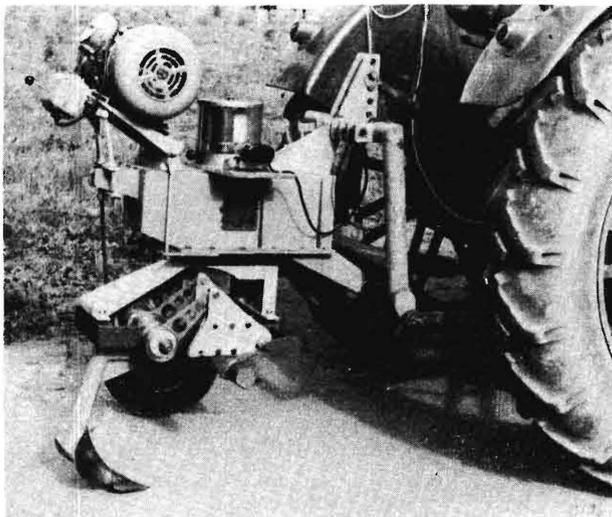


## Untersuchungen an schwingenden Häufelkörpern

Von Alfred Eggenmüller

Bei der Kartoffelernte mit Sammelrodern ist die Trennung von Kartoffeln, Steinen und Erdkluten schwierig [1]. Während das Aussortieren der Steine infolge ihres höheren spezifischen Gewichtes noch verhältnismäßig leicht ist, sind bei den Erdkluten umständliche Maßnahmen erforderlich, da ihre Größe und ihr spezifisches Gewicht sich meist nur wenig von den Werten der Kartoffeln unterscheiden.



**Bild 1.** Schwingender Häufelkörper (A) in der herkömmlichen Form an dem Einkomponenten-Messpflug für Feldversuche.

Im Institut für Landmaschinenforschung der FAL wurden Untersuchungen begonnen, die den Einfluß der Pflegearbeiten auf die Klutenbildung näher ergründen sollen [2]. Dabei wurde festgestellt, daß das Anhäufeln der Dämme sehr stark zur Bildung von Kluten beiträgt. Vor dem Schar eines Häufelkörpers bricht der Boden meist in groben Schollen auf, die beim eigentlichen Häufelvorgang kaum mehr weiter zerkleinert werden. Sie trocknen aus, haben schlechten Schluß mit dem Boden und bilden so die unerwünschten Kluten. Dazu kommt noch, daß die Dammlanken teilweise durch den Häufelkörper verschmiert werden, was den Bodenschluß weiterhin verschlechtert und die Klutenbildung begünstigt.

Wie in früheren Untersuchungen an schwingenden Werkzeugen [3, 4] nachgewiesen wurde, konnte bei schwingenden Werkzeugen eine bessere Krümelung erzielt werden als bei starren Werkzeugen. Das Ver-

schmieren kann ebenfalls vermindert werden, weil ein schwingendes Werkzeug sich nach dem Abschneiden und Abscheren des Bodens bei der Hubbewegung vom Boden wegbewegt. Es kann nur während der kurzfristigen Abschneideperiode ein teilweises Verschmieren des Bodens stattfinden.

### Die schwingenden Häufelkörper

Bei Tastversuchen auf dem Felde wurden zwei verschiedene Formen von Häufelkörpern untersucht. Die in **Bild 1** abgebildete Form beruht im wesentlichen auf der meist üblichen Form eines starren Häufelkörpers. Es wurde festgestellt, daß für einen schwingenden Häufelkörper diese Form nicht gut geeignet ist, da durch die schräge Stellung der Streichblechseitenflächen der Boden vom Werkzeug weggeschleudert wird und somit aus dem Bereich des schwingenden Werkzeuges kommt, ohne daß durch die Schwingung eine Verbesserung der Krümelbildung erfolgen konnte. Es wurde deshalb eine zweite Form (**Bild 2**) untersucht, bei der Schar und Streichblech als ebene Flächen ausgebildet sind, wodurch ein zu früher Seitentransport des Bodens vermieden wird. Beide schwingenden Teile bewegen sich gegeneinander, wodurch neben einem günstigen Massenausgleich auch die Krümelung des Bodens verbessert werden konnte. Die Schwingung des Schares eilt also der des Streichbleches

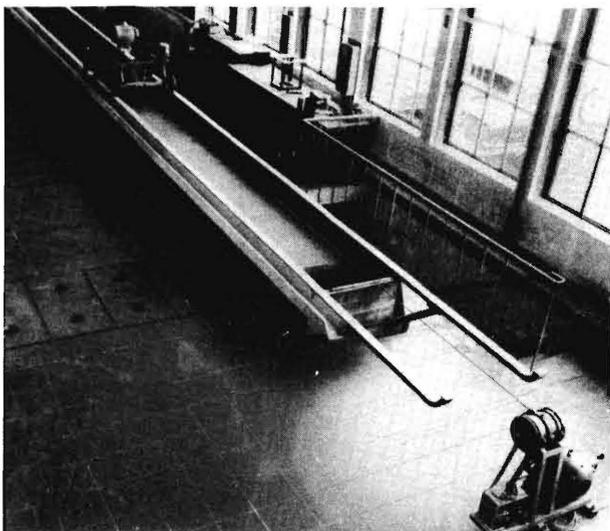


**Bild 2.** Schwingender Häufelkörper (B) mit zwei gegeneinander schwingenden, ebenen Körperteilen.

um eine halbe Periode voraus. Befindet sich das Schar in der Schnittbewegung, so hebt sich das Streichblech an und umgekehrt. Dadurch wird der Bodenfluß unterbrochen und die Ausbildung neuer Scherebenen beim Übergang vom Schar auf das Streichblech begünstigt. Dies konnte auch bei Feldversuchen in feuchtem, plastischem Boden beobachtet werden.

### Versuchsdurchführung in der Bodenrinne

Bei den Feldversuchen zeigten sich Schwierigkeiten bei der versuchstechnischen Erfassung der Klutenbildung und des Verschmierens der Dammlanken. Es wurden deshalb Versuche in der Bodenrinne (Bild 3), die feinsandigen Lehm<sup>1)</sup> enthielt, durchgeführt. Um annähernd die Verhältnisse zu



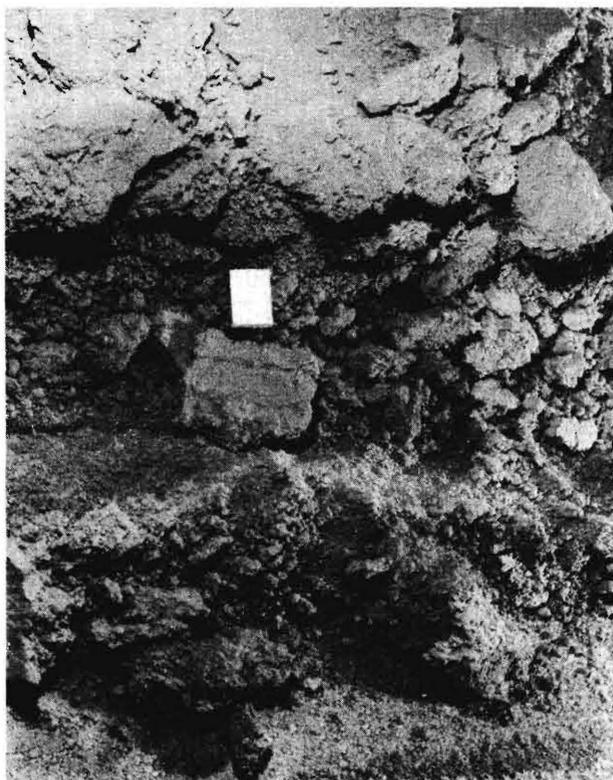
**Bild 3.** Bodenrinne mit von Seilwinde gezogenem Messwagen für die Versuche mit starren und schwingenden Häufelkörpern.

bekommen, wie sie zwischen Kartoffeldämmen gegeben sind, wurde bei den Bodenvorbereitungen der aufgelockerte Boden mit einer Walze vorverdichtet, danach mit einem wenig profilierten Ackerwagenreifen 170–20 AW befahren, so daß eine tiefe Spur entstand (siehe Bild 25). Sie war ein Ersatz für das bei einem Kartoffelackerprofil vorhandene Tal. Diese hohe Verdichtung in einer solchen Reifenspur bekommt man auch, wenn man mit dem Schlepper anhäufelt. Es arbeiten dabei immer zwei Häufelkörper in Schlepperspuren, müssen also den Boden in diesen Spuren krümelnd und anhäufeln.

### Zugkraftverminderung

Durchfährt man die Reifenspur mit einem starren Körper der Form A, so entstehen große Schollen (Bild 4) beim Aufbrechen des Bodens, die bei der Ablage kaum mehr zerkleinert werden (Bild 5). Eine Schollenanalyse von dieser Häufelung ist in Bild 6

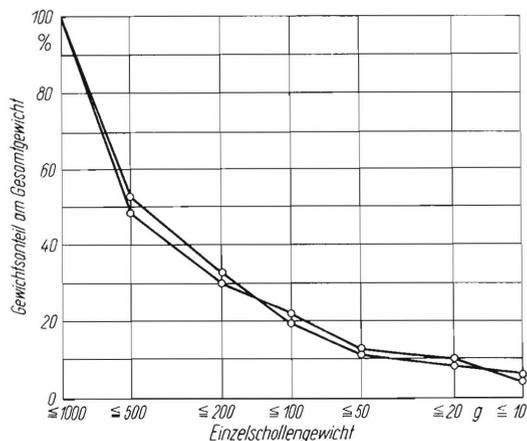
<sup>1)</sup> Textur des Bodens: 12% Grobsand, 54% Feinsand, 26% Schluff und 8% Ton.  
Bodenfeuchtigkeit 19% i.M.



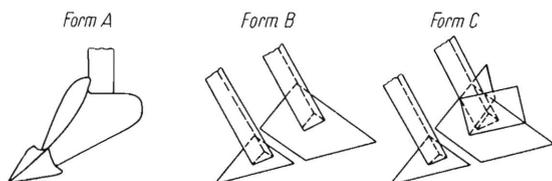
**Bild 4 und 5.** Bodenaufbruch und Schollenbildung am starren Häufelkörper der Form A bei einer Fahrgeschwindigkeit von 0,4 m/s.  
Bodenart: feinsandiger Lehm (Bodenrinne)

dargestellt. Danach bestehen etwa 50% des Gesamtgewichtes des abgetrennten Bodens aus Einzelschollen, die schwerer als 500 g sind, und etwa 60%, die schwerer als 200 g sind, (das Gewicht der Krümel < 5 g ist bei dem bezogenen Gesamtgewicht nicht berücksichtigt, da ihr Verhältnis zu dem gesamten Gewicht des aufgelockerten Bodens bei allen, auch bei den späteren Vergleichen, annähernd 50% betrug).

Der für die Versuche in der Bodenrinne verwendete schwingende Häufelkörper wurde in zwei verschiedenen Ausführungen, Form B und C, untersucht (Bild 7). Bei beiden schwingt das Schar unter einer Schwingungsrichtung von 30° bei einem Anstellwinkel von 25° und das Streichblech in einer Schwingungsrichtung von 45° bei einem An-



**Bild 6.** Gewichtsverteilung der Einzelchollengrößen beim starren Häufelkörper der Form A. (Das Gewicht der Krümel  $\leq 5$  g ist bei dem bezogenen Gesamtgewicht nicht berücksichtigt)  
 Fahrgeschwindigkeit  $v_0 = 0,4$  m/s  
 Porenanteil in der Spur  $n = 40\%$



**Bild 7.** Die untersuchten Häufelkörper der Form A bis C.

stellwinkel von  $30^\circ$  zur Bodenoberfläche (**Bild 8**). Die Form B häufelte als starrer Häufelkörper schlecht, wohingegen die mit einer keilförmigen Abweisfläche ausgerüstete Form C besser häufelte.

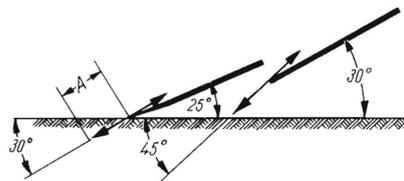
Die Zugkraft der starr arbeitenden Häufelkörper nach Form B und C (**Bild 9 bis 11**) liegen in dem Bereich von 80 bis 140 kg, wie sie auch Getzlaff [5] bei seinen Sechskomponentenmessungen an Häufelkörpern festgestellt hat. Schon bei 14 Hz verringern sich die Zugkräfte beträchtlich, während sie bei höheren Frequenzen nur noch geringfügig

abnehmen. Diese Tendenz ist unabhängig von Bodendichte (**Bild 9**) und der Fahrgeschwindigkeit (**Bild 10**), wie auch von den beiden Körperformen B und C (**Bild 11**).

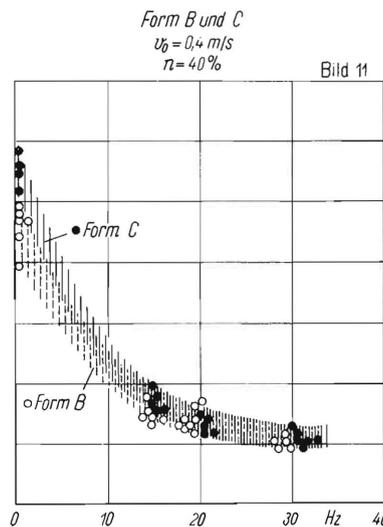
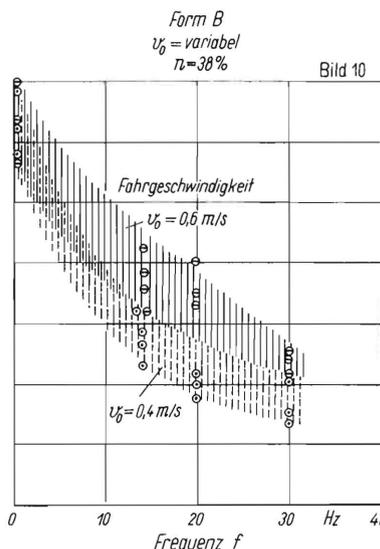
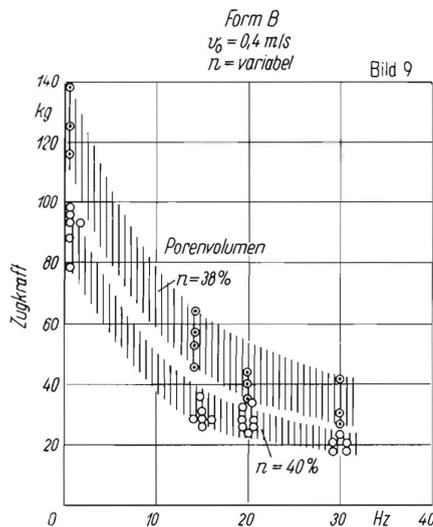
Die Zugkraft schwingender Häufelkörper verringert sich gegenüber der Zugkraft starrer Häufelkörper (bezogen auf die Zugkraft des starren Körpers gleich 100%) bei der kleinen Fahrgeschwindigkeit und bei einer Frequenz von 14 Hz auf 30 bis 50% (**Bild 12 und 13**); bei Erhöhung der Frequenz auf 30 Hz nimmt die Zugkraft nur noch um weitere 5 bis 10% ab. Bei der höheren Fahrgeschwindigkeit von 0,6 m/s ist die Zugkraftverminderung allerdings geringer, vor allem bei 14 und 20 Hz; günstige Werte erreicht man bei 30 Hz. Die Zugkraftminderung ist bei der Form C etwas besser (**Bild 14**) als bei Form B (**Bild 13**).

**Leistungsaufnahme**

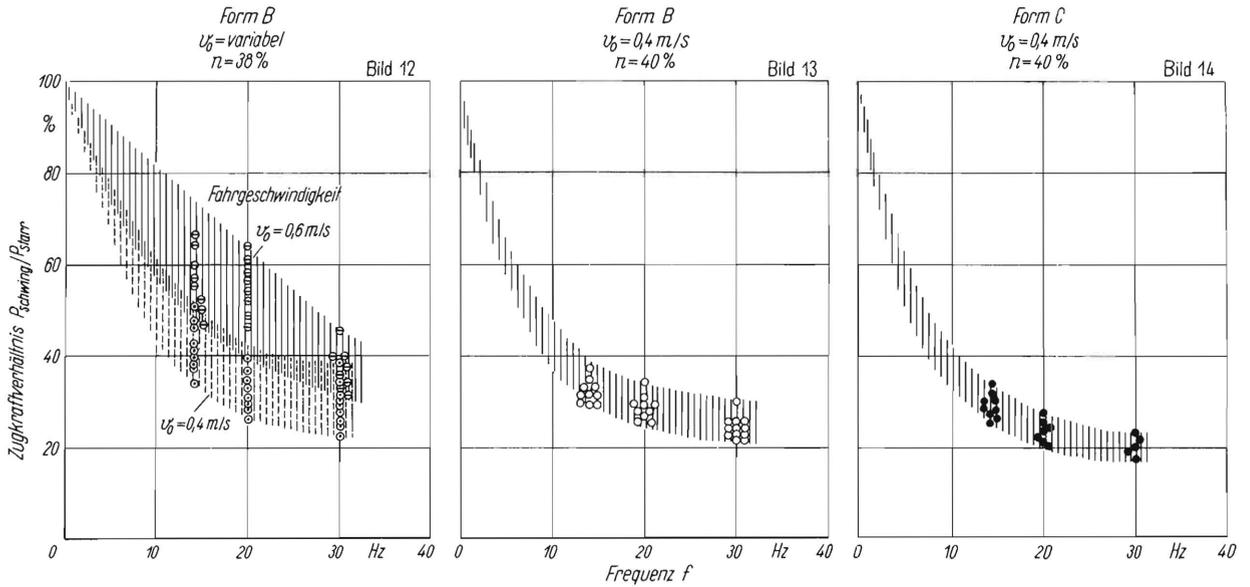
Die Leistungsaufnahme  $N_S$  für den Schwingungsantrieb steigt mit der Frequenz stark an (**Bild 15**).  $N_S$  bedeutet hier die gesamte Leistung einschließlich der Leerlaufleistung und des Leistungsverlustes durch den Keilriemenantrieb. Bei der kleinen Fahrgeschwindigkeit von 0,4 m/s steigt die Leistung von 0,8 PS bei 14 Hz auf 1,3 PS bei 30 Hz an. Bei der Fahrgeschwindigkeit von 0,6 m/s ist die Leistung um etwa 0,1 PS höher. Ein Vergleich des Leistungsaufwandes zwischen Form B und C ergibt keinen Unterschied über den ganzen Frequenzbe-



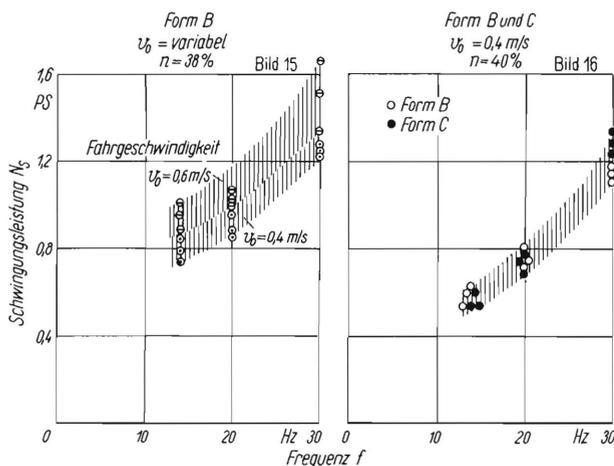
**Bild 8.** Anstellwinkel und Schwingungsrichtungen der Häufelkörper B und C.



**Bild 9 bis 11.** Die Zugkräfte für starre ( $f = 0$ ) und schwingende Häufelkörper der Form B und C in Abhängigkeit von der Frequenz bei verschiedener Bodendichte, Fahrgeschwindigkeit und Körperform.  
 Schwingungsamplitude  $A = 20$  mm



**Bild 12 bis 14.** Zugkraftverringerng schwingender Häufelkörper gegenüber starren Häufelkörpern der Form B und C in Abhängigkeit von der Frequenz bei verschiedener Fahrgeschwindigkeit und Bodendichte (bezogen auf die Zugkraft des starren Häufelkörpers).



**Bild 15 und 16.** Antriebsleistung für die schwingenden Häufelkörper in Abhängigkeit von der Schwingungsfrequenz bei verschiedener Fahrgeschwindigkeit und Bodendichte.

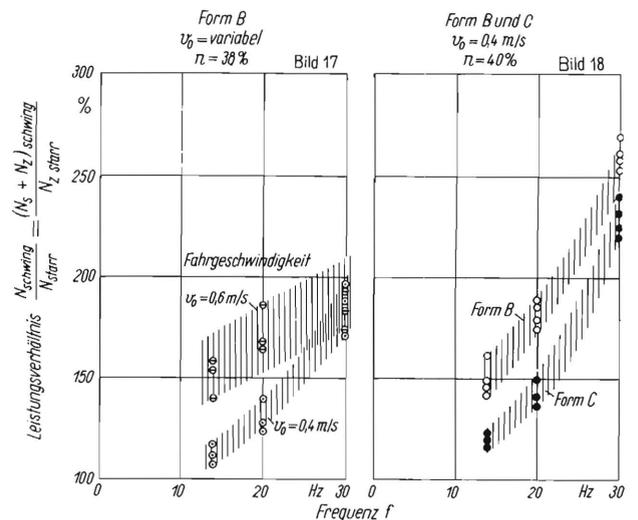
Amplitude  $A = 20 \text{ mm}$

reich (Bild 16). Der Leistungsaufwand für die Form B ist hier im Vergleich zu dem in Bild 15 infolge des größeren Porenanteiles (40% gegenüber 38%) etwas geringer.

Interessant ist nun ein Vergleich des gesamten Leistungsaufwandes aus Zug- und Schwingungsleistung für die schwingenden Häufelkörper mit der Zugleistung des starren Körpers. In Bild 17 und 18 ist die Gesamtleistungsaufnahme des schwingenden Körpers auf die Zugleistung des starren Körpers gleich 100 Prozent bezogen und in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt. Der Gesamtleistungsbedarf des schwingenden Häufelkörpers liegt in jedem Fall über der Zugleistung des starren Häufelkörpers und erreicht Werte bis zu 270%. Die Form B benötigt eine höhere prozentuale Mehrleistung als die Form C (Bild 18). Auch die höhere Fahrgeschwindigkeit (Bild 17) bewirkt einen größeren Leistungsmehraufwand.

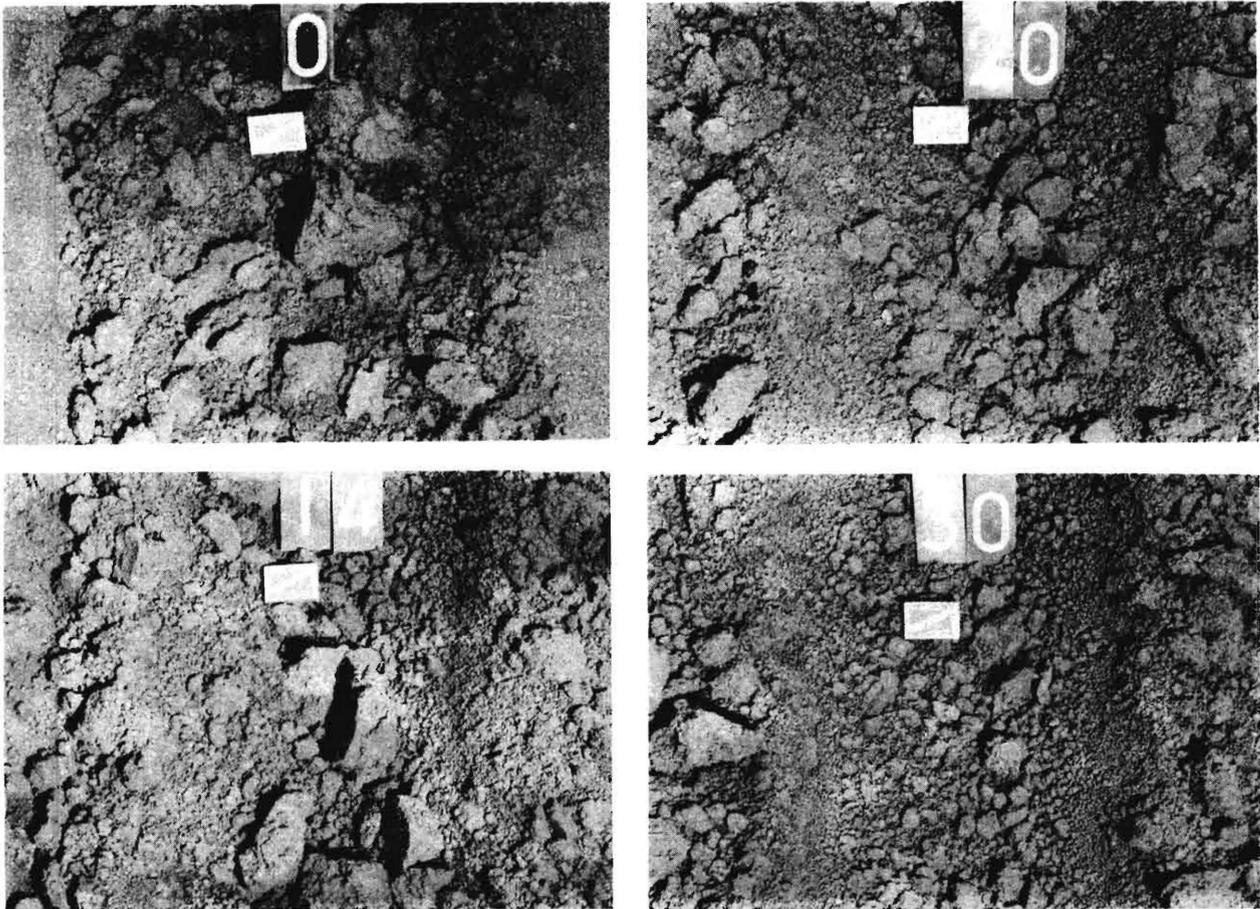
### Verbesserung der Krümelung

Die Krümelung ist bei schwingenden Häufelkörpern immer besser als bei starren. In Bild 19 bis 22 sind Aufnahmen der Bodenoberfläche, wie sie nach der Bearbeitung mit dem starren und dem schwingenden Häufelkörper der Form B bei verschiedenen Frequenzen entstanden sind, zum Vergleich zusammengestellt. In Bild 23 ist der Gewichtsanteil der einzelnen Schollengrößen am Gesamtbodengewicht aufgetragen. Schon an den Aufnahmen erkennt man die bessere Krümelung bei 14 Hz und die weitere Verbesserung bei 20 und 30 Hz, wie sie auch in der Schollenanalyse zum Ausdruck kommt. Bei 14 Hz sind die Schollen zwar nicht wesentlich kleiner, eine bessere Häufelung ist aber auf dem Bilde



**Bild 17 und 18.** Verhältnis des Gesamtleistungsaufwandes für die schwingenden Häufelkörper zu der Zugleistung der starren Häufelkörper in Abhängigkeit von der Frequenz bei zwei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten und verschiedener Bodendichte.

Amplitude  $A = 20 \text{ mm}$



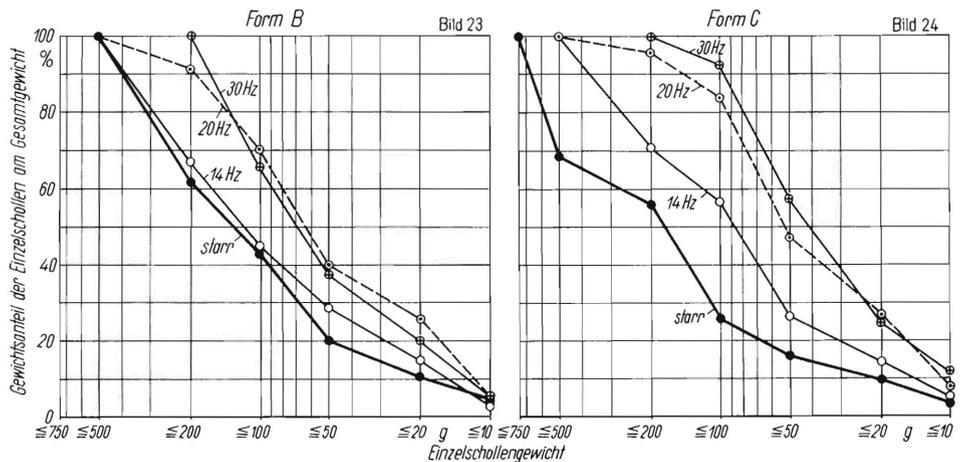
**Bild 19 bis 22.** Bodenoberfläche nach der Bearbeitung mit einem starren Häufelkörper ( $f = 0$ ) und einem schwingenden Häufelkörper ( $f = 14, 20$  und  $30$  Hz). Die Häufelkörper bewegten sich in Bildmitte von oben nach unten.  
Häufelkörperform B      Amplitude  $A = 20$  mm      Fahrgeschwindigkeit  $v_0 = 0,4$  m/s

gut zu erkennen. Die Form C weist nun noch größere Unterschiede in der Krümelung auf (**Bild 24**). Hier wurden mit dem starren Körper sehr ungünstige Ergebnisse erzielt. Über 500 g schwere Schollen waren etwas mehr als 30% vorhanden, wohingegen beim schwingenden Körper nur Einzelschollen mit einem Gewicht bis zu 500 g auftraten. Eine Frequenz von 14 Hz bringt schon eine günstige Krümelung, bei 20 und 30 Hz tritt eine weitere Verbesserung ein.

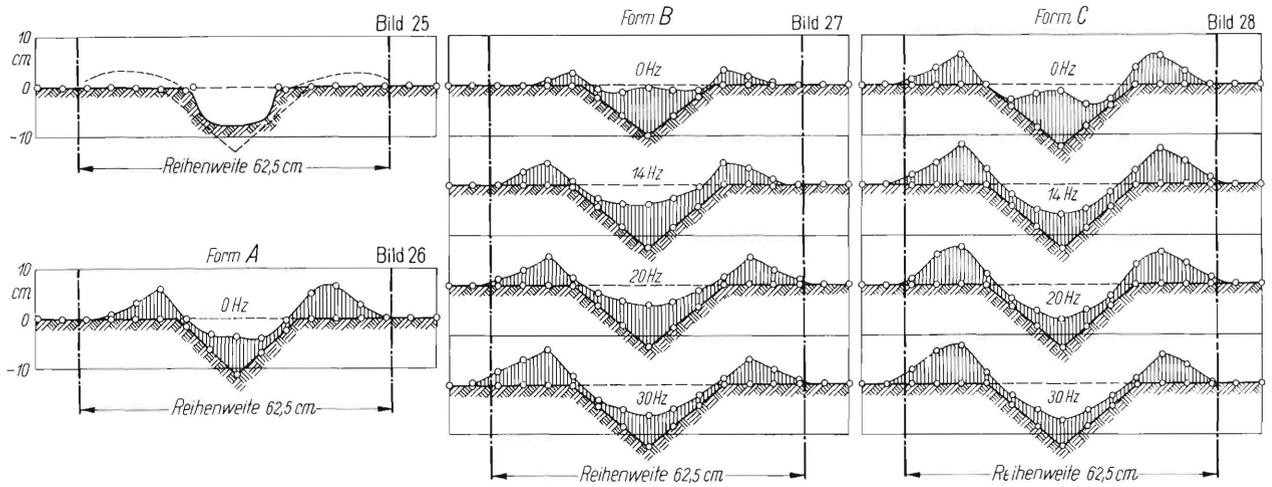
### Häufelung

Die Güte der Häufelung kann durch einen Querschnitt durch die Furche und den angehäufelten Boden bewertet werden. In **Bild 25** ist der Querschnitt der Bodenoberfläche vor dem Häufeln, also die eigentliche Schlepperspur, dargestellt. Darunter ist in **Bild 26** der Querschnitt des von dem starren Häufelkörper der Form A aufgehäufelten Bodenprofils aufgezeichnet. Diese Körperform wirft

Porenanteil  $n = 40\%$   
Amplitude  $A = 20$  mm  
Fahrgeschwindigkeit  
 $v_0 = 0,4$  m/s



**Bild 23 und 24.** Gewichtsverteilung der Einzelschollengrößen nach der Bearbeitung durch starre und schwingende Häufelkörper der Form B und C.  
In dem bezogenen Gesamtgewicht ist das Gewicht der Krümel  $\leq 5$  g nicht berücksichtigt.



**Bild 25.** Bodenquerschnitt vor dem Häufeln, entstanden durch eine Schlepperradspur mit dem Reifen 170–20 AW bei 450 kg Radlast.

**Bild 26.** Bodenquerschnitt nach dem Häufeln mit dem starren Häufelkörper der Form A.

**Bild 27 und 28.** Bodenquerschnitte durch die Häufeldämme und Furchen, die durch die starren und schwingenden Häufelkörper der Form B und C entstanden sind.

Schwingungsamplitude  $A = 20 \text{ mm}$   
Fahrgeschwindigkeit  $v_0 = 0,4 \text{ m/s}$



**Bild 29.** Dammlanken beim starren Häufelkörper der Form A. Verschmierte Furchenwand, dort wo das Schar gearbeitet hat.

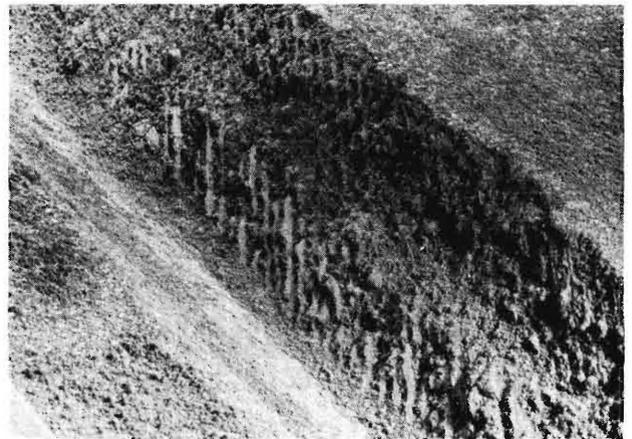
6 bis 8 cm hohe Seitendämme auf; die Furche ist jedoch schlecht geräumt.

Die Körperform B häufelt ohne Schwingung schlecht (**Bild 27**). Bei 14 Hz sind dagegen die Seitendämme höher und bei 30 Hz ist auch die Furche gut geräumt. Bei der Form C (**Bild 28**) ist die Häufelung auch beim starren Körper gut, sie wird aber schon bei 14 Hz weiter verbessert.

Die verschmierten Dammlanken beim Durchfahren des Bodens mit der starren Körperform A sind in **Bild 29** in der Furche, dort wo das Schar gearbeitet hat, gut zu erkennen. Diese Schmierstellen entstehen beim Abschneiden des Bodens durch das starre Schar. Beim schwingenden Häufelkörper sind diese Dammlanken abgehackt, weil

**Bild 30 bis 32.** Dammlanken bei dem schwingenden Häufelkörper der Form B bei verschiedenen Frequenzen.

Amplitude  $A = 20 \text{ mm}$   
Fahrgeschwindigkeit  $v_0 = 0,4 \text{ m/s}$



Schnittflächen sich mit Scherflächen abwechseln (Bild 30 bis 32). Allerdings tritt durch die keilförmige Form des Schar bei der Schnittbewegung eine gewisse Verdichtung auf. Sie beträgt bei 14 Hz nur etwa 30% der Bodenoberfläche, bei 20 und 30 Hz dagegen 40 bis 60%.

Es wurde nun versucht, diese Verschmierung bzw. Verdichtung mit Hilfe der Luftdurchlässigkeit des Bodens zu messen. Dazu wurde die in Bild 33 abgebildete und in Bild 34 dargestellte Apparatur verwendet. Die Luftdurchlässigkeit hängt nach Untersuchungen von Witt [6] und Söhne [7] in gleicher Weise wie die Wasserdurchlässigkeit von der Verdichtung, also dem Porenvolumen, und der Bodenfeuchtigkeit ab. Söhne hat dabei Bodenproben, die in Zylindern verdichtet wurden, untersucht. Es galt nun, diese Möglichkeit der Bodenuntersuchung

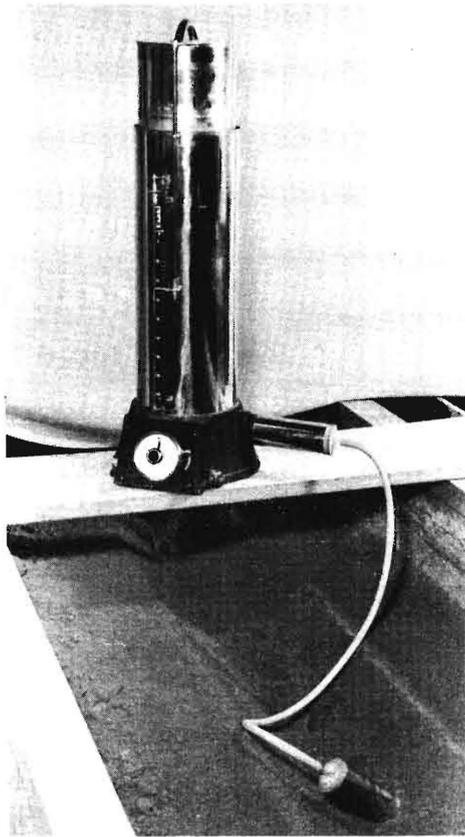


Bild 33. Apparatur zur Messung der Luftdurchlässigkeit von Bodenproben bzw. von Bodenoberflächen.

auch auf natürliche Bodenoberflächen zu übertragen. Dazu wurde die in [6] verwendete Apparatur entsprechend umgebaut. In die zu untersuchende Bodenoberfläche wird ein Zylinder hineingedrückt, der mittels eines Schlauches mit dem Gasometer in Verbindung steht. Der Gasometer drückt mit einem konstanten Druck von 100 mm Wassersäule Luft durch den Zylinder in den Boden. Gemessen wird dabei die Zeit, die eine bestimmte Menge Luft zum Durchströmen benötigt. Daraus kann die Luftgeschwindigkeit bestimmt werden.

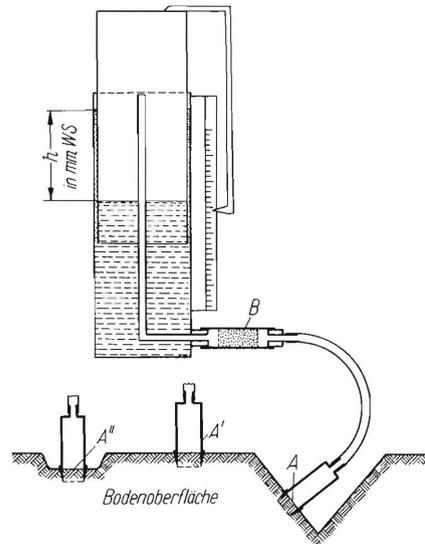


Bild 34. Schematische Darstellung der Apparatur in Bild 33 für die Messung an Bodenoberflächen (bei A). Bodenproben werden in einem entsprechenden Zylinder bei B untersucht.

Die Luftgeschwindigkeit ist in Bild 35 für verschiedene Bodenoberflächen und Bodenzustände aufgetragen. Bei der Bodenvorbereitung betrug die Luftgeschwindigkeit auf der gewalzten Oberfläche 10 bis 20 cm/s, in der Spur des Reifens dagegen nur noch 0,7 bis 1,0 cm/s. Im ersten Fall betrug

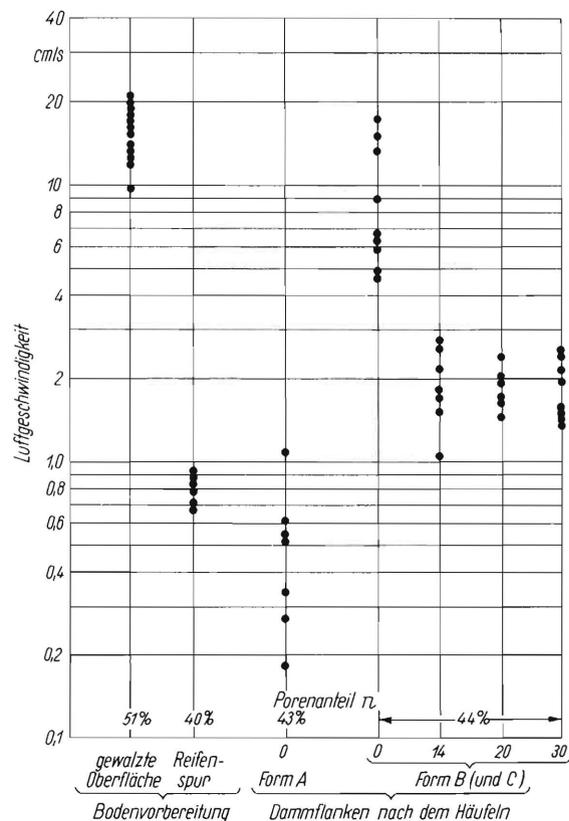


Bild 35. Luftgeschwindigkeit (Luftdurchlässigkeit) bei verschiedenen Bodenoberflächen, im besonderen der gewalzten Bodenoberflächen, in der Bodenrinne, in der Reifenspur und an den Dammlanken nach dem Häufeln. Bodenfeuchtigkeit 19%  
Luftdruck  $h = 100$  mm WS

der Porenanteil 51% und in der Spur 40%. Die Luftgeschwindigkeit in den Dammflanken nach dem Häufeln betrug in der verschmierten Furche der Form A (Bild 29) nur 0,2 bis 1,0 cm/s; bei dem starren Körper der Form B war sie jedoch beträchtlich größer und betrug 4 bis 20 cm/s. Beim starren Körper der Form B waren die Dammflanken sehr unregelmäßig aufgebrochen, auch zeigte sich keinerlei Verschmierung. In den teilweise verschmierten bzw. verdichteten Dammflanken des schwingenden Häufelkörpers (Form B) war die Luftgeschwindigkeit geringer. Sie lag in dem Streubereich von 1 bis 3 cm/s. Der Porenanteil war bei dem schwingenden und starren Körper der Form B im unteren Teil der Dammflanken 44% im Mittel, während sie bei der verschmierten Furche der Form A 43% betrug.

Bei Messungen auf dem Acker in einem lehmigen Sandboden konnten die Ergebnisse der Versuche in der Bodenrinne hinsichtlich der Zugkraftverringering und des Mehrleistungsbedarfs bestätigt werden.

#### Zusammenfassung

An schwingenden Häufelkörpern mit gegeneinander schwingendem Schar und Streichblech konnten die Zugkräfte beträchtlich verringert werden, wobei allerdings der Gesamtleistungsbedarf aus Schwingleistung und Zugleistung beim schwingenden Häufelkörper um 30 bis 170% über der Zugleistung des starren Körpers lag. Bei schwingenden Körpern wurde eine bessere Krümelung und Häufelung erreicht. Das Verschmieren der Dammflanken ist beim schwingenden Körper ebenfalls geringer als beim starren.

#### Schrifttum

- [1] *Sack, Hans*: Technische Probleme der Wurzelfruchternte.  
In: Grundlg. d. Landtechn. Heft 6, Düsseldorf 1955. S. 133 bis 143.
- [2] *Thaer, Rudolf*: Über Häufelwerkzeuge für den Kartoffelbau.  
In: *Landbauforschung Völkenrode* Heft 2, Völkenrode 1958. 8. Jahrg.
- [3] *Eggenmüller, Alfred*: Schwingende Bodenbearbeitungswerkzeuge.  
In: Grundlg. d. Landtechn. Heft 10, Düsseldorf 1958. S. 55 bis 69.
- [4] *Eggenmüller, Alfred*: Versuche mit Gruppen gegeneinander schwingender Hackwerkzeuge.  
In: Grundlg. d. Landtechn. Heft 10, Düsseldorf 1958. S. 70 bis 68.
- [5] *Getzlaff, Günter*: Kräftemessungen an Häufelkörpern.  
In: Grundlg. d. Landtechn. Heft 9, Düsseldorf 1957. S. 61 bis 68.
- [6] *Witt, F. K.*: Die Luftdurchlässigkeit des Bodens als Kriterium des Strukturzustandes und die Methodik ihrer Messung.  
Diss. Greifswald 1952.
- [7] *Söhne, Walter*: Luft- und Wasserdurchlässigkeit und Druckfestigkeit von Böden verschiedener Struktur und Dichte.  
Vortrag auf der Bodenkundlichen Tagung, Bremen 1957.

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung  
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig - Völkenrode  
Direktor: Prof. Dr. - Ing. Dr. h. c. W. Kloth

Anschrift des Verfassers: Dr. - Ing. Alfred Eggenmüller, (20 b) Braunschweig, Bundesallee 50