

# 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	Fahrtgeschwindigkeit
$W_{ges}$	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

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

## 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 Maulwurfdrainflug eine wirkungsgradbehafte Gesamtenergieeinsparung von 34%.

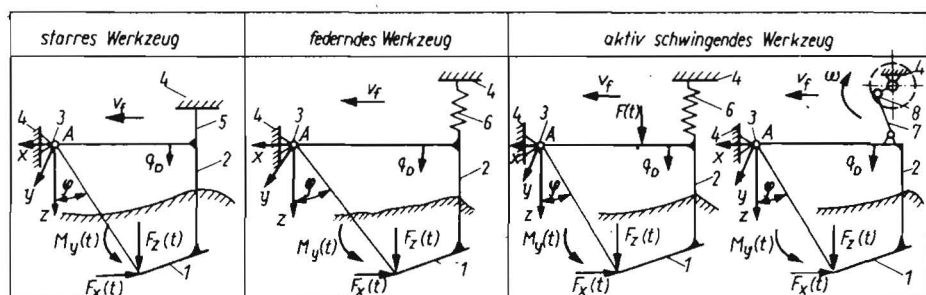
Mit aktiv schwingenden Bodenbearbeitungswerkzeugen wurde im Normalfall eine bessere Bodenlockerung und -krümelung erzielt. Dagegen konnten bei starren Werkzeugen eine große Schollenbildung, ein ungenügender Randaufbruch sowie eine geringe Mischung beobachtet werden.

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

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



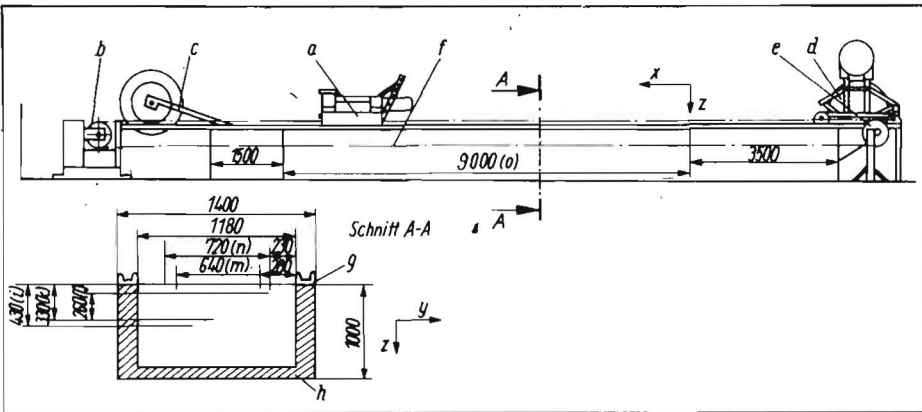


Bild 2. Schematischer Aufbau der Versuchsanlage; a Meßwagen mit Anhängervorrichtung für Walze und Fräse, b Meßwagenantrieb über Seiltriebscheibe mit Gleichstrommotoren, c Walze, d Fräse mit Befeuchtungseinrichtung, e Seilumlenkrolle, f Bodenkanal, g U-Profil für die seitliche Führung des Meßwagens, h Betonsegmente, i maximale Arbeitstiefe für das Versuchswerkzeug, k Bearbeitungstiefe der Fräse, l Abstand zwischen Bodenoberfläche nach dem Walzen und Bearbeitungstiefe der Fräse, m Walzenbreite, n Fräsenbreite, o Meßstrecke

den praktischen Einsatz wirkt sich weiterhin die komplizierte Einstellung der erforderlichen Schwingungsparameter in Abhängigkeit von der veränderlichen Arbeitstiefe und der unterschiedlichen Bodenparameter aus, wenn die energetischen und technologischen Vorteile voll genutzt werden sollen. Damit kommt deutlich der enge funktionelle Zusammenhang zwischen den Konstruktions-, Betriebs- und Bodenparametern sowie den Kennziffern des Energiebedarfs und des Arbeitseffekts zum Ausdruck, der bisher bei den schwingenden Bodenbearbeitungswerkzeugen, und hierbei besonders bei den federnden Werkzeugen, noch nicht tiefgründig und umfassend untersucht wurde.

### 3. Durchgeführte Untersuchungen

Zum Ermitteln weiterer wissenschaftlich-technischer Grundlagen für schwingende Bodenbearbeitungswerkzeuge wurden experimentelle Untersuchungen an einfachen starren und an durch Kurbelantrieb aktiv schwingenden Werkzeugen durchgeführt, die vor allem den Einfluß der Scharparameter und der Schwingungsparameter, wie Amplitude, Frequenz und Schwingungsrichtung, auf den Energiebedarf, den Bodenaufbruch und die Intensität der Bodenzerkleinerung verdeutlichen sollen [8]. Weiterhin wurden erste experimentelle Untersuchungen an einem als Versuchsschwinger ausgebildeten federnden Werkzeug durchgeführt [9, 10]. Die Auswertung erfolgte hierbei nach dem Zugkraftbedarf  $F_{x0}$ , der Intensität der Bodenzerkleinerung (gekennzeichnet durch Bruchfrequenz  $f_B$  und spezifische Oberfläche  $\Delta O$ ) und der mittleren Amplitude  $A_0$  der selbst-erregten Schwingungen.

#### 3.1. Versuchsanlage

Als Versuchsanlage wurde der im Bild 2 schematisch dargestellte Bodenkanal benutzt. Auf U-förmigen Betonfertigteilen befindet sich der Meßwagen, der mit Hilfe eines Seilzugs angetrieben wird. Die Fahrgeschwindigkeit des Meßwagens läßt sich spannungsgeregelt stufenlos einstellen. Die zu untersuchenden Werkzeuge wurden mit entsprechenden Vorrichtungen an den Meßwagen montiert (Bild 3) [11]. Dabei konnten die Schwingungsenergie  $W_S$  und die Translationsenergie  $W_T$  aus den Signalverläufen der Kräfte  $F_x(t)$ ,  $F_z(t)$  bzw. dem auf die Werkzeugspitze bezogenen Moment

$$M_y(t) = M_{yg}(t) - l_{Fx} F_x(t) - l_{Fz} F_z(t) \quad (1)$$

sowie aus den Beziehungen der Schwingungskinetik ermittelt werden. Die Längen  $l_R$  und  $l_l$  wurden auf der Grundlage der bei schwingenden Grubberwerkzeugen zu erwartenden Kinetik gewählt. Durch ein Verschieben des Werkzeugs auf der Schwinde konnte für diesen ebenen Schwingungszustand eine Veränderung des Schwingungswinkels  $\varphi$  erzielt werden. Die Amplitude  $A_0$  der sich ergebenden harmonischen Schwingung wurde durch Verändern des Kurbelradius entsprechend Gl.(2) eingestellt:

$$A_0 = \frac{r}{l_l} l_R \quad (2)$$

Als Gleichungen für die Bewegungsbahnen der Werkzeuge ergaben sich:

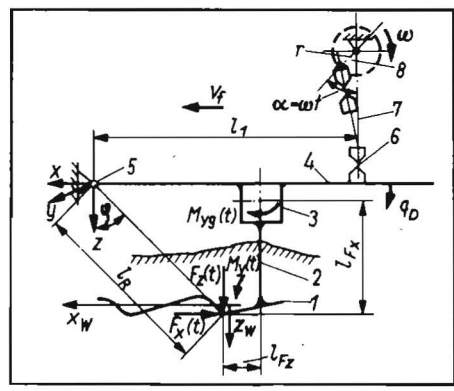


Bild 3. Versuchsstand zum Untersuchen der Bodenreaktion an schwingenden Werkzeugen; 1 Werkzeug, 2 Werkzeugstiel, 3 Meßgeber, 4 Schwinge, 5 Silentbuchsenpaar, 6 Federgelelenk, 7 Koppel, 8 Kurbel

$$x_w(t) = v_f t + A_0 \cos \varphi \cos \omega t \quad (3)$$

$$z_w(t) = A_0 \sin \varphi \cos \omega t \quad (4)$$

Für die Versuche wurden, dargestellt am Beispiel der Untersuchungen an federnden Modellwerkzeugen, die im Bild 4 zusammengefaßten elektrischen Meßgeräte verwendet.

### 3.2. Ergebnisse

#### 3.2.1. Aktiv schwingende Werkzeuge

Im Normalfall sank mit steigender Amplitude  $A_0$  und Frequenz  $f$  die Zugkraft und erhöhte sich die Intensität der Bodenzerkleinerung [8]. Die Intensität der Bodenzerkleinerung wurde durch Ermitteln der aus der Siebanalyse bestimmten spezifischen Bodenoberfläche  $\Delta O$  und der Frequenz  $f_B$  zur Bildung von Bruchkörpern erfaßt. Im Vergleich zu starren Werkzeugen nimmt bei aktiv schwingenden Werkzeugen der aufgelockerte und durch den Bodenaufbruch  $s_A$  symbolisierte Bodenquerschnitt ab. Das wesentliche Ergebnis der Untersuchungen wird im Ermitteln von Feder-Dämpfer-Kennwerten des Bodens gesehen, womit eine direkte Verbindung zur umfassend bekannten klassischen Schwingungstheorie hergestellt werden kann. Nachgewiesen wurde, daß der in Wechselwirkung mit dem Werkzeug stehende Boden in Abhängigkeit von den Konstruktions-, Betriebs- und Bodenparametern selbsterregend wirken kann. Die Untersuchungen ermöglichen das Vorausberechnen der

- Eigenfrequenz federnder und durch dynamische Kräfte aktiv schwingender Werkzeuge unter Betriebsbedingungen
- mittleren Amplitude  $A_0$ , der selbsterregten Schwingungen.

Durch die wahlweise feste Einstellung der Schwingungsparameter mit dem Kurbelantrieb ist ein Vergleich zwischen starren ( $A_0 = 0$ ), federnden ( $A_0 = A_{0e}$ ) und aktiv schwingenden Werkzeugen in Abhängigkeit von der Konstruktion der Werkzeugabstützung möglich. Der im Bild 5 gezeigte Verlauf des an einem Lockerungswerkzeug ermittelten spezifischen Energiebedarfs

$$E_{sp} = \frac{W_T + W_S}{s_A s} \quad (5)$$

soll diesen Sachverhalt verdeutlichen, wobei sich  $E_{sp}$  und  $E_{sp}^*$  auf zwei verschiedene Schwingertypen beziehen. Dieses Beispiel zeigt, daß bei  $\varphi = 20^\circ$  der energetisch optimale Schwingungswinkel vorliegt. Die Amplitude beträgt dabei etwa  $A_0 = 6$  mm. Mit zunehmendem Schwingungswinkel steigt die Gesamtenergie  $W_{ges}$  und sinkt der Bodenaufbruch  $s_A$ . Daraus resultiert der Anstieg des spezifischen Energiebedarfs mit steigendem Schwingungswinkel. Diese energetischen Verhältnisse ändern sich, wenn zusätzlich die Dämpfung in den Bauteilen der Werkzeugabstützung berücksich-

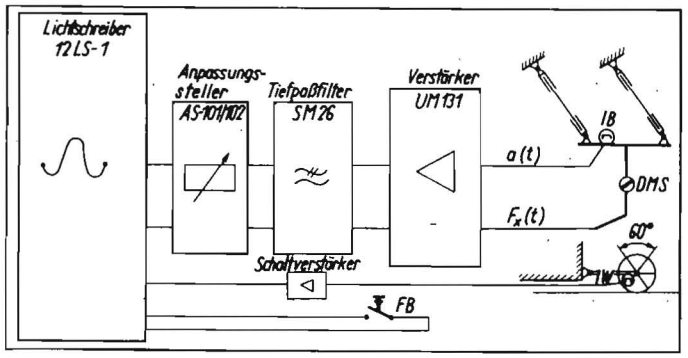


Bild 4. Blockschaltbild der elektrischen Meßeinrichtung für die Untersuchung federnder Werkzeuge: DMS Dehnungmeßstreifen, IB Fernbedienung, IB Beschleunigungsaufnehmer, IW induktiver Wegaufnehmer

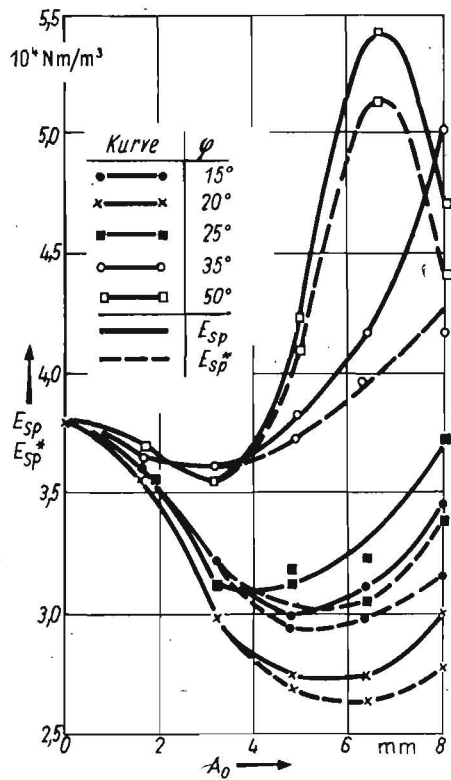


Bild 5. Spezifischer Energiebedarf  $E_{sp}$  in Abhängigkeit von Amplitude  $A_0$  und Schwingungswinkel  $\varphi$  ( $f = 25\text{ Hz}$ ,  $v_f = 1\text{ m/s}$ ,  $t = 0,10\text{ m}$ )

sichtigt wird. Aus den Untersuchungen folgt, daß ein aktiv schwingendes Werkzeug gegenüber einem starren Werkzeug bei optimaler Wahl der Schwingungsparameter deutliche energetische Vorteile hat.

### 3.2.2. Federnde Werkzeuge

Zur Nutzung der Vorteile des aktiv schwingenden Werkzeugs, ohne dabei auf den nachteiligen Schwingantrieb zurückgreifen zu müssen, wurden Untersuchungen an federnden Modellwerkzeugen durchgeführt [10]. An diesen Werkzeugen zeigte sich, daß der größte Zerkleinerungserfolg

$$\kappa^* = \frac{\Delta O}{F_{x0}} \quad (6)$$

bei einem Schwingungswinkel von  $\varphi = 32^\circ$  auftrat (Bild 6). Der optimale Schnittwinkel betrug  $\delta = 25^\circ$ . Bei diesem Schnittwinkel ist die Bruch-

frequenz  $f_B$  kleiner als bei anderen Schnittwinkeln. Zwischen dem Zerkleinerungserfolg  $\kappa^*$  und der Bruchfrequenz  $f_B$  besteht hierbei eine entgegengesetzte Tendenz.

Die mit den federnden Modellwerkzeugen erzielten Ergebnisse sind noch nicht repräsentativ genug, um weiterreichende Schlußfolgerungen für die Entwicklung federnder Bodenbearbeitungswerkzeuge ziehen zu können. Sie bestätigen jedoch in der Tendenz, daß die positiven Ergebnisse von Untersuchungen an aktiv schwingenden Bodenbearbeitungswerkzeugen bei richtiger Wahl der Schwingungsparameter auf federnde Werkzeuge zu übertragen sind.

Dazu ist jedoch noch eine Reihe von theoretischen und experimentellen Untersuchungen im Bodenkanal sowie auf dem Feld erforderlich.

## 4. Zusammenfassung

Als Ergebnis von theoretischen Betrachtungen zu aktiv schwingenden und federnden grubberartigen Bodenbearbeitungswerkzeugen werden unter dem Gesichtspunkt des Energiebedarfs und des Arbeitsergebnisses die Vor- und Nachteile ihres Einsatzes kurz charakterisiert. Dabei kann auf den engen funktionalen Zusammenhang zwischen Konstruktions-, Betriebs- und Bodenparametern sowie den Kennziffern des Energieeinsatzes und des Arbeitserfolgs hingewiesen werden. Anhand ausgewählter Beispiele von experimentellen Untersuchungen an aktiv schwingenden und federnden Modellwerkzeugen werden erste Ergebnisse dazu dargelegt.

## Literatur

- [1] König, G.; Seidel, B.; Mainz, H.; Rudolph, W.: Erarbeitung von wissenschaftlich-technischen Grundlagen für die Entwicklung von Werkzeugen zur Saatbettbereitung unter besonderer Berücksichtigung trockenharter Böden. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg. Forschungsbericht 1977 (unveröffentlicht).
- [2] Eggenmüller, A.: Schwingende Bodenbearbeitungswerkzeuge. Grundlagen der Landtechnik. Düsseldorf 15 (1958) H. 10, S. 55–96.
- [3] Reichel, H.: Untersuchungen an federnd angeordneten Bodenbearbeitungswerkzeugen. TU Dresden. Dissertation 1964 (unveröffentlicht).
- [4] Dubrovskij, A. A.: Issledovanie vlijanija vibracii na rabotu počvoočistnyh i vajuščich orudij (Untersuchung des Einflusses der Vibrationen auf die Arbeit von Bodenbearbeitungsgeräten). Sbornik trudov po zemledel'českoj mehanike. Moskva (1961) Band VI, S. 580–584.
- [5] Möller, R.: Zugkraftbedarf und Arbeitererfolg

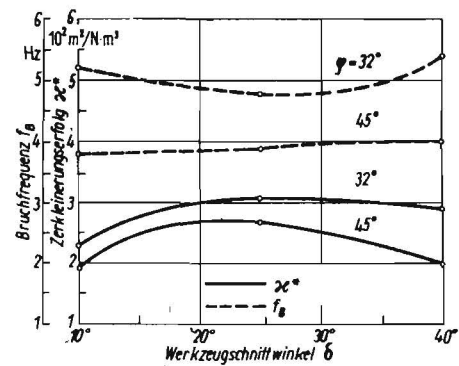


Bild 6. Einfluß des Schnittwinkels  $\delta$  auf Zerkleinerungserfolg  $\kappa^*$  und Bruchfrequenz  $f_B$  bei konstantem Schwingungswinkel  $\varphi$

- starrer und federnder Grubberzinken. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 16/17 (1959) H. 11, S. 85–94.
- [6] Rjabcev, G. A.: Uprugaja podveska kultivatornyh lap (Federbefestigte Kultivatorzinken). Mech. i. elektr. sel'sk. choz., Moskva 29 (1971) H. 7, S. 38.
- [7] Clausing, F.: Weiterentwicklung auf dem Sektor Bodenbearbeitung. Agrartechnik international 54 (1975) H. 10/11, S. 8–9.
- [8] Seidel, B.: Untersuchungen zur Nutzung und Vermeidung von Schwingungen bei der Bodenbearbeitung. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsteilbericht 1978 (unveröffentlicht).
- [9] Seidel, B.: Vorrichtung zum Ermitteln optimaler Einsatzparameter für federnde Werkzeuge. DDR-Patent 133997, Int. Cl. G 01 M 7/00. Ausgabetag: 31. Jan. 1979.
- [10] Christoph, E.; Volkmann, H.: Experimentelle Untersuchungen an einem als Translationschwinger ausgebildeten selbsterregt schwingenden Bodenbearbeitungswerkzeug. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1978 (unveröffentlicht).
- [11] Seidel, B.: Bodenbearbeitung mit keilförmigen, schwingenden Lockerungswerkzeugen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Festschrift zum 75. Geburtstag von H. Heyde 1978, S. 22–40. A 2481

## Fachveranstaltungen

An dieser Stelle weisen wir noch einmal auf drei Veranstaltungen hin, die im November und Dezember 1979 vom Fachverband Land-, Forst- und Nahrungsgütertechnik der KDT durchgeführt werden:

- Am 14. und 15. November organisiert die Wissenschaftliche Sektion Chemisierung der Pflanzenproduktion die 3. wissenschaftlich-technische Tagung „Rationalisierung der Arbeitsprozesse in den agrochemischen Zentren“. Sie findet im Neubrandenburger Filmpalast statt.
- Der zentrale Erfahrungsaustausch „Eigenbau von Rationalisierungsmitteln in der Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirt-

schaft“ wird am 22. und 23. November veranstaltet. Tagungsort ist das Hygienemuseum Dresden.

- Am 5. und 6. Dezember findet die VI. wissenschaftlich-technische Tagung „Instandhaltung“ der Wissenschaftlichen Sektion Erhaltung landtechnischer Arbeitsmittel in Markkleeberg statt.
- Weitere Auskünfte zu den genannten Veranstaltungen erteilt der Fachverband Land-, Forst- und Nahrungsgütertechnik der KDT, 1086 Berlin, Clara-Zetkin-Str. 115/117, PSF 1315.

AK 2520