

den (uT) durchführten, wurde die Zerkleinerungswirkung in Abhängigkeit von den Einstellparametern Umfangsgeschwindigkeit und Bissenlänge ermittelt (Bild 4). Sowohl mit der Kreisel- als auch mit der Rotoregge kann das Zerkleinerungsergebnis gesteuert werden. Die sichtbaren Unterschiede im Arbeitsergebnis sind auf die unterschiedliche Einwirkung beider Werkzeuge auf den Boden zurückzuführen, die sich somit auch im Zerkleinerungserfolg (Kreiselegge:

$\kappa \approx 0,15 \dots 0,36 \text{ mm} \cdot \text{ha/Mj}$, Rotoregge:
 $\kappa \approx 0,45 \dots 0,65 \text{ mm} \cdot \text{ha/Mj}$ unterscheiden.

Wird weiterhin vorausgesetzt, daß mit zunehmender Zerkleinerung der Energieaufwand steigt, ergeben sich Möglichkeiten der Energieeinsparung durch die Steuerung nach dem geforderten Arbeitsergebnis in einem bestimmten Toleranzbereich. Sowohl zusätzliche Arbeitsgänge bei Nichterreichen als auch ein Übertreffen der geforderten Zerkleinerung verursachen Mehraufwendungen.

5. Zusammenfassung

Für die Kontrolle und Steuerung von Bodenbearbeitungsmaschinen nach ihrem Arbeitsergebnis, das den Anforderungen der anzubauenden Kulturpflanzen an das Saatbett entspricht, sind erforderlich:

- quantifizierte Kenngrößen für die objektive Beschreibung des Arbeitsergebnisses,
- kontinuierliche Messung (Methode und Gerät) dieser Kenngrößen während des Prozesses
- Bodenbearbeitungswerkzeuge mit geringem spezifischen Energie- und Werkstoffaufwand, deren Arbeitsergebnis durch Veränderung ihrer Einstellparameter gesteuert werden kann.

Literatur

- [1] Kunze, A.; Petelkau, H.: Regeln und Richtwerte für die Bodenbearbeitung als Bestandteil komplexer Verfahren zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit. Feldwirtschaft, Berlin 22 (1981) 8, S. 332-334.

- [2] Autorenkollektiv: Regeln und Richtwerte zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit. Markkleeberg: agrabuch 1981.
- [3] TGL 33738 Gütevorschriften für Arbeiten der Pflanzenproduktion. Ausg. Jan. 1977.
- [4] Töpfer, H.; Rudert, S.: Einführung in die Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1982.
- [5] Soucek, R.; Anisch, S.; Büschel, R.: Bestimmung des Zerkleinerungsergebnisses bei der Bodenbearbeitung mit einem Spaltensieb. agrartechnik, Berlin 34 (1984) H. 1, S. 9-11.
- [6] Hillig, U.; Soucek, R.; Anisch, S.: Richtlinie für die Bestimmung der Aggregatgrößenzusammensetzung des Ackerbodens mittels Spaltensieb. Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, 1983 (unveröffentlicht).
- [7] Rammler, E.: Zur Auswertung der Körnungsanalysen in Körnungsnetzen. Freiburger Forschungshäfte A, 4 (1952) 11, S. 12-22.
- [8] Stroppel, A.; Reich, R.: Vergleichsuntersuchungen an Geräten zur Saatbettbereitung mit zapfwellengetriebenen rotierenden Werkzeugen. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 32 (1982) 3, S. 86-95.

A 3929

Bestimmung des Zerkleinerungsergebnisses bei der Bodenbearbeitung mit einem Spaltensieb

Prof. Dr.-Ing. R. Soucek, KDT/Dr.-Ing. S. Anisch, KDT/Dipl.-Ing. R. Büschel, KDT

1. Problemstellung

Die Zerkleinerung von Kluten und Schollen als eine der wichtigsten Aufgaben von Bodenbearbeitungsgeräten wird durch die Aggregatgrößenzusammensetzung des Bodens gekennzeichnet. In Untersuchungen zur Ermittlung des Zerkleinerungsergebnisses [1] wurde bereits darauf orientiert, die Siebanalyse als Meßverfahren im Prozeß von Forschung und Entwicklung beizubehalten. Unter Nutzung der Vorteile der bisher eingesetzten Siebeinrichtungen (Rundlochsieb-satz) entstand ein Spaltensieb (Bild 1).

2. Aufbau und Funktion des Spaltensiebs

Das Spaltensieb ist ein Planschwingsieb mit einem geneigt angeordneten ebenen Siebboden. Es kann als Langlochsieb aufgefaßt werden und klassiert die Bodenaggregate nach ihrem kleinsten Durchmesser, der Dicke. In einem fahrbaren Gestell (Rahmen) ist der Siebboden a mit dem Aufgabekasten b auf vier, in der Mittellage senkrecht stehenden Schwingen e gelenkig gelagert. Der Antrieb erfolgt über eine Kurbelschwinge c, d, e manuell oder mit Hilfe eines Hydromotors. An einem Exzenter der Kurbel c läßt sich die Amplitude stufenlos von 0 bis 45 mm einstellen.

Der 520 mm breite Siebboden (Bild 2) besteht aus fünf hintereinander in einer Ebene angeordneten 250 mm langen Siebflächen, deren Spaltbreiten (5, 10, 20, 40, 80 mm) geometrisch gestuft sind, sowie aus dem Überlauf. Er ist um den Winkel $\alpha = 10^\circ$ zur Horizontalen geneigt (Bild 1). An seiner höchsten Stelle erfolgt die Aufgabe der Bodenprobe aus dem Aufgabekasten b, dessen Anstellwinkel β im Bereich $0 \leq \beta \leq 15^\circ$ stufenlos verändert werden kann, um den Sieb-

boden mit einer für das Absieben ausreichend dünnen Bodenschicht zu beschicken. Während der Fraktionierung wird das Sieb durch spannbare Ketten g auf dem Feld verankert, damit Horizontalschwingungen des Gestells wegen des noch nicht vorhandenen Masseausgleichs verhindert werden.

Nach der Entnahme einer Bodenprobe aus der bearbeiteten Bodenschicht beginnt die Siebung mit dem Einsetzen des Aufgabekastens in die Halterung am Siebboden. Eine Bedienperson läßt den Siebboden so lange schwingen, bis alle Bodenaggregate den entsprechenden Fraktionen zugeordnet sind. Dabei ist auf eine stetige Aufgabe des Bodens aus dem Aufgabekasten und auf zügige Gleitförderung zu achten. Das in den Siebspalten klemmende Grenzkorn wird mit Hilfe einer Bürste der nächstgrößeren Fraktion zugeordnet.

Die in den Auffangkästen f gesammelten Fraktionsmassen bestimmt man anschließend durch Wägen [2].

3. Experimentelle Untersuchungen des Spaltensiebs

Die experimentellen Untersuchungen erfolgten mit den Zielen:

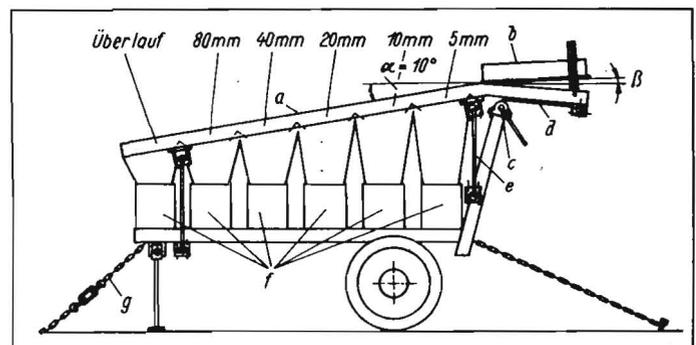
- Bestimmung der optimalen Betriebsparameter, der Einsatzgrenzen und des Gesamtfehlers des Spaltensiebs
- Beitrag zur Klärung der Gesetzmäßigkeiten der Aggregatgrößenzusammensetzung des Bodens auf unterschiedlichen Standorten nach der Bearbeitung mit unterschiedlichen Bodenbearbeitungsgeräten.

3.1. Optimierung der Betriebsparameter

Um die Siebung in guter Qualität zu gewährleisten, müssen folgende Parameter aufeinander abgestimmt werden:

- Siebbodenneigungswinkel α
- Amplitude A
- Schwingungszahl des Siebbodens n
- Anstellwinkel β des Aufgabekastens

Bild 1
 Spaltensieb;
 a Siebboden, b Aufgabekasten, c Kurbel, d Koppel, e Schwingen, f Auffangkästen, g Kette mit Spannschloß



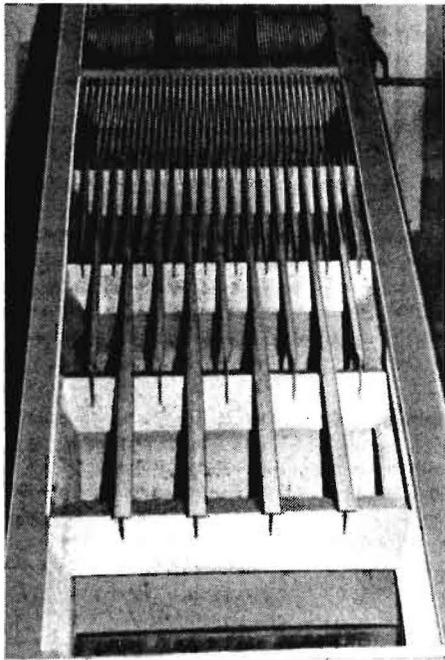


Bild 2. Siebboden des Spaltensiebs

– spezifische Beaufschlagung b' des Siebbodens.

Die genannten Parameter wurden mit Modellbodengemischen aus der Bodenrinne der TU Dresden optimiert [3].

Als günstige Werte ergaben sich:

- $\alpha = 10^\circ \dots 15^\circ$
- $A = 35 \dots 40 \text{ mm}$
- $n = 138 \dots 150 \text{ min}^{-1}$
- $\beta = 7^\circ$
- $b' = 23 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$.

Feldversuche ergaben, daß diese Werte lediglich als Richtwerte betrachtet werden können. Unter den jeweils konkreten Bodenbedingungen lassen sich die genannten Parameter durch Voruntersuchungen leicht neu ermitteln. Dabei ist von folgenden Kriterien auszugehen:

- schonende Behandlung der Bodenprobe bei der Probenahme
- kontinuierliche Bewegung des Bodens mit einer solchen Schichtdicke aus dem Aufgabekasten, die keine Entmischung der Bodenaggregate erfordert
- Bewegung der Bodenprobe durch Gleiten und Haften oder ständiges Gleiten ist zulässig.

3.2. Einsatzgrenzen des Spaltensiebs

Das Spaltensieb ist auf allen Bodenstandorten bis zu einem Bodenwassergehalt von 20 % einsetzbar [3]. Es ist geeignet zur Be-

stimmung der Aggregatgrößenzusammensetzung des Bodens

- nach dem Pflügen, wenn der Bodenbalken in Scherebenen aufricht
- nach der Saatbettbereitung.

Der Einsatz nach dem Schälen wird nicht empfohlen, weil der hohe Anteil organischer Rückstände das Sieben stark beeinträchtigt.

3.3. Fehler des Spaltensiebs

Der Fehler bei der Fraktionierung ergibt sich aus Abrieb, Fehlleitung von Bodenaggregaten und Spritzverlusten. Letztere liegen weit unter 1 %, sind vernachlässigbar. Abrieb und Fehlleitung von Bodenaggregaten wurden zusammen unter Feldbedingungen bestimmt. Dazu erfolgte der Vergleich zwischen Siebung und Handauslese. Eine Fehlerbestimmung umfaßte eine Siebung mit drei Wiederholungen.

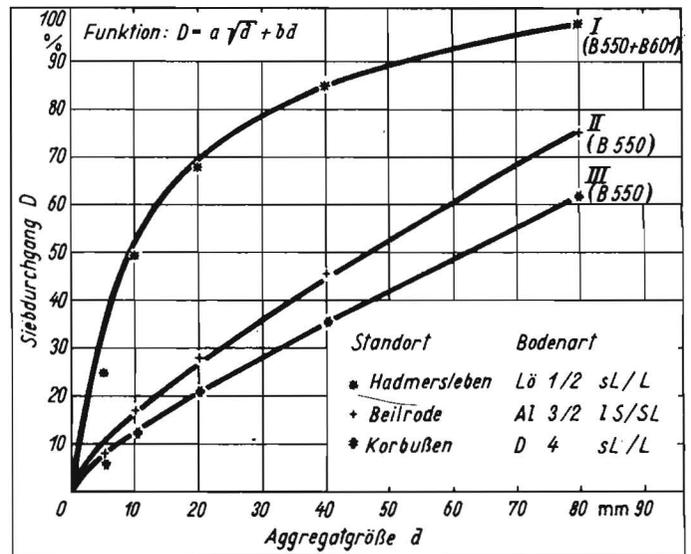
Je Siebung wurden drei Bodenproben mit einer Masse von je $\approx 15 \text{ kg}$ aufgegeben. Aus einer gleichgroßen Probenmasse wurden zum Vergleich die Bodenaggregate von Hand den entsprechenden Fraktionen zugeordnet. Dabei war die Klassiereigenschaft von Spaltensiebböden, die nichtkugelförmige Teile nach der dritten Hauptachse (der Dicke) fraktionieren, zu berücksichtigen.

Der Fehler des Spaltensiebs wird aus dem arithmetischen Mittel der Einzelfehler der Fraktionen bestimmt:

$$f_{\text{ges}} = \sum_{i=1}^6 \frac{f_i}{n}; \quad (1)$$

f_i Einzelfehler der Fraktion i
 n Anzahl der Fraktionen.

Bild 3
Siebdurchgang D als Funktion der Aggregatgröße d für verschiedene Standortbedingungen



Tafel 1. Kopf der Auswertetabelle für die Aggregatgrößenzusammensetzung des Bodens

Aggregatgrößen in mm		5 bis 10		10 bis 20		20 bis 40		40 bis 80		80 bis d_{max}		d_{max}	Σm_i	d_0						
m_1	h_1	$2,5 h_1$	m_2	h_2	$7,5 h_2$	m_3	h_3	$15 h_3$	m_4	h_4	$30 h_4$	m_5	h_5	$60 h_5$	m_6	h_6	$[(80 + d_{\text{max}})/2] h_6$	Σm_i	d_0	
kg	mm	kg	kg	mm	mm	kg	mm	kg	kg	mm	mm	kg	mm	mm	kg	mm	mm	kg	mm	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
(20)			(20)			(20)			(20)			(20)			(20)			(1) + (4)	(3) + (6)	
																		+ (7) + (10)	+ (9) + (12)	
																		+ (13)	+ (15)	
																		+ (16)	+ (18)	

1) bei $d_{\text{max}} < 80 \text{ mm}$ gilt $[(40 + d_{\text{max}})/2] h_5$

Der Einzelfehler ergibt sich aus dem Betrag der Differenz zwischen den relativen Fraktionsmassen der Handauslese und der Siebung jeder Fraktion:

$$f_i = |h_{ih} - h_{is}| \quad (2)$$

$$h_i = \frac{m_i}{m_{\text{ges}}} \cdot 100. \quad (3)$$

Im Jahr 1981 auf unterschiedlichen Standorten in der DDR durchgeführte Untersuchungen ergaben Fehler des Spaltensiebs von 1,6 bis 4,2 % (durchschnittlich 3,3 %). Zusätzlich zum Fehler des Spaltensiebs sind für den Gesamtfehler der Siebanalyse der Probenfehler und der Fehler bei der Massebestimmung der Fraktionen zu berücksichtigen.

Der Probenfehler ist die Abweichung des Mittelwerts der entnommenen Bodenprobe vom Mittelwert der Grundgesamtheit. Er wird durch die schonende Behandlung der Bodenprobe (Entnahme, Transport) und die Probenmasse wesentlich beeinflusst. Der Fehler der Massebestimmung setzt sich aus dem Meßfehler der Waage und dem Ablesfehler zusammen. Durch die Auswahl der entsprechenden Wägeeinrichtungen ist es möglich, diese Fehler gering zu halten. Ein Gesamtfehler der Siebanalyse mit Spaltensieb von $< 5 \%$ ist bei einer Mindestprobenmasse von 150 bis 180 kg gewährleistet.

4. Darstellung des Zerkleinerungsergebnisses

Die Ergebnisse der Siebanalysen, die man auf dem Feld zweckmäßig in Tabellen erfaßt, werden zum mittleren gewogenen Durchmesser d_0 verrechnet (Tafel 1) und als Summenverteilungskurve des Siebdurchgangs D

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] Theissig, 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-