

# Einsatz schwingender Werkzeuge bei der Wirkpaarung Werkzeug-Boden am Beispiel schwingender Kartoffelaufnahmeelemente

Dozent Dr. agr. Dipl.-Ing. M. Delitz, KDT

## Verwendete Formelzeichen

|                  |                  |   |
|------------------|------------------|---|
| A                | mm               | Amplitude   |
| F                | N                | Zugkraftbedarf  |
| f                | Hz               | Schwingfrequenz   |
| g                | m/s <sup>2</sup> | Erdbeschleunigung                                       |
| m <sub>D</sub>   | kg               | Damm-Masse  |
| v <sub>Dne</sub> | m/s              | Normalkomponente der Auftreffgeschwindigkeit des Dammes |
| v <sub>F</sub>   | m/s              | Fahrgeschwindigkeit                                     |
| v <sub>res</sub> | m/s              | resultierende Geschwindigkeit                           |
| v <sub>s</sub>   | m/s              | Schargeschwindigkeit                                    |
| v <sub>sno</sub> | m/s              | Normalkomponente der Schargeschwindigkeit beim Abwurf   |
| v <sub>h</sub>   | —                | Horizontalkomponente der Fördergeschwindigkeit          |
| α                | °, rad           | Scharneigungswinkel                                     |
| β                | °, rad           | Schwingwinkel   |
| Γ                | —                | Wurfkennziffer  |
| ΔE               | l                | Verlustenergie  |
| ω                | rad/s            | Kreisfrequenz   |

## 1. Einleitung

Die weitere Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion, verbunden mit der Einführung industriemäßiger Produktionsmethoden, verlangt hocheffektive landtechnische Arbeitsmittel, die den steigenden Anforderungen hinsichtlich Verfügbarkeit, Funktionssicherheit, Bedienkomfort und Arbeitsqualität gerecht werden. Hohe Effektivität bedeutet aber gleichzeitig sparsamen Materialeinsatz und rationelle Energieanwendung bei maximalem Arbeitsergebnis. In der Pflanzenproduktion führt das zur Forderung nach Maschinen, mit denen neben der Erfüllung der o.g. Aufgaben hohe Flächenleistungen möglich sind. Bei Maschinen, deren Funktion auf der Wirkpaarung Werkzeug—Boden beruht, treten aber mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit Probleme hinsichtlich des Energiebedarfs und der Energieeinleitung in die Werkzeuge auf, die im folgenden am Beispiel von Kartoffelerntemaschinen näher betrachtet werden sollen.

## 2. Energetische Probleme

Mit wachsender Arbeitsgeschwindigkeit steigt die Beschleunigungsenergie, die in die zu bewegenden Gutmassen zu indizieren ist, progressiv an [1]. Proportional dazu erhöhen sich die zwischen Gut und Werkzeug wirkenden Normalkräfte und damit auch die Reibungswiderstände, so daß der Arbeitswiderstand als Summe aus Schnittkraft und den genannten Komponenten mit steigender Arbeitsgeschwindigkeit progressiv ansteigt. Der Zugkraftbedarf eines passiven Dammaufnahmeelements wurde bei einer Arbeitsgeschwindigkeit  $v_F = 1$  m/s mit  $F = 2,8$  kN und bei  $v_F = 2$  m/s mit  $F = 3,75$  kN gemessen (Bild 1). Daraus wird erkennbar, daß bei weiterer Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit eine Grenze der Übertragbarkeit dieser Kraft über Treibräder erreicht wird. In der Landtechnik wurden bisher vielfältige Versuche unternommen, den Zugkraftbedarf von Bodenbearbeitungsgeräten zu verringern. Die Anstrengungen waren zumeist auf eine Verringerung der Reibung zwischen der Arbeitsoberfläche des Werkzeugs und dem darübergleitenden Boden gerichtet. So wurden u. a. verschiedene Effekte wie die Wirkung von

serabstoßender Oberflächen, die Elektroosmose und die Luftschmierung untersucht. Die damit erzielten Ergebnisse führten jedoch nicht zu technisch realisierbaren Lösungen, die unter den Einsatzbedingungen der Landwirtschaft effektiv und rationell anwendbar gewesen wären. Eine weitere Möglichkeit, den Zugkraftbedarf zu senken, besteht in der Nutzung mechanischer Schwingungen. Dabei gleiten die Bodenteilchen nicht über die Arbeitsoberfläche des Werkzeugs, sondern werden emporgeworfen und während der Flugphase vom Werkzeug unterfahren. Dem Verringern des Bedarfs an Zugenergie steht jedoch ein Bedarf an Rotationsenergie für den Antrieb der aktiv schwingenden Teile gegenüber, der unter Umständen den Betrag der eingesparten Zugenergie übersteigen kann. Wird allerdings betrachtet, daß der Wirkungsgrad der Energieübertragung über Zapfwelle und Transmission innerhalb der Landmaschine etwa doppelt so hoch ist wie über Treibräder, so liegt es nahe, die Einsatzmöglichkeiten aktiv angetriebener Werkzeuge für die Wirkpaarung Werkzeug—Boden allgemein und aktiv schwingender Dammaufnahmeelemente für Kartoffelerntemaschinen speziell zu untersuchen.

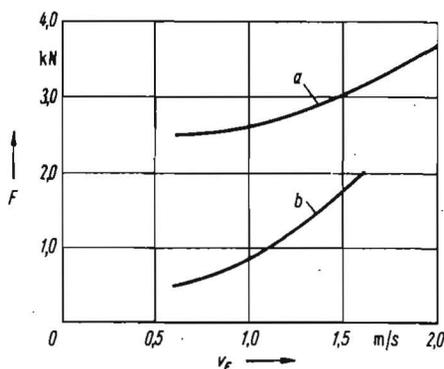
## 3. Erreichbare Effekte mit aktiv schwingenden Dammaufnahmeelementen

An eine Kartoffelerntemaschine wird eine Reihe technisch-ökonomischer Forderungen [2] gestellt, aus denen sich die spezielle Aufgabenstellung für Dammaufnahmeelemente ableitet. Dazu gehören:

- Aufnahme des Kartoffeldammes
- Auflockern des Gutes (Gemisch aus Kartoffeln und mineralischen sowie organischen Beimengungen)
- Fördern des Gutes auf eine konstruktiv bedingte Höhe und Übergabe auf nachfolgend angeordnete Förder- und Trennelemente.

Dabei müssen qualitative und quantitative Forderungen hinsichtlich der Knollenverluste, der Knollenbeschädigungen und des Energiebedarfs erfüllt werden. Schwingende Damm-

Bild 1. Zugkraftbedarf von Dammaufnahmeelementen F in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v_F$ ; a passives Schar, b Schwingschar



aufnahmeelemente können den genannten Forderungen weitestgehend entsprechen. Das wurde bereits seit langem in mehreren Ländern (u. a. UdSSR, DDR, ČSSR, BRD, USA, Großbritannien und Frankreich) erkannt, wo eine Vielzahl verschiedener Wirkprinzipie entwickelt, patentiert und teilweise in Kartoffelerntemaschinen realisiert wurde (Bild 2). Das Aufnahmeelement ist dabei jeweils ein selbständig schwingendes Rodeschar, das das Gut an nachfolgende Einrichtungen (Schwingsieb, Siebkette) übergibt, oder es ist fest mit einem Schwingsieb verbunden und schwingt mit diesem gemeinsam. Die Schwingungsrichtung ist entweder parallel oder quer zur Längsachse der Maschine. Beim Einsatz aktiv schwingender Bodenbearbeitungswerkzeuge und Dammaufnahmeelemente wurden folgende Effekte beobachtet:

- Verringerung des Zugkraftbedarfs bis zu 40% bei  $v_F = 2$  m/s [3]
  - verringerte Verdichtung des Bodens als Folge der reduzierten Umfangskraft an den Treibrädern [4]
  - intensive Zerkleinerung, Krümelung und Lockerung [5, 6]
  - besserer Gutfluß durch den entstehenden Fördereffekt und damit geringere Verstopfungsgefahr [7]
  - geringerer Verschleiß und höhere Grenznutzungsdauer [4]
  - geringe Knollenbeschädigungen [3, 7].
- Darüber hinaus kann durch entsprechende Gestaltung ein Absieben von Erdbeimengungen bereits auf dem Dammaufnahmeelement erfolgen. Dem stehen jedoch einige Nachteile gegenüber:
- Wie bereits angeführt, kann der Gesamtenergiebedarf aktiver Werkzeuge den Energiebedarf passiver Werkzeuge übersteigen.
  - Wenn die Schwingungsfrequenz der Werkzeuge im Bereich der Eigenfrequenz anderer Bauteile oder Baugruppen der Maschine liegt, können infolge der Resonanz an diesen Bauteilen Betriebsstörungen, erhöhter Verschleiß oder Brüche auftreten.
  - Durch Schwingungsbewegung unter dem Winkel  $(\alpha + \beta)$  wird mehr Damm-Masse als beim starren Schar aufgenommen (Bild 3).

## 4. Bisher vorliegende Ergebnisse

Untersuchungen an schwingenden Werkzeugen mit der Wirkpaarung Werkzeug—Boden und an schwingenden Förderebenen wurden außer an Landmaschinen vor allem an Baumaschinen und an Schwingförderern durchgeführt. Einige Widerstandskomponenten wurden auch gesondert betrachtet.

### 4.1. Schnittwiderstand

Vor der Schneide des schwingenden Werkzeugs wurde bei Frequenzen  $f > 30$  Hz eine Zone mit veränderten Bodeneigenschaften beobachtet [8]. Festgestellt wurde eine starke Verringerung der Festigkeit des Bodens, besonders der Scherfestigkeit. Erklärt wird dies mit einem Freiwerden von gebundenem Wasser. Dieser Effekt tritt mit der Zunahme von Schwingungs-

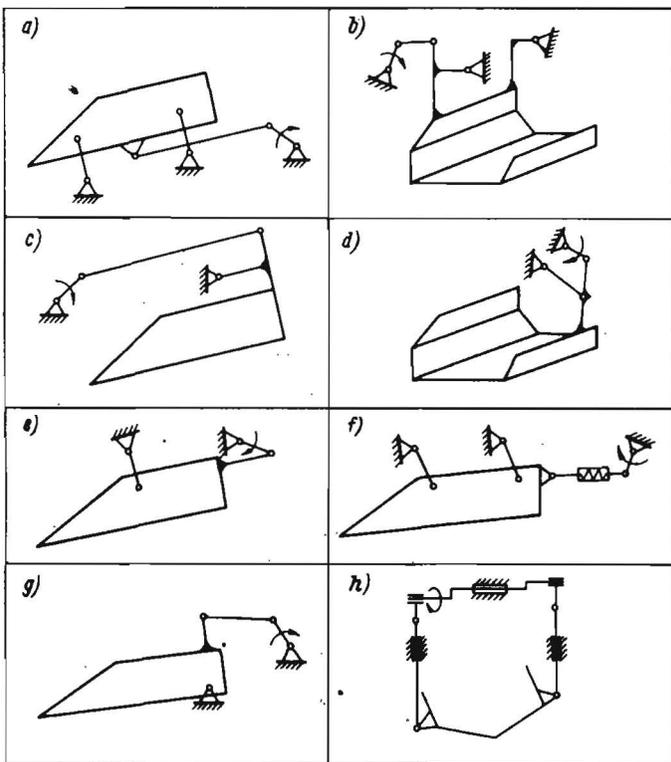
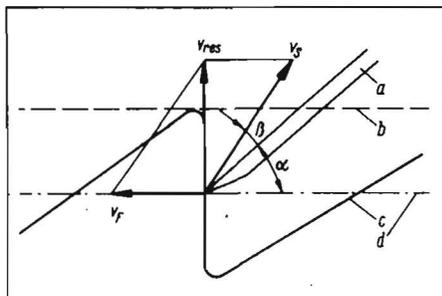


Bild 2  
Ausgewählte Wirkprinzipie patentierter Schwingcharvarianten;

- a) Patent 190 484 (DDR)
- b) Patent 1 482 027 (BRD)
- c) Patent 1 002 829 (BRD)
- d) Patent 139 872 (UdSSR)
- e) Patent 353 672 (UdSSR)
- f) Patent 337 089 (UdSSR)
- g) Patent 308 699 (UdSSR)
- h) Patent 1 077 907 (BRD)

Bild 3  
Bewegungsbahn der eines Scharschneide Schwingschares; a Scharschneide, b Bewegungsbahn eines starren Schares, c Bewegungsbahn eines Schwingschares, d mittlere Bewegungsbahn eines Schwingschares



jedoch Scharneigungswinkel von  $\alpha \geq 25^\circ$  erforderlich. Anzustreben sind höhere Fördergeschwindigkeiten. Sie sind auf die Fahrgeschwindigkeit  $v_F$  der Maschine abzustimmen. Während bisherige Untersuchungen vor allem im Bereich von  $v_x \leq 1$  m/s durchgeführt wurden, sind bei Dammaufnahmeelementen Untersuchungen im Bereich  $v_x = 2 \dots 3$  m/s nötig. Es gibt für diesen Bereich theoretische Ergebnisse, die u. a. auch aus Forschungsarbeiten der Ingenieurhochschule Berlin—Wartenberg hervorgehen. Praktische Untersuchungen unter Labor- und Feldbedingungen sind noch anzustellen.

Um eine schwingende Dammaufnahmeeinrichtung schaffen zu können, die den agrotechnischen Forderungen gerecht wird und mit ökonomisch vertretbarem Aufwand an Energie und Material die erforderlichen technologischen Effekte erbringt, sind noch weitere Untersuchungen notwendig. Sie betreffen folgende Fragen:

- Minimierung des Bedarfs an Leerlaufenergie, d. h. Energie zur Bewegung des Schwinggetriebes bei  $v_F = 0$
- Sichern eines optimalen und stockungsfreien Gutflusses, d. h. optimales Schwingungsregime und Vermeidung von Verstopfungen durch Kartoffelkraut und Bewuchs
- Schwingungsdämpfung, d. h. Schutz der übrigen Baugruppen und vor allem des Maschinenrahmens vor Stößen, die von der schwingenden Baugruppe ausgehen.

Es hat sich gezeigt, daß bei Bodenbearbeitungswerkzeugen, die federnd am Rahmen angebracht waren, also Eigenschwingungen ausführen konnten, ebenfalls eine Verminderung des Zukraftbedarfs eintrat [12]. Die Nutzung solcher selbsterregten Eigenschwingungen bei Dammaufnahmeelementen bedarf ebenfalls noch weiterer Untersuchungen.

#### Literatur

- [1] Delitz, M.: Konstruktion und theoretische Untersuchung von aktiv schwingenden Werkzeugen für eine vierreihige Dammaufnahme. VEB Weimar-Kombinat Landmaschinen 1975 (unveröffentlicht).
- [2] Technisch-ökonomische Forderungen an Dammaufnahmeelemente von Kartoffelerntemaschinen. VEB Weimar-Kombinat Landmaschinen, IfM Potsdam-Bornim, WZ für Landtechnik Schlieben, 1976
- [3] Dubrovskij, A. A.: Issledovanie vlijanija vibracii na rabotu počvoobrabatyvajuščich orudij (Untersuchung des Einflusses der Vibrationen auf die Arbeit von Bodenbearbeitungsgeräten). Sbornik trudov po zemledel'českoj mehanike. Moskva (1961) Bd. VI, S. 580—594.
- [4] Verma; Brahm, P.: Oscillation soil tools — a review (Schwingende Bodenwerkzeuge — ein Überblick). Transactions of the ASAE, Joseph (USA) 14 (1971) H. 6, S. 1101—1115, 1121.
- [5] Brjasgunov, A. B.: Effektivnost' aktivnych rabočich organov počvoobrabatyvajuščich mašin (Die Wirksamkeit aktiver Arbeitsorgane von Bodenbearbeitungsmaschinen). Vestnik sel'sk. choz. nauki, Alma Ata (1970).
- [6] Eggenmüller, A.: Schwingende Bodenbearbeitungswerkzeuge Kinematik und Versuche mit einzelnen Modellwerkzeugen. Grundlagen der Landtechnik: Konstrukteurheft Nr. 15. Düsseldorf 8 (1958) H. 10, S. 55—69.
- [7] Sorokin, A. A.: Kolebajuščie organy kartofeleuboročnych mašin (Schwingende Rodeschare an Kartoffelerntemaschinen). Mechanizacija i elektrifikacija soc. sel'sk. choz., Moskva (1968) H. 11, S. 5—6.
- [8] Mogami, T.; Kubo, K.: The behaviour of soil during vibration (Das Verhalten des Bodens während der Schwingung). 3rd Intern. conf. soil

Fortsetzung auf Seite 492

frequenz  $f$  und Amplitude  $A$  verstärkt auf und wird als Verflüssigung oder als tixotropischer Effekt bezeichnet. Die gesamte Zone wird Schwingungszone genannt und als ein Medium in flüssigkeitsähnlichem Zustand angesehen, bei dem die Flüssigkeit in Makropartikeln vorliegt. Bei Frequenzen  $f < 30$  Hz ist eine Scherebenenbildung wie beim starren Werkzeug festzustellen.

#### 4.2. Reibungswiderstand

Der Reibungswiderstand zwischen Gutteilchen und Arbeitsoberfläche wird durch die Wurf- und Bewegung und durch die Abstimmung der Schargeschwindigkeit mit der Auftreffgeschwindigkeit der Gutteilchen unwirksam gemacht.

Durch Messungen auf einem Schwingtisch wurde festgestellt, daß sich der Reibungskoeffizient von Boden auf Stahl bei bestimmten optimalen Frequenzen bis auf 2,5% des ursprünglichen Werts verminderte [9].

#### 4.3. Beschleunigungs- und Stoßenergie

Der Fördervorgang besteht aus einer Aufeinanderfolge von Wurf- und Bewegungsbewegungen. Die zum Abwurf benötigte Energie wird den Gutteilchen durch die Beschleunigung der Förder- (Arbeitsoberfläche des Schares) mitgeteilt. Beim Wiederaufprall geht ein Teil der kinetischen Energie der Teilchen in Form von Reibungs- und Verformungsenergie verloren und muß erneut indiziert werden. Wird die Relativgeschwindigkeit zwischen Gutteilchen und Förder- (Arbeitsoberfläche) zerlegt, dann ergibt sich die Verlustenergie wie folgt:

$$\Delta E = \Delta E_n + \Delta E_t$$

$$= \frac{m_D}{2} (v_{Dnc}^2 + v_{Dnt}^2) + \Delta E_t$$

Die Verlustenergie des Tangentiallaststoßanteils wird  $\Delta E_t = 0$ , wenn das Gut genau nach einer Schwingungsperiode wieder auf die Förder- (Arbeitsoberfläche) trifft. Dann herrschen optimale Verhältnisse bezüglich der Förderenergie und der Fördergeschwindigkeit.

#### 4.4. Fördereffekt

Wenn die im Abschnitt 4.3. genannten optimalen Verhältnisse herrschen, gilt die bekannte Gleichung [10, 11]:

$$1,7 \frac{g \cos \alpha}{\sin \beta} < \omega^2 A < 2,6 \frac{g \cos \alpha}{\sin \beta}$$

$$\Gamma = \frac{\omega^2 A \sin \beta}{g \cos \alpha}$$

Nur bei  $\Gamma > 1$  wird das Gut emporgeworfen. Im o. g. Bereich  $1,7 < \Gamma < 2,6$  wurden bei der Erprobung schwingender Dammaufnahmeelemente folgende Ergebnisse erzielt [10]:

- minimaler Zugkraftbedarf
- geringe Knollenbeschädigung
- hohe Fördergeschwindigkeit.

#### 5. Noch vorhandene Defekte und daraus abzuleitende Aufgabenstellungen

Bisher durchgeführte Untersuchungen zum Energiebedarf schwingender Dammaufnahmeelemente erfaßten die zu überwindenden Widerstände als komplexe Größe. Um den Einfluß der einzelnen Komponenten und die Wirkung von Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs richtig einschätzen zu können, sind die Komponenten getrennt zu untersuchen. Das betrifft vor allem Schnitt-, Reibungs-, Stoß- und Beschleunigungsenergie. Untersuchungen zum Fördereffekt wurden vor allem an Schwingförderern mit horizontalen, in Förderrichtung abfallenden oder nur gering ansteigenden Förder- (Arbeitsoberfläche) durchgeführt. Bei Dammaufnahmeelementen an Kartoffelerntemaschinen sind

# Beitrag zur Untersuchung von grubberartigen Bodenbearbeitungswerkzeugen

Dr.-Ing. G. König, KDT/Dipl.-Ing. B. Seidel, KDT/Dipl.-Ing. W. Rudolph, KDT

## Verwendete Formelzeichen

|                    |                                |   |
|--------------------|--------------------------------|---|
| $A_0$              | m                              | Amplitude des Schwingungswegs an der Werkzeugschulter   |
| $E_{sp}, E_{sp}^*$ | Nm/m <sup>3</sup>              | spezifischer Energiebedarf  |
| $F(t)$             | N                              | Erregung durch Schwingantrieb   |
| $F_x(t)$           | N                              | Kraftkomponente der Bodenreaktion in x-Richtung   |
| $F_{x0}$           | N                              | Mittelwert von $F_x(t)$   |
| $F_z(t)$           | N                              | Kraftkomponente der Bodenreaktion in z-Richtung   |
| $f$                | Hz                             | Frequenz des Schwingantriebs  |
| $f_B$              | Hz                             | Bruchfrequenz   |
| $l_{F_x}$          | m                              | kürzester Abstand in z-Richtung zwischen Werkzeugschulter und Momentenbezugspunkt des Meßgebers |
| $l_{F_z}$          | m                              | kürzester Abstand in x-Richtung zwischen Werkzeugschulter und Momentenbezugspunkt des Meßgebers |
| $l_R$              | m                              | Abstand zwischen Schwingendrehpunkt und Werkzeugschulter  |
| $l_i$              | m                              | Abstand zwischen Schwingendrehpunkt und Pleuelbefestigung an der Schwinge                       |
| $M_y(t)$           | Nm                             | Momentenkomponente der Bodenreaktion um die y-Achse, bezogen auf die Werkzeugschulter           |
| $M_{y0}(t)$        | Nm                             | gemessenes Moment des Meßgebers um die y-Achse  |
| $\Delta O$         | m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> | spezifische Bodenoberfläche   |
| $q_D$              | o                              | Schwingungswinkel   |
| $r$                | m                              | Kurbelradius  |
| $s$                | m                              | zurückgelegter Weg  |
| $s_A$              | m <sup>2</sup>                 | Bodenaufbruch   |
| $t$                | m                              | Arbeitstiefe  |
| $v_f$              | m/s                            | Fahrgeschwindigkeit   |
| $W_{ges}$          | Nm                             | Gesamtenergie   |
| $W_T$              | Nm                             | Translationsenergie   |
| $W_S$              | Nm                             | Schwingungsenergie  |
| $x_w(t), z_w(t)$   | m                              | Parameterdarstellung der Werkzeugbewegungsbahnen  |
| $\alpha$           | o                              | Kurbelwinkel  |
| $\delta$           | o                              | Werkzeugschnittwinkel   |
| $\kappa^*$         | m <sup>2</sup> /N·m            | Zerkleinerungserfolg  |
| $\varphi$          | o                              | Schwingungswinkel   |
| $\omega$           | 1/s                            | Eigenkreisfrequenz des schwingenden Werkzeugs bzw. Winkelgeschwindigkeit                        |

## 1. Problemstellung

Die Bereitstellung leistungsfähigerer und mit hoher Qualität arbeitender Maschinen und Geräte ist ein Schwerpunkt bei der Mechanisierung der Bodenbearbeitung. Eingeschätzt wird, daß die Bodenbearbeitung gegenwärtig mit einem relativ hohen Aufwand durchgeführt wird. Dabei kann ihre Qualität nicht immer befriedigen.

Zur Zeit werden leistungsfähigere Maschinen und Geräte vorwiegend durch die Erweiterung ihrer Betriebsparameter bereitgestellt. Damit wird zwar eine Verbesserung ihrer Produktivität erreicht, jedoch ihr spezifisches Leistungsvermögen im Hinblick auf eine höhere Effektivität, z. B. in der Bodenzerkleinerung, -lockerung und -krümelung, weist mitunter nur eine geringfügige Veränderung auf.

Daher sind wissenschaftlich-technische Grundlagen für die Entwicklung von Werkzeugen zu schaffen, die auch bei ungünstigen Bodenverhältnissen die ihnen zugeordneten Arbeitseffekte mit geringem Energieaufwand zuverlässig erfüllen [1]. Das trifft besonders auch für grubberartige Werkzeuge zu, die bei der pfluglosen Bodenbearbeitung, bei der Stoppelnachbearbeitung, beim Stoppelumbruch und bei der Saattbettbereitung wichtige Funktionen zu erfüllen haben.

## 2. Theoretische Betrachtungen

In der Literatur sind verschiedene Angaben über die Entwicklung grubberartiger Werkzeuge zu finden. Neben der günstigen Gestaltung der Arbeitsflächen und der Abstützung der Werkzeuge wird immer mehr auf die Ausführung zusätzlicher Bewegungen der Werkzeuge orientiert. Bei grubberartigen Bodenbearbeitungswerkzeugen können diese Bewegungen entweder durch den in der Größe veränderlichen Bodenwiderstand oder durch Einleitung dynamischer Kräfte sowie durch Zwangsbewegungen hervorgerufen werden (Bild 1). Dabei treten selbsterregte bzw. aktive Schwingungen auf. Gegenüber den starren Bodenbearbeitungswerkzeugen zeichnen sich im allgemeinen die schwingenden Werkzeuge vor allem durch einen geringeren Translationsenergiebedarf und ein besseres Arbeitsergebnis aus. Dieses konnte bei aktiv schwingenden Bodenbearbeitungswerkzeugen am deutlich-

sten nachgewiesen werden. So stellt Eggenmüller [2] bei Versuchen mit Gänsefußscharen Translationsenergieeinsparungen bis zu 80% gegenüber starren Werkzeugen fest. Untersuchungen zum Gesamtenergieaufwand zeigten aber auch, daß für den Schwingantrieb bis zu 250% der Translationsenergie benötigt werden [3]. Bei optimaler Auslegung der Schwingungsparameter konnte jedoch von Eggenmüller [2] nachgewiesen werden, daß nach Abzug der Leerlaufleistung im Schwingantrieb der Bedarf an Energie geringer ist als der Energiebedarf bei starren Werkzeugen. Vergleichsuntersuchungen von Dubrovskij [4] ergaben bei einem Maulwurfdrainpflug eine wirkungsgradbehafte Gesamtenergieeinsparung von 34%.

Mit aktiv schwingenden Bodenbearbeitungswerkzeugen wurde im Normalfall eine bessere Bodenlockerung und -krümelung erzielt. Dagegen konnten bei starren Werkzeugen eine große Schollenbildung, ein ungenügender Randaufbruch sowie eine geringe Mischung beobachtet werden.

Untersuchungen von Möller [5] an federnden Lockerungswerkzeugen haben eine Senkung des Translationsenergiebedarfs um 20 bis 30% gegenüber starren Werkzeugen ergeben. Rjabcev [6] hat bei Vergleichsuntersuchungen auf dem Feld mit einem Grubber eine Senkung der Translationsenergie von 10 bis 12% auf Sandböden und von 28 bis 30% auf Schwarzerdböden erzielt.

Bei federnden Werkzeugen konnte im allgemeinen ein größerer Zerkleinerungserfolg gegenüber starren Werkzeugen nachgewiesen werden. Clausing [7] stellt dar, daß federnde Werkzeuge wegen ihrer besseren Bodenkrümelung immer mehr den starren Werkzeugen vorgezogen werden.

Neben den genannten Vorteilen der schwingenden Bodenbearbeitungswerkzeuge treten aber auch Nachteile auf, die besonders den praktischen Einsatz von aktiv schwingenden Werkzeugen einschränken. Dazu gehören vor allem der größere konstruktive und materielle Aufwand, die Maßnahmen zum Verhindern der Übertragung der Schwingungen auf das Gerät bzw. die Maschine, die Eindämmung stärker auftretender Geräusche sowie der schwer zu realisierende Überlastschutz. Erschwerend auf

Fortsetzung von Seite 491

- Mech. Foundation/Engineering (1953) H. 1, S. 152—155.
- [9] Ptaszynski, S.: Skrawanie gleb garajacym klinem (Schneiden des Bodens mittels eines schwingenden Keils). Buletin prac naukowo, Warszawa (1967) H. 5, S. 7—63.
- [10] Sorokin, A. A.: Rasčet parametrov kolebanij lemecha kartofeleuboročnych masin (Berechnung der Parameter schwingender Rodeschare in Kartoffelerntemaschinen). Mechanizacija i elektrifikacija soc. sel'sk. choz., Moskva (1963) H. 11, S. 4.
- [11] Baader, W.: Die Absiebung von Erde in Kartoffelerntemaschinen mit schwingendem Siebrost. Landtechnische Forschung. München 11 (1961) H. 6, 160—165.
- [12] Seidel, B.: Untersuchung zum Einfluß der Werkzeugabstützung auf die Entwicklung eines schwingenden Bodenlockerungswerkzeuges. Ingenieurhochschule Berlin—Wartenberg. Dissertationsmanuskript 1977 (unveröffentlicht).

A 2490

Bild 1. Schematische Darstellung grubberartiger Bodenbearbeitungswerkzeuge; 1 keilförmiges Werkzeug, 2 Werkzeugrahmen, 3 Drehgelenk, 4 Geräterahmen, 5 starre Rahmenverbindung, 6 Feder, 7 Koppel, 8 Kurbel

