Anstieg der Zugleistung von Traktoren. Diese wird einem Grenzwert zustreben, da es nicht möglich sein wird, die Masse der Traktoren unbegrenzt zu vergrößern, um die hohe Motorleistung als Zugleistung auf den Boden zu übertragen.

Das heißt andererseits, daß den Arbeitsgeräten der Bodenbearbeitung, deren Antriebsleistung ausschließlich als Zugleistung aufzubringen ist, wie z. B. dem Pflug, hinsichtlich der Arbeitsproduktivität Grenzen gesetzt sind. Unter diesem Gesichtspunkt wird angenommen, daß ihre Bedeutung im Prognosezeitraum abnehmen wird. Gleichzeitig werden Bodenbearbeitungsgeräte und Maschinen, deren Antriebsleistung nicht durch die Traktortriebräder auf den Boden übertragen werden muß, z. B. mit aktiven Arbeitsorganen, an Bedeutung gewinnen.

Zur Energieübertragung werden gegenwärtig hauptsächlich die Gelenkwelle und der Ölstrom genutzt. Die weitere Entwicklung wird die aktiven Arbeitsorgane zu völlig neuen Wirkprinzipien führen, wobei auch eine Veränderung der Energieübertragungsmittel zu erwarten ist.

Es sind solche Bodenbearbeitungswerkzeuge zu schaffen, die der genannten Entwicklungstendenz entsprechen. Die folgenden Ausführungen sollen dazu dienen, einige Möglichkeiten zur Methodik der Werkzeugentwicklung aufzuzeigen.

### 2. Methodik der Werkzeugentwicklung

Bei der Erarbeitung der Methodik wird von der heuristischen Betrachtungsweise des Problems ausgegangen.

Bild 1 zeigt ein heuristisches Leitblatt zur Lösung der gestellten Aufgabe.

Zu Beginn der Bearbeitung liegt die Aufgabenstellung vor, die unter den gegebenen „Umständen“ über die „Wege zum Ziel“ zu lösen ist. Die „Wege zum Ziel“ werden von dem Stand der landtechnischen Forschung beeinflusst. Am Ende der Bearbeitungszeit steht die gelöste Aufgabe mit methodischen Erkenntnissen.

#### 2.1. Aufgabenstellung und Ziel

Voraussetzung für eine erfolgreiche Lösung des Problems ist eine klar formulierte Aufgabenstellung mit exakter Angabe des Ziels. Es ist notwendig, das Ziel so allgemein zu formulieren, daß keine Lösungsprinzipien verloren gehen, aber wiederum so konkret, daß die von der Landwirtschaft geforderten Leistungsparameter erreicht werden. Hiermit soll angedeutet werden, daß man sich bei der Lösung des Problems nicht nur auf mechanische Beanspruchung des Bodens in üblicher Form beschränken kann, wie z. B. Grubber-, Fräs- und wendende Werkzeuge, sondern grundsätzlich die entsprechend dem Stand von Naturwissenschaft und Technik möglichen physikalischen, chemischen und biologischen Effekte in die Betrachtung mit einbeziehen muß. Dabei ist darauf zu achten, daß die Forschungskapazität sinnvoll ein-

gesetzt werden muß. Ziel der Forschung soll die Entwicklung von Bodenbearbeitungsorganen sein, die den Boden nach Möglichkeit in einem Arbeitsgang saarfertig hinterlassen, wobei eine Anpassungsfähigkeit des Organs an die unterschiedlichen Bodenbedingungen möglich sein muß. Die notwendige Bearbeitungsenergie soll nicht über die Zugkraft auf die Werkzeuge übertragen werden.

Die Fahrgeschwindigkeit während der Bearbeitung ergibt sich aus der notwendigen Steigerung der Arbeitsproduktivität in Übereinstimmung mit der möglichen Geschwindigkeit, bedingt durch das gewählte Arbeitsprinzip.

Bisher wurde der Methodik zur Lösung einer solchen Aufgabe nicht die erforderliche Bedeutung zugemessen. Jeder Bearbeiter löste die Aufgabe entsprechend seinen Erfahrungen. Dabei führte er jedoch einen Teil von gedanklichen Arbeiten durch, die von anderen Mitarbeitern vorher oder parallel an anderen Aufgaben mit gleichem methodischen Inhalt durchdacht wurden. Derartige Erscheinungen führen zu einer unrationellen Arbeitsweise. Deshalb ist es notwendig, neben der eigentlichen Lösung der Aufgabe alle methodischen Erkenntnisse festzuhalten und zu ihrer weiteren Nutzung bereitzustellen.

#### 2.2. Bedingungen zur Lösung der Aufgabe (Umstände)

Die Umstände, unter denen eine Aufgabe zu lösen ist, haben entscheidenden Einfluß. Diese sind auch von den Wegen zum Ziel abhängig. Hierunter fallen die vorhandene Forschungskapazität, entsprechende Laboreinrichtungen, vertragliche Beziehungen zu anderen Institutionen usw. Um die vorhandenen Bedingungen optimal zu nutzen, ist die Wissenschaftsorganisation zielgerichtet anzuwenden.

#### 2.3. Stand der landtechnischen Forschung (Speicher)

Studiert man den Stand der landtechnischen Forschung, so ergibt sich, daß es mit den z. Z. vorhandenen theoretischen Grundlagen nur teilweise möglich ist, eine Werkzeugentwicklung durchzuführen.

Im Sinn der Heuristik wird ein „Schichtübergang“ notwendig, d. h., es müssen erst die Grundlagen zur Lösung der gestellten Aufgabe geschaffen werden. Die hier notwendigen Untersuchungen sind in erster Linie solche, die sich mit dem Boden als Werkstoff befassen. Dazu gehört die Entwicklung einer bodenmechanischen Meßtechnik, die es gestattet, reproduzierbare Meßergebnisse zu erhalten. Weiterhin sind entsprechende Spannungs-Verformungsuntersuchungen unter Berücksichtigung der Belastungsgeschwindigkeit durchzuführen.

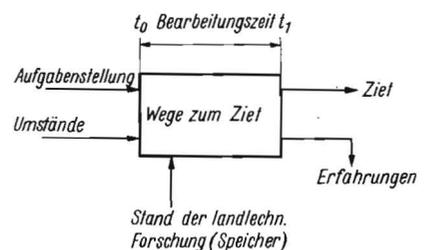


Bild 1  
Heuristisches  
Leitblatt

\* Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik (Direktor: Prof. Dr. agr. habil. R. Thurm),

<sup>1</sup> Vortrag zur Weiterbildungstagung für Absolventen der Technischen Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

Auf der Grundlage der gegenwärtigen Erkenntnisse in der landtechnischen Forschung sind für die folgende Generation der Bodenbearbeitungsgeräte bzw. -maschinen noch die mechanischen Werkzeuge bestimmend. Aus diesem Grund erfolgt die weitere Betrachtung der Werkzeugentwicklung nur anhand mechanischer Wirkprinzipien. Unabhängig davon sind auch bereits jetzt völlig neue Prinzipien der Bearbeitung, wie sie bereits genannt wurden, zu konzipieren und zu untersuchen.

#### 2.4. Wege zum Ziel

Wie aus Bild 1 ersichtlich ist, werden die Wege zum Ziel vom Stand der landtechnischen Forschung bestimmt. Es sind drei Wege gangbar:

- empirische Entwicklung von Werkzeugen
- exakte Berechnung der Werkzeuge aufgrund des Verhaltens des Werkstoffs Boden unter der Einwirkung von Kräften
- systematische Untersuchung von Werkzeugelementen.

Der erste genannte Weg sollte der Vergangenheit angehören und wird hier nicht weiter behandelt.

##### 2.4.1. Exakte Berechnung der Werkzeuge

Der zweite Vorschlag stellt das Ziel der landtechnischen Bodenmechanik dar. Zur Zeit ist er nur bedingt, für die meisten Fälle jedoch überhaupt nicht gangbar. Voraussetzung sind ausreichende Kenntnisse über das Verhalten des Bodens beim Einwirken von Kräften unter statischen und dynamischen Bedingungen. Hierüber liegen nur wenige Erkenntnisse vor. Die Ergebnisse der meisten Veröffentlichungen sind sehr schwer reproduzierbar und zur direkten Beschreibung der Verhaltensweise des Bodens nicht verwendbar. Eine wesentliche Ursache ist in der unzureichenden Bodenmeßtechnik zu suchen. Es gibt z. Z. noch kein Verfahren, um z. B. die Kohäsion und die innere Reibung des Bodens exakt vergleichbar für die landtechnische Bodenmechanik zu bestimmen. Zum Beispiel genügt das Ringschergerät in dieser Hinsicht nicht den Anforderungen. Noch weniger geklärt ist die Messung von dynamischen Kennwerten des Bodens.

Erst wenn es die Bodenmeßtechnik gestattet, eindeutige Bodenparameter zu messen, wird es möglich sein, exakte rheologische Modelle aufzustellen, die dann reproduzierbar anzuwenden sind.

Ein ebenfalls noch offenes Problem, um den 2. Weg der Werkzeugentwicklung zu realisieren, ist die Bestimmung der Bruchspannung im Boden unter den Bedingungen des dreiaxialen Spannungszustands. Diese sehr komplizierte Aufgabe ist gegenwärtig nur näherungsweise mit der Theorie der „Finiten Elemente“ mit hohem Rechenaufwand lösbar /1/. Häufig umgeht man den hohen Rechenaufwand, indem man ein Bruchkörpermodell vorgibt und an diesem ein Kräftegleichgewicht aufstellt. Diese Methode ist unexakt, die experimentellen Ergebnisse liegen weit ab von den theoretisch ermittelten /2/ /3/.

Erst nach brauchbarer Lösung dieser offenen Probleme wird es möglich sein, einen mathematischen Zusammenhang zwischen Werkzeugform und Bruchspannung zu finden. Es kann diejenige Form bei der geforderten Geschwindigkeit ausgewählt werden, die die geringste Energie für das optimale Arbeitsergebnis benötigt. Das heißt, es ist eine Optimierung des Werkzeugs nach dem Bearbeitungserfolg vorzunehmen. Unter Bearbeitungserfolg ist das Verhältnis zwischen dem Arbeitsergebnis in Form einer Meßzahl und dem dazu notwendigen Energieaufwand zu verstehen. Ist das Ziel der Bearbeitung die Zerkleinerung des Bodens, so spricht man vom Zerkleinerungserfolg, wie ihn Regge /4/ definiert hat.

An diese theoretische Phase schließt sich die praktische Erprobung dieser Werkzeuge an, die allerdings im Umfang

um ein Vielfaches geringer sein wird als bei den anderen vorgeschlagenen „Wegen zum Ziel“.

Bisher sind nur wenige Arbeiten bekannt, die eine analytische Bestimmung der Werkzeugform zum Inhalt haben. Vasilenko /5/ und Korotkevic /6/ bestimmen die energetisch günstigste Form von Grubberwerkzeugstielen und Messerschneiden. Sie verwenden jedoch einen spezifischen Schneidendruck in ihrer Rechnung, der durch Experimente bestimmt werden muß.

O'Callaghan berechnet die Form eines Pflugstreichblechs mit einem analytischen Verfahren /7/. Er ermittelt die optimale Form von Pflugkörpern für höhere Arbeitsgeschwindigkeiten auf der Grundlage von Ritzkurven, wobei nur die Dichte, die Adhäsion und der Reibwinkel zwischen Boden und Stahl in sein Berechnungsmodell eingehen. Der Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit auf die Änderung der Bruchspannung wurde vernachlässigt.

##### 2.4.2. Systematische Untersuchung der Werkzeugelemente

Dieser dritte Weg ist der z. Z. gangbarste.

Durch systematische experimentelle Untersuchung von Werkzeugelementen wird versucht, einen Einfluß der Werkzeugform, die z. B. durch Schnittwinkel, Scharschneidenwinkel, Breite usw. charakterisiert wird, auf den Bearbeitungserfolg zu bestimmen. Solche Untersuchungen werden sinnvoll unter idealisierten Bedingungen nacheinander bei verschiedenen Abstraktionsstufen mit dem Ziel durchgeführt, Konstruktions-, Betriebs- sowie Bodenparameter systematisch zu variieren.

Die Experimente sollten bei hoher Abstraktionsstufe begonnen und schrittweise den Praxisbedingungen angeglichen werden. Dabei sind die Erkenntnisse der Untersuchung einer Abstraktionsstufe jeweils auf die folgende zu übertragen. Die Anzahl der unterschiedlichen Abstraktionsstufen ist abhängig von dem zu bearbeitenden Problem.

Die Verwendung von Modellböden bei der experimentellen Untersuchung von Bodenbearbeitungswerkzeugen bzw. -elementen stellt bereits eine Abstraktionsstufe dar. Ihre Auswahl ist sehr schwierig, da sie einerseits die Bedingungen der Praxis widerspiegeln und andererseits mit ihnen homogene, sehr gut reproduzierbare Bodenzustände erreichbar sein sollen.

Eine Maßstabsveränderung der Werkzeuge ist nicht sinnvoll, da für solche Fälle die Modellbeziehungen im Boden sehr kompliziert und teilweise noch nicht geklärt sind /8/.

Grundsätzlich sind Zerkleinerungswerkzeuge u. a. nach dem Zerkleinerungserfolg zu bewerten. Dies ist unter Modellbedingungen nicht ohne Schwierigkeiten möglich. Verwendet man Sand mit Äthylenglykol versetzt als Modellboden, um die Feuchtigkeit im Boden konstant zu halten, so wird dieser keine Aggregate bilden. Es ist dann nicht möglich, die Zerkleinerung meßtechnisch, z. B. durch die Siebanalyse, zu erfassen.

Bei lehmigen Modellböden, die nicht mit Äthylenglykol versetzt wurden, ist es möglich, durch geeignete Behandlung des Bodens stabile Aggregate nach der Bearbeitung zu erhalten. Dazu ist es notwendig, den Boden vor der Durchführung der Experimente gleichmäßig aufzulockern, anzufeuchten, zu verdichten und anschließend langsam austrocknen zu lassen. Solche Maßnahmen erhöhen aber die Versuchszeit auf ein Vielfaches.

Aus diesen Überlegungen heraus leitet sich die Empfehlung ab, die Untersuchungen hinsichtlich des Zerkleinerungserfolgs unter Feldbedingungen durchzuführen, wenn es nicht gelingt, den Modellboden in vertretbaren Zeiten so zu präparieren, daß er stabile Aggregate bildet.

Aufgrund der Meßergebnisse wird dann das eigentliche Werkzeug aus seinen untersuchten Elementen konstruiert und unter Modell- und Praxisbedingungen eingesetzt. In-

folge der Meßergebnisse von Feldversuchen in Verbindung mit den theoretischen Grundlagen werden bei noch unbefriedigender Arbeit Korrekturen am Werkzeug vorgenommen.

### 3. Zusammenfassung

Um eine tiefere wissenschaftliche Durchdringung der Werkzeugentwicklung für die Bodenbearbeitung zu gewährleisten, sind folgende Maßnahmen notwendig:

- Ermittlung von Bodenkennwerten, die eindeutig den Bodenzustand und sein Verhalten charakterisieren
- Entwicklung von geeigneten Meßmethoden und -verfahren zur Bestimmung reproduzierbarer Bodenkennwerte
- Aufstellen von rheologischen Modellen
- theoretisches Erfassen der Spannungseinleitung in einen durch ein vorgegebenes rheologisches Modell charakterisierten Boden als Funktion der Form der Druckübertragungsfläche.

Es ist zu bemerken, daß die ersten drei Maßnahmen nur im Komplex in ihrer gegenseitigen Beeinflussung zu betrachten sind.

Dozent Dr.-Ing. K. Plötner\*

### Literatur

- 1/ Giriya Vallabhan: Finite Element Method for Problems in Soil Mechanics. Soil Mechanics and Foundation Division (1968) H. 3, S. 473
- 2/ Kezdi, A.: Handbuch der Bodenmechanik. Bd. 1. 2. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen, Budapest: Verlag der Ung. Akademie der Wissenschaften 1968.
- 3/ Plötner, K.: Untersuchungen über den Bodenwiderstand und den Bodenaufbruch beim Einsatz von Lockerungswerkzeugen. Dissertation TU Dresden 1970 (unveröff.)
- 4/ Regge, H.: Zerkleinerungserfolg als Bearbeitungsmaßstab für Bodenbearbeitungsgeräte und -maschinen. Deutsche Agrartechnik 15 (1965) H. 8, S. 376-378
- 5/ Vasilenko, P. M.: O Vlijanii formy bokovogo profilija rezuzičich rabočich organov i skorosti dviženija na ich tjažovoe soprotivlenie (Über den Einfluß des Querschnittprofils von Bodenbearbeitungswerkzeugen und der Arbeitsgeschwindigkeit auf den Zugwiderstand. Traktory i sel'chošmašy 35 (1965) H. 8, S. 25-27
- 6/ Korotkevic, P. S.: O vlijanii formy lezvia noža na soprotivlenie podrezanija plasta pri obrabotke počvy. (Über den Einfluß der Form der Messerschneide auf den Schnittwiderstand bei der Bodenbearbeitung. Mechanizacija i elektrifikacija sel'skogo chozajstva 21 (1967) H. 8, S. 13-17
- 7/ O'Callaghan: Entwicklung eines Pflugstreicheles mit einem analytischen Verfahren. Landtechnische Forschung 15 (1965) H. 4, S. 112-116
- 8/ Baganz: Untersuchungen über Modellbeziehungen bei Bodenbearbeitungswerkzeugen; Deutsche Agrartechnik 15 (1965) H. 12, S. 555; Deutsche Agrartechnik 18 (1968) H. 3, S. 111 A 8744

## Eine elektrische 5-Komponenten-Meßeinrichtung

### 1. Problemstellung

Beim Be- und Verarbeiten landtechnischer Stoffe (wie z. B. Boden, Halmgut, Hackfrüchte) werden auf die Arbeitselemente der Landmaschinen und Anlagen Belastungen übertragen, die vorrangig räumlich wirkende Kraftsysteme darstellen, und beim gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse experimentell bestimmt werden müssen. Räumlich wirkende Kraftsysteme sind durch 3 Kraftkomponenten in Richtung der gewählten Koordinatenachsen und 3 Drehmomente um die Koordinatenachsen gekennzeichnet. Sie können mit einer 6-Komponenten-Meßeinrichtung gemessen werden.

Für die Untersuchungen /1/ war eine 5-Komponenten-Meßeinrichtung, nachstehend allgemein mit Maßeinrichtung bezeichnet, ausreichend, die resultierende Kraft nach Größe, Richtung und Lage eindeutig zu bestimmen. Die folgenden Betrachtungen über die Maßeinrichtung stellen eine Kurzfassung des vom Verfasser in der Wissenschaftlichen Zeitschrift der Universität Rostock veröffentlichten Beitrages: „Zur Ermittlung räumlich wirkender Kräfte in der Landtechnik“ dar /2/.

### 2. Anforderungen an die Maßeinrichtung

Unter Berücksichtigung des Ziels der Meßaufgabe werden an die Maßeinrichtung folgende Anforderungen gestellt /2/ /3/ /4/ /5/:

- kompakte und robuste Bauweise bei guter Anpassung an das Meßobjekt
- geringe Anfälligkeit gegen Feuchtigkeit, Wärme und mechanische Erschütterungen, d. h. vielseitiges Verwenden unter Labor- und Praxisbedingungen
- hohe Empfindlichkeit und gleichzeitig große Steifigkeit bei Proportionalität zwischen Belastung und Meßwertanzeige und weitgehender Hysteresefreiheit
- schnelles, exaktes statisches Eichen und dynamisches Untersuchen, möglichst ohne Demontage

- Messen der einzelnen Kraftkomponenten unabhängig von ihrer Lage und eindeutiges Trennen und Entkoppeln der Komponenten, die für das Bestimmen von Größe, Richtung und Lage der Resultierenden erforderlich sind, d. h. die zusätzlich wirkenden Kräfte und Momente in räumlicher Anordnung dürfen keinen unvermeidbaren Einfluß auf das Meßergebnis ausüben
- Messen dynamischer Vorgänge mit zeitlichem Verlauf der Meßgrößen und dynamische Abstimmung der Maßeinrichtung, wobei eine möglichst optimale Dämpfung in Resonanz (häufig Zusatzdämpfung erforderlich) und je nach dem zu erfassenden Frequenzbereich eine entsprechend hohe Eigenfrequenz des Gesamtsystems (Meßeinrichtung und Übertragungselemente) anzustreben ist
- einfaches Handhaben bei vielseitiger Verwendung und geringem gerätetechnischem Aufwand.

### 3. Bauelemente und Wirkungsweise der Maßeinrichtung

Nach Sadovy und Scheuber /4/, Büttner und Sydow /5/ und nach Siemens, Weber und Thornburn /6/ erfüllen ringförmige Meßfedern mit Dehnungsmeißstreifen als Meßgeber die gestellten Anforderungen.

Die Vorteile dieser Meßgeber sind:

- Relativ große Steifigkeit und große Sicherheit gegen Knickung bei gleichzeitiger günstiger Meßempfindlichkeit
- eindeutiges Entkoppeln senkrecht zueinander gerichteter Kraftkomponenten
- gutes Anpassen an die Originalausführung der Kraftübertragungselemente
- doppelte Empfindlichkeit in tangentialer Richtung gegenüber der radialen Richtung
- Anwenden von Dehnungsmeißstreifen als Meßwandler.

Die Grundlagen für diese Meßgeber folgen aus der Elastizitätstheorie dünner, kreisförmiger Ringe /7/. Sie lassen sich aus dem Momentenverlauf in den Ringen bei getrennter radialer und tangentialer Belastung ableiten.

\* Universität Rostock, Sektion Landtechnik (Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. Chr. Eichler)