

im linear geteilten Koordinatennetz dargestellt (Bild 3).

Frühere Untersuchungen gehen z. T. davon aus, daß die Aggregatgrößenzusammensetzung (Siebrückstand R) eines mechanisch zerkleinerten Bodens dem aus der Hartzerkleinerung bekannten Exponentialgesetz genügt [4, 5]:

$$R = 100 e^{-(d/d')^n} \quad (4)$$

Wird dieses Gesetz erfüllt, erhält man bei der grafischen Auswertung im doppeltlogarithmischen Körnungsnetz nach Rosin-Rammler-Sperling-Benett (RRSB-Körnungsnetz) eine Gerade.

Die auf mehreren Standorten nach unterschiedlichen Gerätekombinationen ermittelten Aggregatgrößenzusammensetzungen sind im RRSB-Körnungsnetz ausgewertet worden [6]. Dabei zeigte sich, daß o. g. Gesetzmäßigkeit nicht erfüllt ist. Vielmehr läßt der stets ähnliche Kurvenverlauf auf das Vorhandensein anderer Gesetzmäßigkeiten schließen.

5. Zusammenfassung

Für die Bestimmung des Zerkleinerungsergebnisses bei der Bodenbearbeitung hat sich die Siebanalyse als zweckmäßiges Verfahren behauptet. Mit der Entwicklung eines Spaltensiebs (Einebenenplanschwingsieb) konnten die gerätebedingten Fehler erheblich reduziert werden.

Aus ersten Ergebnissen von Siebanalysen mit dem Spaltensieb auf Böden, die mit den gegenwärtig üblichen Geräten bearbeitet worden waren, ergaben sich nicht die bisher angenommenen Gesetzmäßigkeiten der Aggregatgrößenzusammensetzung.

Die vorgestellte Siebeinrichtung erscheint geeignet, die objektive Kennzeichnung des Arbeitsergebnisses von Bodenbearbeitungswerkzeugen weiter zu verbessern.

Literatur

- [1] Soucek, R.; Anisch, S.; Büschel, R.: Zur Ermittlung des Zerkleinerungsergebnisses beim Bodenbearbeiten. *agrartechnik*, Berlin 33 (1983) 11, S. 494–497.

- [2] Hillig, U.; Soucek, R.; Anisch, S.: Richtlinie für die Bestimmung der Aggregatgrößenzusammensetzung des Ackerbodens mittels Spaltensieb. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Arbeitsmaterial 1983 (unveröffentlicht).
- [3] Hillig, U.: Experimentelle Untersuchungen einer Siebeinrichtung. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Ingenieurbeleg 1981 (unveröffentlicht).
- [4] Regge, H.: Der Zerkleinerungserfolg als Bewertungsmaßstab für Bodenbearbeitungsgeräte und -maschinen. Dt. Agrartechnik, Berlin 15 (1965) 8, S. 376–378.
- [5] Theissing, K.: Arbeitseffekte von Geräten zur Sekundärbodenbearbeitung. Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, Dissertation 1975.
- [6] Lorenz, F.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen von Gesetzmäßigkeiten des Bodenzerfalls nach seiner mechanischen Bearbeitung. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Diplomarbeit 1981 (unveröffentlicht).

A 3968

Untersuchungen an ausgewählten Werkzeugelementen zur Zerkleinerung von Bodenkörpern hinsichtlich der Energieausnutzung

Prof. Dr.-Ing. R. Soucek, KDT/Dr.-Ing. S. Anisch, KDT/Dr.-Ing. K. Jorschick

1. Problemstellung

Die Bodenbearbeitung soll einen gegebenen Boden durch Zerkleinern, Wenden, Lockern, Einebnen oder Verdichten strukturschonend und fondssparend in den für die anzubauende Kulturpflanze günstigsten Zustand überführen. Auf vielen Standorten bereitet vor allem die Zerkleinerung der beim Wenden oder Lockern entstandenen Bodenkluten große Schwierigkeiten, wodurch ein hoher Aufwand für die Saatbettbereitung erforderlich ist. Neu zu entwickelnde Zerkleinerungswerkzeuge sollen die geforderte Zerkleinerungswirkung bei geringem spezifischen Energieaufwand erzielen.

Die Effektivität bei der Bodenzerkleinerung kann u. a. durch die bessere Ausnutzung der Energie am Werkzeug erhöht werden. Deshalb wird im weiteren die Wirkpaarung Zerkleinerungswerkzeug-Boden betrachtet.

Das Grundelement der Zerkleinerungswerkzeuge ist der Keil, dessen Wirkung im Boden, wie aus der Literatur hervorgeht, in Abhängigkeit von den Einstell- und Bodenparametern sehr unterschiedlich ist [1, 2, 3, 4]. Es werden Normal- und/oder Schubspannungen hervorgerufen. Der Bodenbruch als Voraussetzung für die Zerkleinerung tritt ein, wenn eine Spannung die Bodenfestigkeit überschreitet. Der Boden kann sowohl durch Überwinden seiner Zug- als auch seiner Schubfestigkeit brechen. In der überwiegenden Anzahl von Versuchen wurde ermittelt, daß der Bodenbruch durch Überwinden der Schubfestigkeit auftritt [1, 2]. Beim Eindringen des Werkzeugs in den Boden wird durch die Verdichtung ein Spannungsfeld mit einer Spannungskonzentration vor der Werkzeug-

schneide hervorgerufen. Durch weitere Vorwärtsbewegung des Werkzeugs erhöhen sich die Spannungen im Boden, bis ein Grenzgleichgewichtszustand erreicht ist, wobei sich Risse ausbilden. Nach Überschreiten dieses Zustands wird das zusammengedrückte Bodenvolumen entlang einer Scherebene durch Überwinden der Schubfestigkeit des Bodens abgetrennt und verschoben. Dabei bricht die Spannung im Bodenbruchkörper zusammen. Durch den plötzlichen Wegfall der hohen Belastung kann infolge von Expansion eine weitere Zerkleinerung des Bodenkörpers erfolgen.

Ein anderes Bruchverhalten tritt beim Einwirken von Werkzeugen mit kleinem Keilwinkel auf [1, 3, 5, 6].

Durch die hohe Spannungskonzentration vor der Werkzeugschneide bildet sich zunächst ein Riß, der bei weiterer Vorwärtsbewegung des Werkzeugs schnell weiter fortschreitet, wodurch ein Bruchkörper abgetrennt wird. Da sich im Bodenkörper nur ein schwaches Spannungsfeld ausbildet, tritt meist keine weitere Zerkleinerung ein. Der Boden bricht durch Überwinden seiner Zugfestigkeit im Bereich des der Werkzeugschneide voraus-eilenden Risses.

In Auswertung der Literatur kann zusammenfassend festgestellt werden:

- In Abhängigkeit von den Einstell- und Bodenparametern kann der Keil den Bodenbruch durch Überwinden sowohl der Zug- als auch der Schubfestigkeit hervorrufen.
- Der Bodenbruch durch Überwinden der Zugfestigkeit, wie er bei Zug- oder Biegebelastung auftritt, ist energetisch wesentlich günstiger als der Bodenbruch durch

Überwinden der Schubfestigkeit infolge von Druck- oder Schubbelastung.

- Beim Bodenbruch durch Überwinden der Schubfestigkeit kann eine bessere Zerkleinerungswirkung infolge der stärkeren Beanspruchung eines größeren Bodenvolumens erreicht werden.
- Zur Wirkung eines Keils auf einzelne Bodenkörper liegen nur ungenügende Erkenntnisse vor.
- Bodenkörper können mit Hilfe von Draht mit geringem Energieaufwand zerkleinert werden.
- Der Energieaufwand für den Bodenbruch kann verringert werden, wenn zusätzlich zur Druckbelastung eine Schubkraft aufgebracht wird.
- Bisher wurden lediglich energetische Betrachtungen durchgeführt, wobei die Zerkleinerungswirkung unberücksichtigt blieb.
- Die vorliegenden Ergebnisse lassen sich nicht vergleichen, da sie an sehr unterschiedlichen Modellkörpern und unter veränderten Versuchsbedingungen gewonnen wurden.

Als Grundlage für die Entwicklung von Werkzeugen zur Zerkleinerung von Bodenkluten bei der Saatbettbereitung wurden deshalb theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Belastung von einzelnen Bodenkörpern durch keilförmige Werkzeuge und gespannte Drähte sowie zur kombinierten Druck-Schub-Belastung durchgeführt. Auf die Darlegung der theoretischen Betrachtungen, die durch die experimentellen Ergebnisse bestätigt werden, wird hier verzichtet [4]. Als Proben für die Experimente dien-

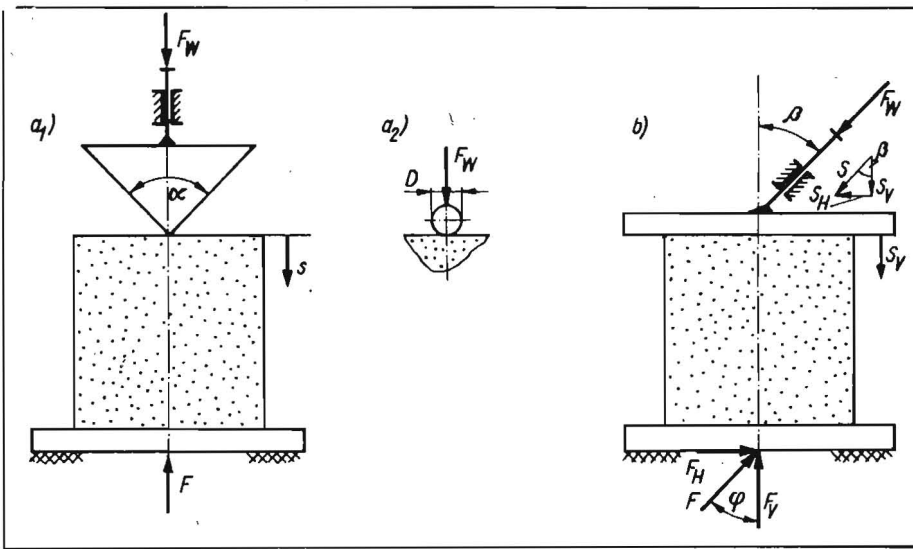


Bild 1. Modell für die experimentellen Untersuchungen; Belastung des Bodenkörpers durch einen Keil (a₁), durch einen gespannten Draht (a₂) oder durch eine Platte (b)

Tafel 1. Mittlerer vertikaler Vorschubweg bis zum sichtbaren Bodenbruch in mm

Bodenkörper	α in °								D in mm				β in °							
	180	150	120	90	60	30	15		0,4	1,1	2,0	4,0	0	15	30	45	60	75	85	
natürlich	8	8	8	8	8	12	20	44	16	12	8		8	8	8	8	6	4	-	
gepreßt	8	8	8	8	8	8	12	-	-	-	-		8	8	8	8	6	4	3	

ten sowohl in einer Form gepreßte als auch aus natürlichem Feldeboden hergestellte Modellbodenkörper. Die Untersuchungen sollen Aussagen zum Bruchverhalten, zur Zerkleinerungsenergie, zur Zerkleinerungswirkung und zum Zerkleinerungserfolg in Abhängigkeit vom Keilwinkel, vom Drahtdurchmesser und vom Verhältnis von Druck- und Schubbelastung bei einem bestimmten Vorschubweg ermöglichen.

2. Untersuchungsmodell

Um die von Form und Größe der Bodenkörper ausgehenden Einflüsse auf die Versuchsergebnisse möglichst gering zu halten, werden für alle durchzuführenden Versuche würfelförmige Bodenkörper mit 5 cm Kantenlänge verwendet.

Die natürlichen Bodenkörper lassen sich am besten aus den beim Pflügen entstehenden Bodenkluten herstellen. Vor Beginn der Untersuchungen werden die notwendigen Bodenkluten an einem Standort mit geringen Schwankungen der Bodenparameter unmittelbar nach dem Pflügen entnommen und einzeln in Foliebeutel verpackt zwischengelagert. Die Herstellung der würfelförmigen Bodenkörper erfolgt durch Beschneiden in einer Vorrichtung erst kurz vor der Versuchsdurchführung.

Zur Herstellung der gepreßten Bodenkörper wird einem durch ein 2,5-mm-Rundlochsieb abgeseihten Boden Wasser zugemischt, bis die Einformfeuchte (rd. 19 %) erreicht ist.

Tafel 2. Bodenwassergehalt und Trockendichte

Bodenkörper	Bodenwasser-gehalt		Trockendichte	
	\bar{x} %	s %	\bar{x} g/cm ³	s g/cm ³
natürlich	17,5	1,3	1,63	0,066
gepreßt	14,8	1,6	1,72	0,033

Nach dem Absieben durch ein 5-mm-Rundlochsieb erfolgt der Feuchteausgleich in einem luftdichten Behälter. Die Lagerung der in einer Vorrichtung gepreßten Bodenkörper (50 mm × 50 mm × 380 mm) erfolgt in einem abgedichteten Schrank, bis in einem langsamen Trocknungsprozeß der gewünschte Bodenwassergehalt erreicht ist. Die würfelförmigen Bodenkörper werden unmittelbar vor der Versuchsdurchführung durch Teilung hergestellt. Entsprechend dem Untersuchungsmodell (Bild 1) steht der Bodenkörper auf einer ebenen Platte. Auf ihn wirkt ein Keil oder ein gespannter Draht in vertikaler Richtung ein (Bild 1a). Die Reaktionskräfte werden an der Platte mit Hilfe der Dehnungsmeßtechnik als Vertikal- und Horizontalkomponente gemessen. Zur Untersuchung der kombinierten Druck-Schub-Belastung und der einachsigen Druckbelastung wird der auf der Meßplatte stehende Bodenkörper mit einer ebenen parallelen Platte belastet (Bild 1b). Durch Neigung der Werkzeugbewegungsrichtung zur Vertikalen um den Winkel β wird neben der Druckbelastung infolge der Reibung an den Kontaktflächen zwischen den Belastungsplatten und dem Bodenkörper gleichzeitig eine Schubbelastung erzeugt. Dabei neigt sich die resultierende Kraft um den Winkel φ zur Vertikalen.

Es ist der Einfluß des Keilwinkels α , des Drahtdurchmessers D und des Neigungswinkels β bei unterschiedlichem Werkzeugvorschub auf die Zielgrößen Bruchkraft F_B , Zerkleinerungsenergie W, Zunahme der Bodenoberfläche ΔO als Maß für die Zerkleinerungswirkung und Zerkleinerungserfolg $\kappa = \Delta O/W$ zu untersuchen. Dabei werden die Belastungen quasistatisch mit einer konstanten Werkzeuggeschwindigkeit von 2 mm/s aufgebracht. Belastet wird bis zum sichtbaren Bodenbruch (Tafel 1). Vergleichsuntersuchungen mit einem konstanten Vor-

schubweg von 20 mm bestätigen prinzipiell die gewonnenen Ergebnisse.

Die Bodenparameter sollen für alle Untersuchungen konstant sein. Bodenwassergehalt und -dichte werden nach den Standards TGL 11459 und TGL 11462 an jedem einzelnen Bodenkörper bestimmt, um die Konstanz der Bodenparameter zu kontrollieren.

Alle Untersuchungen werden an lehmigem Schluff (IU) nach Standard TGL 24300/05 durchgeführt. Der mittlere Reibwinkel der Paarung Stahl-Boden beträgt für die natürlichen Bodenkörper 27,2° und für die gepreßten Bodenkörper 16,6°. Der Bodenwassergehalt und die Trockendichte sind in Tafel 2 als Mittelwert \bar{x} und Standardabweichung s angegeben.

Bedingt durch die Unterschiede bei der Herstellung und die Abweichungen in Bodenwassergehalt und Trockendichte sind die Ergebnisse von natürlichen und gepreßten Bodenkörpern nicht direkt miteinander vergleichbar und werden wie die an zwei Bodenzuständen ermittelten Werte behandelt. Während sich die natürlichen Bodenkörper durch den relativ hohen Bodenwassergehalt sehr plastisch verhalten, reagieren die gepreßten Bodenkörper infolge des geringeren Bodenwassergehalts, der etwas höheren Trockendichte und der Verfestigung infolge des Pressens relativ spröde. So repräsentieren die verwendeten Bodenkörper einmal einen feucht-plastischen (natürliche Bodenkörper) und einmal einen trocken-harten Boden (gepreßte Bodenkörper).

Nach statistischer Auswertung von Stichprobenuntersuchungen wurden bei natürlichen Bodenkörpern 20 und bei gepreßten Bodenkörpern 10 Versuchswiederholungen für jeden Meßpunkt festgelegt [4].

Das erste Maximum im gemessenen zeitlichen Kraftverlauf während der Bodenbelastung ist Grundlage für die Bestimmung der Bruchkraft. Aus der mittleren resultierenden Kraft und dem Werkzeugvorschubweg wird die Zerkleinerungsenergie bestimmt. Die Zunahme der Bodenoberfläche ist die Differenz aus der Bodenoberfläche nach der Zerstörung des Bodenkörpers und seiner Ausgangsoberfläche.

Die Oberfläche nach der Zerstörung wird mit Hilfe der Siebanalyse bestimmt, wobei die Bruchkörper > 20 mm manuell ausgemessen werden. Der Zerkleinerungserfolg ist das Verhältnis von Zunahme der Bodenoberfläche und Zerkleinerungsenergie [4].

3. Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungen zum Einfluß des Keilwinkels auf die Zielgrößen wurden an natürlichen und gepreßten Bodenkörpern im Bereich $180^\circ \geq \alpha \geq 15^\circ$ in Schritten von 30° durchgeführt (Bild 2). Während der Versuchsdurchführung konnten in Abhängigkeit vom Keilwinkel deutlich zwei Bereiche des Bodenverhaltens beobachtet werden. Diese Bereiche sind auch im Verhalten der Zielgrößen (Bild 2) zu erkennen. Das bestätigt die Annahme, daß der Boden in Abhängigkeit vom Keilwinkel des einwirkenden Werkzeugs zum einen durch Überwinden seiner Zugfestigkeit und zum anderen durch Überwinden seiner Schubfestigkeit bricht. Der Übergang von einem Bereich des Bodenverhaltens zum anderen befindet sich zwischen 90° und 120°.

Die Bruchkraft F_B verringert sich mit abnehmendem Keilwinkel. Bei kleineren Keilwinkeln ($\alpha < 90^\circ$) eilt dem Werkzeug ein Reiß-

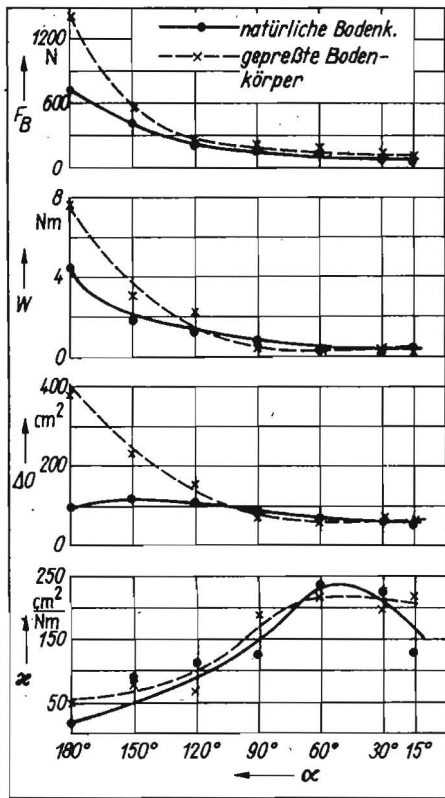


Bild 2. Bruchkraft F_B , Zerkleinerungsenergie W , Zerkleinerungswirkung ΔO und Zerkleinerungserfolg κ in Abhängigkeit vom Keilwinkel α bei einem Werkzeugvorschub bis zum sichtbaren Bodenbruch

voraus, in dessen Bereich der Boden durch Überwinden seiner Zugfestigkeit bricht. Die Bodenbelastung mit großen Keilwinkeln ($\alpha > 120^\circ$) ruft Druckbeanspruchung hervor, und der Boden bricht durch Überwinden seiner Schubfestigkeit.

Die Zerkleinerungsenergie W verhält sich ähnlich wie die Bruchkraft. Für kleine Keilwinkel ist sie sehr klein und nahezu unabhängig vom Keilwinkel, während sie für große Keilwinkel mit diesem erheblich ansteigt. Der geringfügige Anstieg der Zerkleinerungsenergie für sehr kleine Keilwinkel ($\alpha < 30^\circ$) ist auf die Zunahme des notwendigen Werkzeugvorschubs bis zum sichtbaren Bodenbruch zurückzuführen. Der unterschiedliche Bodenzustand beeinflusst beide Kennwerte nur bei größeren Keilwinkeln.

Die Zerkleinerungswirkung ΔO ist für kleine Keilwinkel nahezu unabhängig vom Bodenzustand. Bei plastischem Bodenverhalten nimmt sie auch für große Keilwinkel kaum zu, während bei trocken-hartem Boden eine sehr gute Zerkleinerungswirkung erreichbar ist. Der Werkzeugvorschubweg hat bei kleinen Keilwinkeln geringen Einfluß auf die untersuchten Kennwerte. Bei großen Keilwinkeln steigen die Zerkleinerungsenergie und die Zerkleinerungswirkung mit dem Werkzeugvorschubweg nahezu linear an.

Der Zerkleinerungserfolg κ ist vom Bodenzustand annähernd unabhängig. Für kleine Keilwinkel hat er im Bereich $90^\circ \geq \alpha \geq 30^\circ$ ein Maximum. Da die Zerkleinerungsenergie mit zunehmendem Keilwinkel schneller steigt als die Zerkleinerungswirkung, ist trotz der hohen Zerkleinerungswirkung bei einem bestimmten Bodenzustand für große Keilwinkel nur ein relativ geringer Zerkleinerungserfolg erreichbar. Der Werkzeugvorschub hat

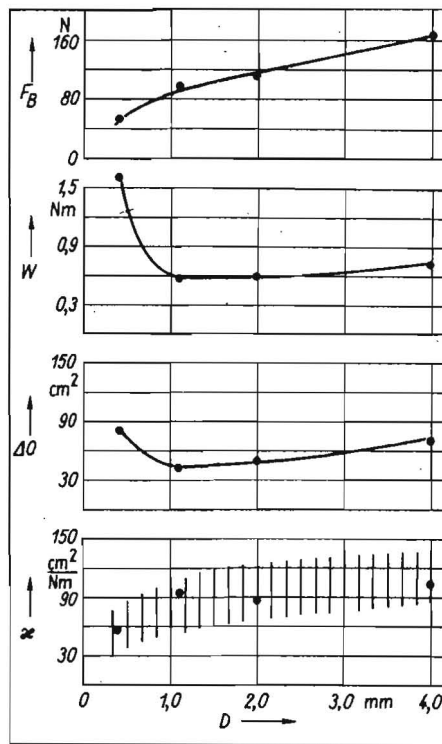


Bild 3. Bruchkraft F_B , Zerkleinerungsenergie W , Zerkleinerungswirkung ΔO und Zerkleinerungserfolg κ in Abhängigkeit vom Drahtdurchmesser D bei einem Werkzeugvorschub bis zum sichtbaren Bodenbruch für natürliche Bodenkörper

dabei wenig Einfluß auf den Zerkleinerungserfolg.

Für die Gestaltung von keilförmigen Werkzeugen zur Bodenzerkleinerung ergibt sich daraus, daß besonders Werkzeuge mit kleinem Keilwinkel, die nur eine geringe Bruchkraft zu überwinden haben, gut geeignet sind. In Kombination mit stumpfwinkligen Werkzeugen ist bei wenig plastischem Bodenverhalten eine Verbesserung der Zerkleinerungswirkung möglich. Voraussetzung dafür ist, daß die notwendigen Bruchkräfte auf die Bodenkluten übertragen werden und diese nicht in den Untergrund ausweichen können. Als Nebeneffekt treten dabei eine Saatbettverdichtung und eine Arbeitstiefenführung des Werkzeugs auf.

Der Einfluß des Drahtdurchmessers auf die Zielgrößen wurde an natürlichen Bodenkörpern im Bereich $0,4 \text{ mm} \leq D \leq 4,0 \text{ mm}$ untersucht (Bild 3). Für große Durchmesser ($D > 1,0 \text{ mm}$) ist deutlich die Bildung eines Bodenstaukörpers vor dem Draht zu erkennen. Der Boden bricht durch Überwinden der Zugfestigkeit im Bereich des dem Bodenstaukörper vorausseilenden Risses. Bei kleineren Durchmessern bildet sich kein Staukörper.

Die Bruchkraft F_B steigt mit zunehmendem Drahtdurchmesser an. Die Zerkleinerungsenergie W nimmt aber kaum zu, da sich im untersuchten Bereich der notwendige Vorschubweg bis zum Bodenbruch verringert (Tafel 1). Für den noch zu untersuchenden Bereich des Drahtdurchmessers $D > 4 \text{ mm}$ ist eine rasche Zunahme der Zerkleinerungsenergie zu vermuten, da sich bei weiter steigender Bruchkraft der notwendige Werkzeugweg kaum noch verringern wird. Bedingt durch den sehr großen Werkzeugweg

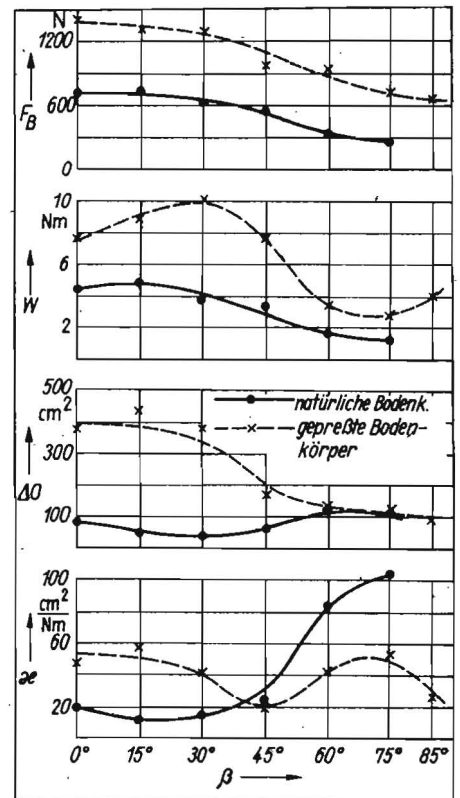


Bild 4. Bruchkraft F_B , Zerkleinerungsenergie W , Zerkleinerungswirkung ΔO und Zerkleinerungserfolg κ in Abhängigkeit vom Neigungswinkel β der Werkzeugbewegungsrichtung zur Vertikalen bei einem Werkzeugvorschub bis zu einem sichtbaren Bodenbruch

bis zum sichtbaren Bodenbruch steigt die Zerkleinerungsenergie für sehr kleine Drahtdurchmesser ($D < 1 \text{ mm}$) erheblich an. Ein ähnliches Verhalten zeigt auch die Zerkleinerungswirkung ΔO .

Für den Zerkleinerungserfolg κ sind keine signifikanten Aussagen möglich. Mit zunehmendem Drahtdurchmesser ist eine steigende Tendenz erkennbar. Bei zunehmendem Werkzeugvorschub nehmen sowohl die Zerkleinerungsenergie als auch die Zerkleinerungswirkung zu.

Für größere Drahtdurchmesser ($D > 4 \text{ mm}$) ist durch die raschere Zunahme der Zerkleinerungsenergie ein Rückgang des Zerkleinerungserfolgs zu erwarten.

Die kombinierte Druck-Schub-Belastung zwischen parallelen Platten ist durch den Neigungswinkel φ der resultierenden Kraft gekennzeichnet, der durch einen bestimmten Neigungswinkel β der Werkzeugbewegungsrichtung erzeugt wird. Der Winkel φ ist kleiner als der Winkel β , steigt mit diesem progressiv an und wird vom Reibwinkel der Paarung Stahl-Boden begrenzt.

Bei der Untersuchung zur kombinierten Druck-Schub-Belastung von natürlichen und gepreßten Bodenkörpern wird der Neigungswinkel β der Werkzeugbewegungsrichtung im Bereich $0^\circ \leq \beta \leq 85^\circ$ in Schritten von 15° variiert (Bild 4).

Im untersuchten Bereich des Neigungswinkels β gibt es zwei Bereiche des Bodenverhaltens, die zwischen 30° und 45° ineinander übergehen.

Die Bruchkraft F_B und die Zerkleinerungsenergie W verringern sich mit zunehmendem Neigungswinkel β . Das bestätigt die Hypothese, daß durch Aufbringen einer Schubkraft zusätzlich zur Druckbelastung der Ener-

gieaufwand verringert werden kann. Bei kleinen Neigungswinkeln ($\beta < 30^\circ$) tritt Druckbelastung auf, in deren Folge sich im Bodenkörper Schubspannungen aufbauen. Die Bruchkraft und die Zerkleinerungsenergie sind dabei sehr hoch. Für Neigungswinkel $\beta > 45^\circ$ ist infolge von Schubbelastung deutlich die Herausbildung einer Scherebene diagonal durch den Bodenkörper zu beobachten. Der Bodenkörper bricht durch Überwinden seiner Schubfestigkeit. Die Bruchkraft und die Zerkleinerungsenergie sind wesentlich geringer als bei kleinen Neigungswinkeln β . Eine Erhöhung des Neigungswinkels ϕ der resultierenden Kraft mit Hilfe formschlüssiger Kraftübertragung zwischen Werkzeug und Boden über den Reibwinkel der Paarung Stahl-Boden hinaus läßt für sehr große Neigungswinkel ($\beta = 85^\circ$) anstelle des Anstiegs der Zerkleinerungsenergie, der durch Gleitreibung zwischen Belastungsplatte und Bodenkörper entsteht, eine weitere Verringerung erwarten. Die Zerkleinerungswirkung ΔO ist bei großen Neigungswinkeln β vom Bodenzustand nahezu unabhängig. Sie verändert sich auch für kleine Neigungswinkel β bei plastischem Bodenzustand nur wenig, kann aber bei weniger plastischem Zustand erheblich ansteigen. Für große Neigungswinkel β wird der günstigste Zerkleinerungserfolg κ erreicht. Bei wenig plastischem Bodenzustand stellt sich auch für kleine Neigungswinkel β infolge der hohen Zerkleinerungswirkung trotz großer Zerkleinerungsenergie ein günstiger Zerkleinerungserfolg ein.

Durch formschlüssige Bodenbelastung bei großen Neigungswinkeln β ist eine weitere Verbesserung des Zerkleinerungserfolgs zu erwarten. Mit zunehmendem Werkzeugvorschubweg steigen sowohl die Zerkleinerungsenergie als auch die Zerkleinerungswirkung an. Auf den Zerkleinerungserfolg hat der Werkzeugweg keinen signifikanten Einfluß.

4. Zusammenfassung

Zur Erarbeitung von Grundlagen für die Entwicklung von Werkzeugen zur Zerkleinerung von Bodenkluten bei der Saatbettbereitung wurden theoretische und experimentelle Untersuchungen an Modellbodenkörpern durchgeführt [4]. Die experimentell gewonnenen Ergebnisse werden dargestellt.

Die Belastung der Bodenkörper erfolgt durch keilförmige Werkzeugelemente mit unterschiedlichem Keilwinkel, durch gespannte Drähte mit unterschiedlichen Durchmessern und durch parallele Platten mit unterschiedlicher Bewegungsrichtung.

Die wesentlichsten Erkenntnisse sind:

- Keilförmige Werkzeuge mit kleinem Keilwinkel sind für die Zerkleinerung von Bodenkörpern im Saatbett gut geeignet. In Kombination mit stumpfwinkligen Werkzeugen ist bei wenig plastischem Bodenverhalten eine Verbesserung der Zerkleinerungswirkung möglich, falls die notwendigen großen Bruchkräfte auf die Bodenkörper übertragen werden können.
- Für die Bodenzerkleinerung durch einen

gespannten Draht wird für Drahtdurchmesser $D > 4$ mm ein Optimum erwartet, das in weiterführenden Untersuchungen noch bestimmt werden muß.

- Die kombinierte Druck-Schub-Belastung ist hinsichtlich der Verbesserung des Zerkleinerungserfolgs durch formschlüssige Belastung bei großen Neigungswinkeln der Werkzeugbewegungsrichtung zur Vertikalen zu untersuchen.

Literatur

- [1] Palme, J.: Bericht zum Abschnitt 1.2.1. „Bodenbearbeitungsmaschinen“ des Planes für wissenschaftliche und kulturelle Zusammenarbeit zwischen der Hochschule für Landmaschinenbau Rostow am Don und der TU Dresden für die Jahre 1974, 1975. TU Dresden, Literaturbericht 1975 (unveröffentlicht).
- [2] Krutikow, N. P.: Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1955.
- [3] Sinečkov, G. N.: Deformacil voznikajušće v počve pod vozejstvijem klina (Deformationen des Bodens unter der Einwirkung eines Keils). Trudy VISCHOM, Moskva (1982) 33, S. 3-27.
- [4] Jorschick, K.: Untersuchungen zur Energieausnutzung an ausgewählten Werkzeugelementen für die Bodenzerkleinerung beim Einwirken auf Modellbodenkörper. TU Dresden, Dissertation 1983 (unveröffentlicht).
- [5] Bernhardt, H.: Schnittprozeß im Boden. TU Dresden, Jahresbericht 1978 (unveröffentlicht).
- [6] Vomocil, J. A.; Chancellor, W. J.: Energy Requirements for Breaking Soil Samples (Energiebedarf für das Brechen von Bodenproben). Transactions of the ASAE (1969) S. 375-383, 388.

A 3930

Rationalisierung beim Pflugkörperentwurf durch Einsatz der Digitalgrafik

Dipl.-Ing. J. Kubisch, KDT

Verwendete Formelzeichen

B	Breite des Bodenbalkens
H	Höhe des Pflugkörpers
k_n	spezifischer Bodenwiderstand
m	Anstieg
v	Arbeitsgeschwindigkeit
x, y, z	Koordinaten
Δ_{op}	mittlerer Scharanstellwinkel
τ	Schubfestigkeit des Bodens
Φ	Seitenrichtungswinkel einer Formlinie
Φ_s	Scharschneidenrichtungswinkel
ω'	Tangentenwinkel
Ω_m	mittlerer Seitenrichtungswinkel

1. Einleitung

Die Rationalisierung der Arbeit des Konstrukteurs steht aufgrund der erforderlichen Verkürzung der Entwicklungszeiten und der Schaffung langfristig absetzbarer und weltmarktfähiger Erzeugnisse immer mehr im Blickfeld. Ein Schwerpunkt dabei ist die Entwicklung von Pilotlösungen der rechnerunterstützten technischen Vorbereitung der Produktion [1].

Mit der Entwicklung der EDV und der Digitalgrafik werden dem Konstrukteur Hilfsmittel in die Hand gegeben, die es ihm gestatten, seine Arbeit rationeller zu gestalten. Da der gerätetechnische Aufwand für die interaktive grafische Arbeitsweise relativ hoch ist, kommt es darauf an, Schwerpunkte auszu-

wählen, bei denen der Rationalisierungseffekt besonders hoch ist. Der Entwurf von Arbeitsflächen an Pflugkörpern erfordert, wie auch deren Darstellung, einen hohen manuellen Aufwand [2, 3]. Bei jeder der etwa 30 bekannten Methoden ist nach festgelegten grafischen Verfahren eine Vielzahl von Kurven zu konstruieren. Hier gilt es, konsequent die Vorteile der Digitalgrafik zu nutzen, um nicht die Übersichtlichkeit der grafischen Arbeitsweise durch eine Umsetzung in numerische Zahlenkolonnen zu zerstören.

Ausgehend von der Forderung an die sozialistische Landwirtschaft, den Energieeinsatz für die Produktion landwirtschaftlicher Güter zu optimieren, ergibt sich speziell für das Teilgebiet der Bodenbearbeitung die Aufgabe, energetisch günstige Werkzeuge einzusetzen. In der Vergangenheit wurde dieses Problem im wesentlichen mit empirischen Methoden bearbeitet. Wie schon in einer Dissertation von Ganzuch [4] ausgeführt wurde, mangelt es in den wenigen bisher entwickelten Theorien zum Berechnen von Bodenbearbeitungswerkzeugen an der erforderlichen Übereinstimmung der angewendeten Modelle mit der Realität.

In der angegebenen Dissertation wurden Formparameter der Arbeitsfläche ausge-

wählt, die einerseits den spezifischen Zugwiderstand des Pflugkörpers wesentlich beeinflussen und mit denen andererseits der Entwurf einer Arbeitsfläche nach der Richtkurvenmethode möglich ist. Allerdings ergibt sich dabei eine Formenvielfalt, die nur mit Hilfe der Rechentechnik zu bewältigen ist.

Ausgehend von diesen Zusammenhängen sollen im interaktiven grafischen Dialog die Ausgangsdaten für das von Bonitz [5] entwickelte Programmsystem AUTENT zur Konstruktion doppelt gekrümmter Flächen erzeugt werden.

2. Gerätetechnik und Betriebssystem

Die angestrebte Rationalisierung ist nur möglich, wenn die geforderte grafische Arbeitsweise auch möglichst vollständig durch die Gerätetechnik gewährleistet wird. Für die bestehende Aufgabe wird der im Rechenzentrum der TU Dresden vorhandene digitalgrafische Arbeitsplatz genutzt. Er besteht aus einem Digitalgrafischen Bildschirm GD 71, der mit dem Rechner KRS 4201 gekoppelt ist. Diese Konfiguration wird autonom genutzt. Darüber hinaus ist auch eine Kopplung mit dem Großrechner ES 1022 möglich. Die Programmierung erfolgte in FORTRAN (KRS 4200), wobei als Betriebssystem das an der