

# Untersuchungen zum Energieaufwand bei der Bodenzerkleinerung

Prof. Dr. sc. techn. R. Soucek, KDT/Dr.-Ing. S. Anisch, KDT  
 Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik  
 Dr.-Ing. Steffi Wolf, KDT, VEB Bodenbearbeitungsgeräte „Karl Marx“ Leipzig

## Verwendete Formelzeichen

a	mm	Kantenlänge des würfelförmigen Modellkörpers
b	mm	Breite des Werkzeugelements
b <sub>i</sub>	mm	Abstand zwischen Eintritt und Austritt des Werkzeugelements i an der Bodenoberfläche (i = 1, 2)
d	mm	Durchmesser des Schneiddrahtes
e	mm	Abstand zwischen den Werkzeugelementen
F <sub>H</sub>	N	Horizontalkraft
F <sub>h</sub>	N	horizontale Kraftkomponente
F <sub>N</sub>	N	Normalkraft
F <sub>T</sub>	N	Tangentialkraft
F <sub>x</sub>	N	Kraft in Bewegungsrichtung
i		Anzahl der Werkzeugelemente
l	mm	Bissenlänge
l <sub>i</sub>	mm	freie Länge des Modellkörpers (i = 1, 2, 3)
m	kg	Masse des Belastungskörpers
R	mm	Radius
t <sub>A</sub>	mm	Arbeitstiefe
v	m/s	Belastungsgeschwindigkeit
v <sub>abs a/</sub>		
v <sub>abs p</sub>	m/s	absolute Geschwindigkeit eines Punktes des aktiven/passiven Werkzeugelements
v <sub>i</sub>	m/s	Fahrgeschwindigkeit
v <sub>u</sub>	m/s	Umfangsgeschwindigkeit
z		Anzahl der Wirkelemente
α	°	Keilwinkel
α <sub>a</sub>	°	Anstellwinkel der Wirkelemente der aktiven Werkzeugelemente
β	°	Neigungswinkel der Werkzeugbewegungsrichtung zur Vertikalen
β <sub>1</sub>	°	Einzugswinkel
γ	°	Anstellwinkel des Werkzeugelements
σ		Schlupf
ω	s <sup>-1</sup>	Winkelgeschwindigkeit
ω <sub>a</sub>	s <sup>-1</sup>	Winkelgeschwindigkeit der aktiven Werkzeugelemente
ω <sub>p</sub>	s <sup>-1</sup>	Winkelgeschwindigkeit der passiven Werkzeugelemente

## 1. Problemstellung

Die Zerkleinerung des Ackerbodens ist eine technologische Aufgabe der Bodenbearbeitung (besonders bei der Saatbettbereitung)

und vollzieht sich gemeinsam mit den Operationen Wenden, Lockern, Mischen und Verdichten. Sie kann auf schwer bearbeitbaren bindigen Böden die Hauptzielstellung einzelner Arbeitsgänge sein. Aus pflanzenbaulicher Sicht sind die Forderungen an die Aggregatgrößenzusammensetzung, die Dichte, die Ebenheit und die Einarbeitung organischer Rückstände im Saatbett pflanzenspezifisch im Standard TGL 33 738 [1, 2] angegeben. Da der Energieaufwand für die Bodenbearbeitung bis zu 30% des Gesamtaufwands in der Pflanzenproduktion betragen kann und da vorwiegend sehr komplex wirkende, standortbedingte Faktoren die Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit beeinflussen, sind sowohl die Verfahren als auch die Maschinen und Geräte zur Bodenbearbeitung sehr vielgestaltig und befinden sich in ständiger Entwicklung.

Ein Saatbett wird gleichzeitig oder zeitlich versetzt mit Werkzeugen zur Grundbodenbearbeitung (Pflügen, Grubbern, Fräsen) und zur Saatbettbereitung (Grubbern, Fräsen, Eggen, Walzen, Schleppen) durch Aufbrechen eines abgesetzten Bodens und weiter durch Zerkleinern des vorgelockerten grobscholligen Bodens hergestellt. Ist trotz Nutzung aller ackerbaulichen und verfahrenstechnischen Möglichkeiten eine wirksame Zerkleinerung des Bodens nur durch Einwirken von Werkzeugen möglich, so steht dafür international eine breite Auswahl von Werkzeugen und Werkzeugkombinationen zur Verfügung. Ihre vorteilhafte Anwendung ist wegen des nicht vorhersehbaren Witterungsverlaufs und der je nach Betriebsgröße und Standortbedingungen unterschiedlichen Verfahrensgestaltung und Fruchtfolge oft noch umstritten. Auch sind die Methoden zur objektiven Bewertung des erzielten Arbeitsergebnisses in Beziehung zum Aufwand noch unzureichend entwickelt.

Den Förderungen der Zeit entsprechend

werden weltweit große Anstrengungen zur Senkung des spezifischen Energiebedarfs sowohl über die Verfahrensgestaltung als auch über die Weiterentwicklung bekannter und die Entwicklung neuer Werkzeuge unternommen. Echte Fortschritte sind aber nur auf der Basis einer gründlichen Auswertung des erreichten Standes und einer Analyse der Wirkvorgänge zwischen Werkzeug und Boden erreichbar.

## 2. Stand der Technik

Die Zerkleinerung des Bodens wird heute mit Werkzeugen (Bild 1) vorgenommen, die folgende Charakteristika aufweisen:

- *passive Werkzeuge*, die nur durch die Zugkraft des Traktors in Fahrtrichtung durch den Boden bewegt werden (Pflug, Grubber, Egge), die bei elastischer Befestigung zusätzlich Schwingungen ausführen (Federzinkengrubber und -egge) oder die infolge des Kraft- und Formschlusses mit dem Boden um eine Achse drehend auf dem Boden rollen (Scheibenegge, Spatenwälz egge, Rotorkrümler, Walze)
- *aktive Werkzeuge*, die infolge einer der Linearbewegung durch den Zapfwellenan-

Bild 1. Einteilung international gebräuchlicher Arbeitsorgane (Auswahl) zur Bodenbearbeitung nach ihrem Antrieb; B Bewegungsbahn des Werkzeugs gegenüber dem Boden

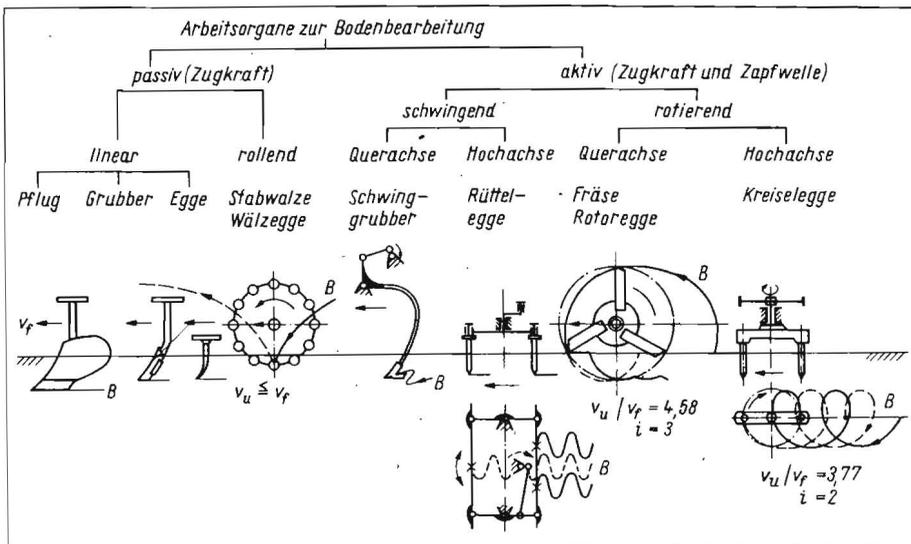
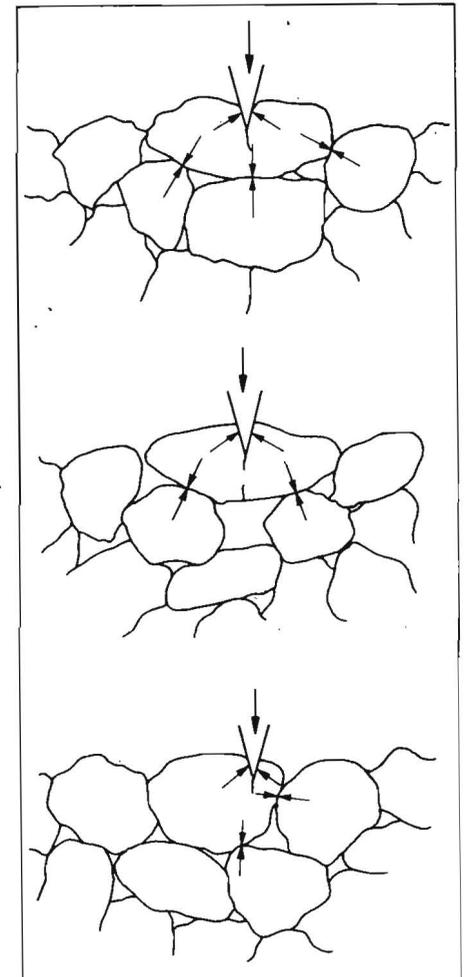


Bild 2. Unterschiedliche Werkzeugwirkungen im vorgelockerten Boden (lose Schüttung)



trieb überlagerten Dreh- oder Schwingbewegung im Boden charakteristische Bewegungsbahnen ausführen (Fräse, Rotor-, Rüttel-, Kreislegge, Schwinggrubber).

Passive Werkzeuge sind besonders zur Vorlockerung durch periodisches Aufbrechen des abgesetzten Bodens geeignet. Ihre Wirksamkeit bei der Zerkleinerung von Schollen und Kluten kann unter schwierigen Bodenbedingungen nach mehreren Arbeitsgängen noch unbefriedigend sein.

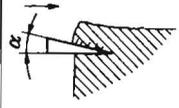
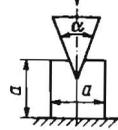
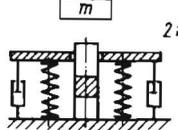
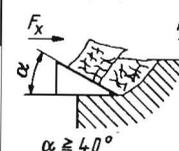
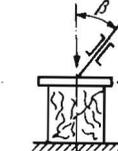
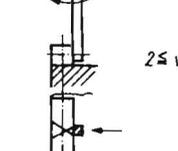
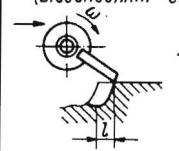
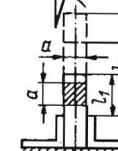
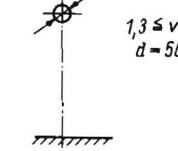
Der Vorteil der aktiven Werkzeuge besteht darin, daß sie, bezogen auf eine Fahrstrecke, das Mehrfache an Wirkstrecke im Boden erreichen können (Rüttel-, Kreislegge), wobei die Relativgeschwindigkeit gegenüber dem Boden das Mehrfache der Fahrgeschwindigkeit betragen kann. Über das Verhältnis von Umfangs- oder Schwinggeschwindigkeit zur Fahrgeschwindigkeit ist die Arbeitsintensität der Werkzeuge einstellbar [3]. Ihr Nachteil besteht darin, daß die hohe Relativgeschwindigkeit und die im vorgelockerten Boden ablaufende Zerkleinerung, die wegen der nicht einheitlichen Wirkung der Werkzeuge auf die sich untereinander vielfältig abstützenden Bruchkörper nur als stochastischer Prozeß erklärbar ist, hohe Reibungs- und Beschleunigungsverluste verursachen (Bild 2) [4]. Deshalb ist nach Lösungen zu suchen, die eine definierte Zerkleinerung des abgesetzten und vorgelockerten Bodens mit geringem Energieaufwand ermöglichen.

### 3. Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen

Im Ergebnis der international in breitem Umfang betriebenen Forschungen zur Mechanik des Ackerbodens werden die Bruchvorgänge mit der Schub- und Normalspannungshypothese erklärt. Die bisher angewendeten quasistatischen Spannungs- und Verformungsbeziehungen und die daraus abgeleiteten Deformations- und Bruchvorgänge sind für eine quantitative Bestimmung geometrischer und kinematischer Werkzeugparameter nur bedingt geeignet [5]. Fortschritte in Richtung analytischer Berechnung für unterschiedliche Einsatzbedingungen optimierter Werkzeuge werden bereits mit rheologischen Modellen [6] und mit der Finite-Elemente-Methode bzw. durch Anwendung der Kontinuumsmechanik erzielt. Eine exakte Vorausberechnung von Werkzeugen wird auch damit wegen des Fehlens allgemeingültiger Stoffgesetze in absehbarer Zeit noch nicht möglich sein. Die experimentell-theoretische Methode der Werkzeugentwicklung ist deshalb weiterhin anzuwenden.

In Abstimmung und Zusammenarbeit mit der AdL der DDR, der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg und der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock wurden umfangreiche Untersuchungen zum Mechanismus der Bodenzerkleinerung unter Labor- und Feldbedingungen, im abgesetzten und vorgelockerten Boden sowie an natürlichen und künstlich hergestellten Modellprobekörpern durchgeführt (Bild 3) [7 bis 13]. Im Ergebnis dieser Arbeiten konnte folgende Arbeitshypothese aufgestellt werden:

Ein abgesetzter Boden kann mit geringstem Energieaufwand zerkleinert werden, wenn er mit keilförmigen Werkzeugen in natürlichen Scherebenen aufgebrochen (vorgelockert) wird und die Bruchkörper mit geringer Belastungsgeschwindigkeit mit spitzwinkligen Keilen zerschnitten und weiter zwischen

abgesetzter Boden quasistatisch-linear	Modellbodenkörper quasistatisch	dynamisch
Normalspannung (Fließspan, Biegung)  $\alpha \leq 25^\circ$	Schneiden/Drücken  $15^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ $a = 50 \text{ mm}$	$m v \downarrow$ Schlagen (Stoßen)  $2 \leq v \leq 20 \text{ m/s}$
Schubspannung (Scherspan)  $\alpha \geq 40^\circ$	Drücken/Mahlen (Druck-Schub)  $0^\circ \leq \beta \leq 75^\circ$	Schlagen (Stoßen)  $2 \leq v \leq 10 \text{ m/s}$
quasistatisch und dynamisch (Bissenschnitt-Scherspan)  $2 \leq \frac{v_u}{v_f} \leq 8$	Biegung-Druck-Schub  $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ $l = l_1, l_2, l_3$	Prallen  $1,3 \leq v \leq 10 \text{ m/s}$ $d = 50 \text{ mm}, 35 \text{ mm}$

3 zwei Werkzeugen durch eine kombinierte Druck-Schub-Bearbeitung zwangsweise zerkleinert werden.

### 4. Werkzeugentwicklung

Aus o. g. Hypothese lassen sich physikalische Modelle und Arbeitsprinzipie für die Wirkpaarung Werkzeug-Boden ableiten und danach Werkzeuge und Werkzeugkombinationen entwickeln. Die Grundbodenbearbeitung wird weiterhin mit Pflug oder Grubber als getrennter Arbeitsgang oder mit Grubber in Kombination mit Packer und

Krümler zur Saatbettbereitung durchgeführt. Als Werkzeuge für das Packen und Zerkleinern wurden um eine Querachse rotierende Werkzeuge bezüglich Form (Scheibe, Stab) und Antriebskinematik (treibend, rollend, getrieben) systematisch untersucht (Bild 4a und 4b) [14, 15, 16]. Die kinematischen Betrachtungen zur Wirkbahn unterschiedlicher Scheiben- und Stabformen im Schlupfbereich  $-0,3 \leq \sigma \leq 0,3$  ergeben bereits interessante Aufschlüsse über Wirkbedingungen und zu erwartende Belastungen. Wirkprinzipie für eine zwangsweise Zerklei-

Bild 3 Übersicht zur Untersuchung von Werkzeugen und Werkzeugelementen bei der Zerkleinerung von abgesetztem Boden und von Modellbodenkörpern

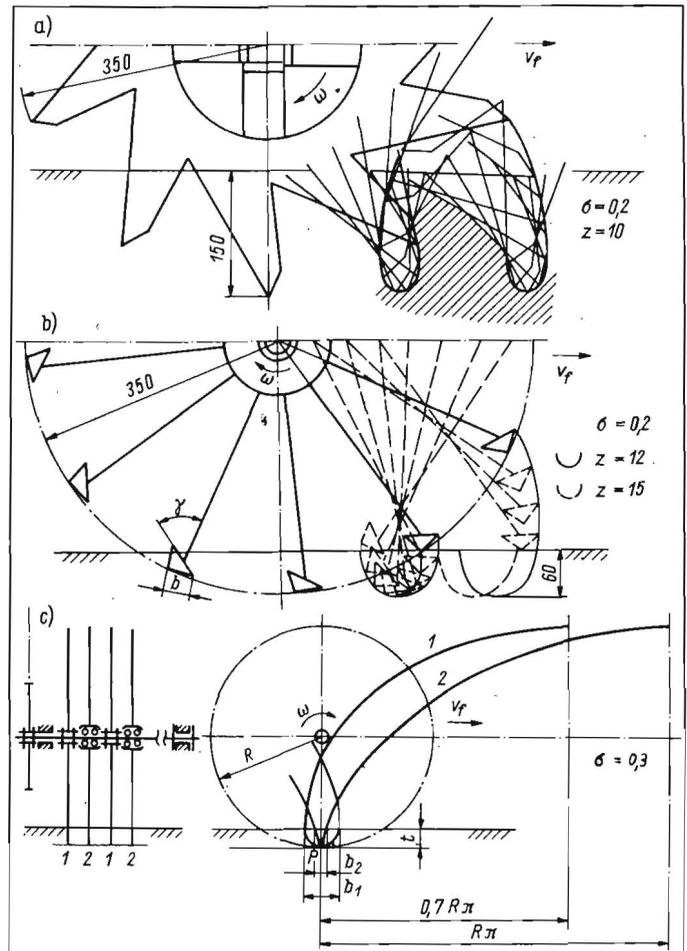


Bild 4 Getrieben, rollend und treibend arbeitende Werkzeuge zur Saatbettbereitung:

- a) Zahnscheibenpacker [14],
  - b) Winkelstabkrümler [15],
  - c) passiv-aktive Kombination [16]
- 1 aktives Werkzeugelement, 2 passives Werkzeugelement, P Punkt der Bewegungsbahn

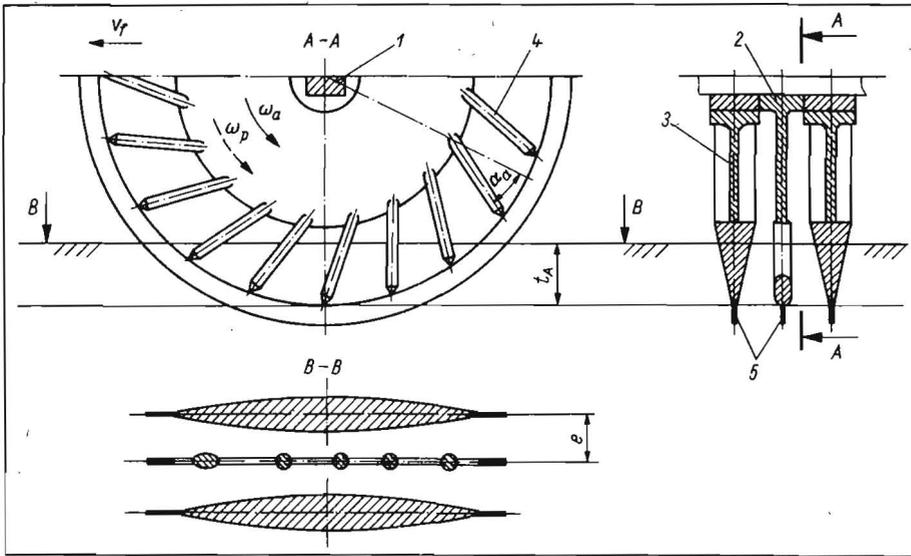


Bild 5. Werkzeug mit getriebenen, zinkenförmigen und rollenden, linsenförmigen Werkzeugelementen (PASSAK); Erläuterung im Text

nerung des Bodens zwischen zwei Werkzeugen sind z. Z. in der Praxis noch nicht eingeführt. Bekannte Prinzipie, die eine Bodenschicht anheben, den Boden zwischen zwei Werkzeugen zerkleinern und als Deckschicht wieder ablegen, sind voraussichtlich nicht energiesparend [17]. Aussichtsreicher erscheinen neue Werkzeuge, die durch eine zielgerichtete Druck-Schub-Belastung des Bodens zwischen den mit unterschiedlicher Umfangsgeschwindigkeit rotierenden Werkzeugelementen die dem Werkzeug zugeführte Energie für die im Boden beabsichtigte Wirkung effektiver nutzen (Bild 4c).

Ein Ausführungsbeispiel solcher Werkzeuge ist im Bild 5 dargestellt. Auf einer gemeinsamen Werkzeugwelle 1 sind nebeneinander mit einem konstanten Abstand  $e$  aktiv getriebene Werkzeugelemente 2 und passiv rollende Werkzeugelemente 3 befestigt. An den aktiven Werkzeugelementen sind unter einem Anstellwinkel  $\alpha_a$  zur Radialen zinkenförmige Wirkelemente 4 angeordnet. Das passive Werkzeugelement hat eine linsenförmige Außenkontur. Beide Werkzeugelemente verfügen über einen Außenring 5, der im allgemeinen der Vorzerkleinerung der Bodenaggregate dient, beim aktiven Werkzeugelement die Beschleunigung der Bodenaggregate beim Austritt der Wirkelemente aus dem Boden hemmt, einen Überlastungsschutz der Wirkelemente darstellt und die Verstopfungsgefahr vermindert.

Zwischen den passiven linsenförmigen Werkzeugelementen 3 bildet sich ein keilförmiger Arbeitsspalt (Bild 6) aus. Die Bodenaggregate gelangen infolge der Vorwärtsbewegung des Werkzeugs in diesen Arbeitsspalt, wo sie von den Wirkelementen der aktiven Werkzeugelemente erfaßt werden. Im Ar-

beitsspalt befinden sich i. allg. mehrere Aggregate. Die an den aktiven Wirkelementen angreifende Kraftkomponente  $F_h$  wirkt mindestens auf ein Aggregat direkt ein. Die so eingeleitete Belastung wird auf die umliegenden Aggregate übertragen, da sie nicht ausweichen können. Die Kraftabstützung erfolgt zwischen den Wirkflächen der passiven Werkzeugelemente. Infolge der Relativbewegung zwischen den aktiven und passiven Werkzeugelementen werden die Aggregate durch den sich verjüngenden Arbeitsspalt gezwungen, und zwischen den Aggregaten sowie zwischen den Wirkflächen und den Aggregaten wird die gewünschte, zielgerichtete Belastung aufgebaut. Die Bodenaggregate werden mit geringer Belastungsgeschwindigkeit, die der Differenz der Umfangsgeschwindigkeiten der aktiven und der passiven Werkzeugelemente entspricht, zwangsweise zerkleinert.

### 5. Ergebnisse

Die experimentellen Untersuchungen unter natürlichen Feldbedingungen auf schwer bearbeitbaren Böden der Bearbeitbarkeitsgruppen 4 und 5 wurden mit folgenden Zielen durchgeführt:

- den Beweis der Funktionstüchtigkeit der Werkzeuge erbringen
- die Abhängigkeit des Energieaufwands und des Zerkleinerungsergebnisses von Konstruktions-, Betriebs- und Bodenparametern darstellen
- die Zielstellungen für weiterführende Untersuchungen herausarbeiten.

Die Untersuchungen, die in einem Bereich der Fahrgeschwindigkeit von  $v_f = 1,2 \dots 2,5$  m/s durchgeführt wurden, zei-

gen unabhängig von den Bodenbedingungen eine charakteristische qualitative Abhängigkeit des spezifischen Energieaufwands vom Geschwindigkeitsverhältnis  $\lambda_a$ , dem Verhältnis von Fahrgeschwindigkeit zur Umfangsgeschwindigkeit der aktiven Werkzeugelemente ( $\lambda_a = 1 - \sigma$ ) (Bild 7).

Die dem Werkzeug für die im Boden beabsichtigte Wirkung zugeführte spezifische Gesamtenergie  $W_B$  ergibt sich als Summe aus den durch Rotation  $W_R$  und Translation  $W_T$  übertragenen Anteilen. Da der spezifische Energieaufwand direkt vom Geschwindigkeitsverhältnis  $\lambda_a$  beeinflusst wird, ist entsprechend der Nutzung der Werkzeuge unter Berücksichtigung der konkreten Bodenbedingungen eine Einstellung, Steuerung und/oder Regelung hinsichtlich folgender Parameter realisierbar:

- minimaler Gesamtenergieaufwand
- eine bestimmte, im Gesamtsystem Traktor-Bodenbearbeitungsmaschine erforderliche Horizontalkraft  $F_H \geq 0$ .

Das geforderte Geschwindigkeitsverhältnis  $\lambda_a$  kann bei gegebener oder gewünschter Fahrgeschwindigkeit über die Drehzahl der aktiven Werkzeugelemente eingestellt werden.

In weiterführenden Untersuchungen ist zu prüfen, inwieweit unter Berücksichtigung von Aufwand und Nutzen eine stufenlose oder gestufte Drehzahländerung anzustreben ist. Die bisher zum Arbeitsergebnis der neuen Werkzeuge (Bild 5) durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß im Bereich des Geschwindigkeitsverhältnisses  $1 \geq \lambda_a \geq 0,4$  das Zerkleinerungsergebnis nicht über eine Veränderung des Geschwindigkeitsverhältnisses  $\lambda_a$  beeinflusst werden kann. Diese Erkenntnis steht im Widerspruch zu den bisher über die Abhängigkeit des Zerkleinerungsergebnisses vom Geschwindigkeitsverhältnis  $\lambda_a$  bei zapfwellengetriebenen Werkzeugen getroffenen Aussagen, ist aber über die Wirkung der neuen Werkzeuge zu erklären.

Die Realisierung der zielgerichteten Druck-Schub-Belastung der Bodenaggregate zwischen den Werkzeugelementen setzt voraus, daß diese in den Arbeitsspalt gelangen. Wird diese Bedingung erfüllt, erfolgt der zwangsweise Transport der Aggregate durch den sich verjüngenden Arbeitsspalt und somit die Zerkleinerung unabhängig vom Geschwindigkeitsverhältnis  $\lambda_a$ , aber in Abhängigkeit vom Abstand zwischen den Wirkflächen der passiven Werkzeugelemente.

Diese theoretischen Betrachtungen werden durch Ergebnisse experimenteller Untersuchungen bestätigt. Entscheidend für das Zerkleinerungsergebnis der neuen Werkzeuge sind neben den Bodenbedingungen die Größe der Bodenaggregate unmittelbar vor Eingriff der Werkzeuge sowie die minimale Arbeitsspaltweite  $e_{min}$ , durch die die Aggregate hindurchgezwungen werden. Diese minimale Arbeitsspaltweite ergibt sich aus der Gestaltung der passiven Werkzeugelemente, dem Abstand zwischen den auf der Werkzeugwelle angeordneten Werkzeugelementen, der Bewegungsbahn der Bodenaggregate durch den Arbeitsspalt, die durch den Anstellwinkel  $\alpha_a$  der Wirkelemente der aktiven Werkzeugelemente beeinflusst wird, und der Arbeitstiefe  $t_A$  (Eingriffstiefe) der Werkzeuge.

Bei konstanten Konstruktionsparametern der Werkzeugelemente kann durch die Veränderung des Abstands  $e$  zwischen den Werk-

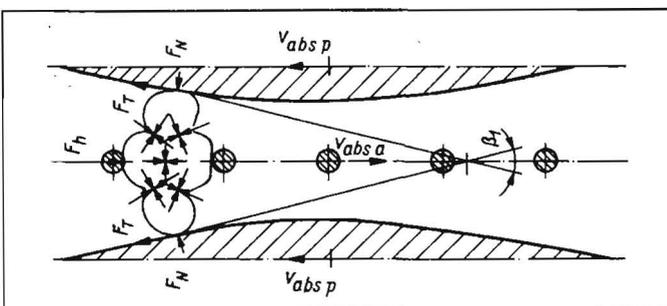


Bild 6 Belastung der Bodenaggregate im Arbeitsspalt

zeugelementen das Zerkleinerungsergebnis der Werkzeuge beeinflusst werden. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse ist in Abhängigkeit von der Aggregatgröße vor dem Eingriff der Werkzeuge und dem geforderten Zerkleinerungsergebnis ein optimaler Abstand zwischen den Werkzeugelementen zu erwarten.

In weiterführenden experimentellen Untersuchungen sind die Aussagen zur Beeinflussung des Zerkleinerungsergebnisses hinsichtlich Möglichkeiten und Notwendigkeit unter Berücksichtigung der Bodenbedingungen und der fruchtartspezifischen Forderungen zu quantifizieren.

Die bisherigen Untersuchungen auf schwer bearbeitbaren Böden belegen, daß bei einem um 54 % höheren spezifischen, auf die bearbeitete Fläche bezogenen Energiebedarf der neuen Werkzeuge gegenüber gezogenen Werkzeugen und ihren Kombinationen unter der Bedingung, daß mit den neuen Werkzeugen nur eine Überfahrt gegenüber zwei Überfahrten mit gezogenen Werkzeugen zum Erreichen eines geforderten Arbeitsergebnisses erforderlich ist, eine Senkung des Energieaufwands um 23 % möglich wird.

Dieses Ergebnis bezieht sich aber nur auf die dem Boden über das Werkzeug zugeführte Energie. Um Aussagen zum Gesamtenergieaufwand treffen zu können, ist das System Traktor-Gerät (Werkzeug) in die Betrachtungen einzubeziehen [16]. Bei gleicher Fahrgeschwindigkeit kann unter Berücksichtigung des Systems Traktor-Gerät (Werkzeug) die Flächenleistung im vorliegenden Beispiel um 58 % erhöht werden.

Vergleichsuntersuchungen mit zapfwellengetriebenen Geräten (Rotoregge) zeigen, daß die neuen Werkzeuge eine deutlich sichtbare Verdichtung unterhalb der Saatgutablagezone bewirken, die die Vergleichsgeräte nicht erreichen. Aus ackerbaulicher Sicht hat diese Verdichtung wesentlichen Einfluß auf den Feldaufgang und sollte bei weiteren Vergleichsuntersuchungen, bei denen auch Aussagen zum Gesamtenergieaufwand und Zerkleinerungsergebnis zu treffen sind, ebenfalls Berücksichtigung finden.

## 6. Schlußfolgerungen

Die bisher durchgeführten theoretischen und experimentellen Untersuchungen führten zu einem neuen Werkzeug, mit dem infolge der zielgerichteten Belastung der Bodenaggregate zwischen den Werkzeugelementen ein gefordertes Zerkleinerungsergebnis in weniger Überfahrten und mit geringerem Gesamtenergieaufwand erreichbar ist. Die gezeigten Abhängigkeiten des Zerkleinerungsergebnisses und des Energieaufwands von den Betriebs- und Konstruktionsparametern sind unter Berücksichtigung von Bodenparametern mit dem Ziel, auch Aussagen zu Möglichkeiten, zur Notwendigkeit und zur Realisierbarkeit einer Steuerung/Regelung bei Beachtung des Verhältnisses von Aufwand und Nutzen treffen zu können, weiter zu untersuchen.

Im Ergebnis der Forschung und Entwicklung wird ein neues Werkzeug für die Saatbettbereitung, besonders für die Zerkleinerung, zur Verfügung stehen, das in geeigneter Kombination dazu beiträgt, den Gesamtenergieaufwand für die Saatbettbereitung zu senken sowie die Arbeitsqualität und Arbeitsproduktivität zu steigern.

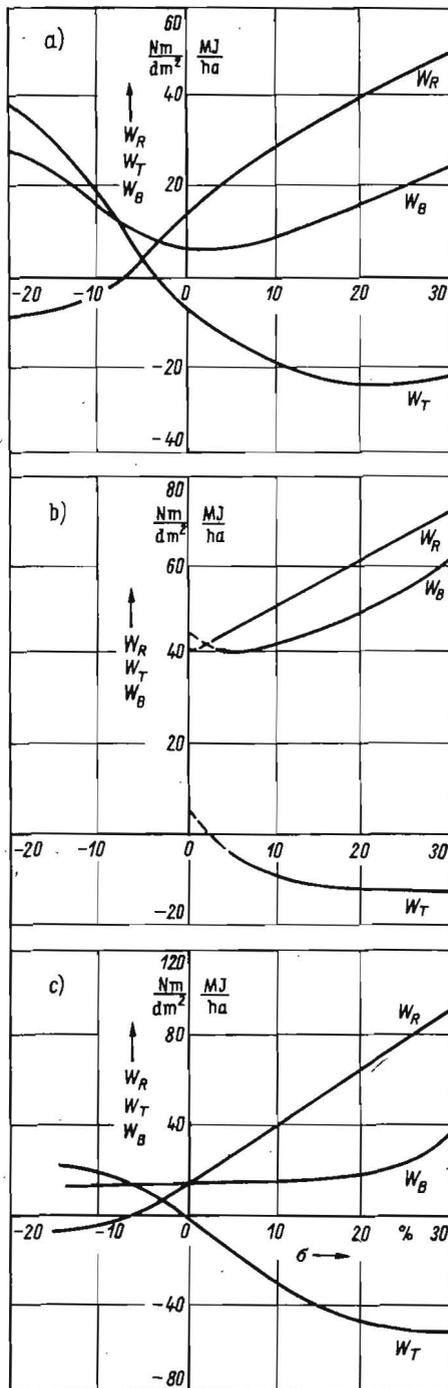


Bild 7. Auf die bearbeitete Fläche bezogener spezifischer Energieaufwand an Saatbettbereitungswerkzeugen in Abhängigkeit vom Schlupf  $\sigma$ ;  $W_R$  Rotationsenergie,  $W_T$  Translationsenergie (+ Zug, - Schub),  $W_B$  vom Werkzeug auf den Boden übertragene Energie; a) Zahnpacker, b) PASSAK, c) Winkelstabkrümmer

## 7. Zusammenfassung

Die Zerkleinerung des Ackerbodens ist besonders auf schwer bearbeitbaren bindigen Böden eine der wesentlichen Aufgaben bei der Saatbettbereitung. Sie wird heute mit einer Vielzahl unterschiedlich gestalteter und wirkender Geräte und Maschinen vorgenommen. Aus Grundlagenuntersuchungen lassen sich effektivere Werkzeuge ableiten, die zusätzlich zum Schneiden mit Hilfe spitzwinkliger Keile die Bodenaggregate durch eine kombinierte Druck-Schub-Bbeanspruchung zwischen zwei Werkzeugen zwangsweise zerkleinern. Ein nach diesem Prinzip arbeitendes, angetriebenes, rollendes Werk-

zeug verspricht nach theoretischen und ersten experimentellen Untersuchungen eine effektive Zerkleinerung schwer bearbeitbaren Bodens bei vorteilhafter Verdichtung unterhalb der Saatgutablagezone entsprechend den agrotechnischen Forderungen.

## Literatur

- [1] TGL 33 738 Gütevorschriften für Arbeiten der Pflanzenproduktion, Ausg. Januar 1977.
- [2] Kunze, A.: Bodenbearbeitung und Bestellung in hoher Qualität – eine wichtige Voraussetzung für die weitere Steigerung und Stabilisierung der Erträge. agrartechnik, Berlin 24 (1974) 1, S. 20–22.
- [3] Anisch, S.; Soucek, R.: Voraussetzungen für Kontrolle und Steuerung der Bodenbearbeitung. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 1, S. 6–9.
- [4] Soucek, R.; Anisch, S.; Jorschick, K.: Untersuchungen an ausgewählten Werkzeugelementen zur Zerkleinerung von Bodenbruchkörpern hinsichtlich der Energieausnutzung. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 1, S. 11–14.
- [5] Huth, H.-V.: Nichtlineares Spannungs-Deformationsverhalten im Labor hergestellter zylindrischer Proben aus drei landwirtschaftlich genutzten bindigen Bodenarten bei einaxialer Druckbelastung. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation 1981.
- [6] Hoffmann, H.: Formulierung räumlicher Spannungs-Deformationsbeziehungen für landwirtschaftlich genutzte Böden unter bevorzugter Anwendung des rheologischen Modells von Murayama und Shibata. Technische Universität Dresden, Dissertation 1986.
- [7] Plötner, K.: Untersuchungen über den Bodewiderstand und den Bodenaufbruch beim Einsatz von Lockerungswerkzeugen. Technische Universität Dresden, Dissertation 1970.
- [8] Lucius, J.: Entwicklung von aktiven Bodenbearbeitungswerkzeugen für die Zerkleinerung vorgelockerten Bodens. Technische Universität Dresden, Dissertation 1972.
- [9] Kalk, W.-D.: Untersuchung des Einflusses der Abdeckung einer Bodenfräse auf das Arbeitsergebnis einer Fräse. Technische Universität Dresden, Dissertation 1973.
- [10] Queitsch, K.: Kinetische Untersuchungen von angetriebenen rotierenden Werkzeugelementen im Modellboden. Technische Universität Dresden, Dissertation 1970.
- [11] Bernhardt, G.: Untersuchungen über das mechanische Verhalten des Bodens unter dem Einwirken eines um eine horizontale Achse rotierenden Werkzeuges. Technische Universität Dresden, Dissertation 1972.
- [12] Leithold, B.: Untersuchungen zur Bestimmung wichtiger Kenngrößen des mechanischen Verhaltens des Bodens bei dynamischer einachsiger Druckbeanspruchung. Technische Universität Dresden, Dissertation 1976.
- [13] Jorschick, K.: Untersuchungen zur Energieausnutzung an ausgewählten Werkzeugelementen für die Bodenzerkleinerung beim Einwirken auf Modellbodenkörpern. Technische Universität Dresden, Dissertation 1983.
- [14] Baur, A.: Untersuchungen zu aktiv rotierenden, scheibenförmigen Werkzeugen für die Verdichtung und Zerteilung des Bodens. Technische Universität Dresden, Dissertation 1981.
- [15] Konzack, J.: Energieaufwand beim Zerkleinern und Verdichten des Bodens in Abhängigkeit von der Antriebsart rollender Werkzeuge. Technische Universität Dresden, Dissertation 1981.
- [16] Wolf, S.: Untersuchungen von Energieaufwand und Zerkleinerungsergebnis eines aus aktiv und passiv rollenden Elementen bestehenden Werkzeuges für die Saatbettbereitung. Technische Universität Dresden, Dissertation 1985.
- [17] Danfors, B.: Equipment for Seed Placement below a Replaced Surface (Einrichtung für die Aussaat unter eine entnommene und wieder aufgebraute Bodenschicht). Journal of Agricultural Engineering Research, London 38 (1987) 3, S. 167–172. A 5234