

Zugkraftbedarf und Arbeitserfolg starrer und federnder Grubberzinken

Von Rudolf Möller

Durch erzwungene Schwingungen bestimmter Form lassen sich die Zugkräfte von Bodenbearbeitungswerkzeugen erheblich verringern [1]. Es sollte daher die Frage untersucht werden, ob nicht auch bei federnd angebrachten Werkzeugen, die durch wechselnden Bodenwiderstand zu Schwingungen angeregt werden, ähnliche Zugkraftminderungen zu erzielen sind. Der konstruktive Aufwand ist bei federnden Werkzeugen im Gegensatz zu den zwangsläufig gesteuerten, schwingenden Werkzeugen gering.

Bei diesen Untersuchungen wurden ein *Eberhardt*-Grubber mit austauschbaren Werkzeugen (**Bild 1**) und im Vergleich ein *Kongskilde*-Feingrubber (**Bild 2**) verwendet. Für den *Eberhardt*-Grubber standen folgende Werkzeugsätze zur Verfügung:

Starre Werkzeugstiele A (Bild 3),
Spiralfederzinken B (Bild 4),
Arnszinken C (Bild 5) und
Starre, abgefederte Zinken D (Bild 6).

Zu den Stielen A, B und D waren vorhanden:

Reißerschare (1), 40 mm breit (Bild 3),
Gänsefußschare (2), 200 mm breit (Bild 4),
Gänsefußschare (3), 300 mm breit (Bild 6).

Die Arnszinken C waren mit 200 mm breiten Gänsefußscharen ausgerüstet. Im folgenden werden für die jeweiligen Werkzeugzusammenstellungen die obigen Buchstaben und Zahlen verwendet. B-2 heißt z.B. Spiralfederzinken mit 200 mm breitem Gänsefußschar.

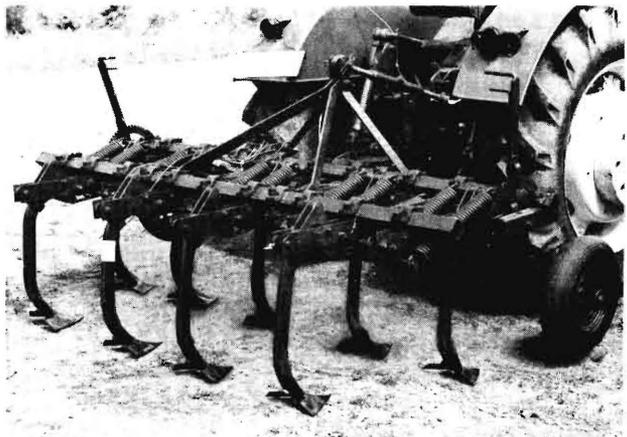


Bild 1. Der bei den Untersuchungen benutzte *Eberhardt*-Grubber Typ TGRB 531 mit 2 m Arbeitsbreite.

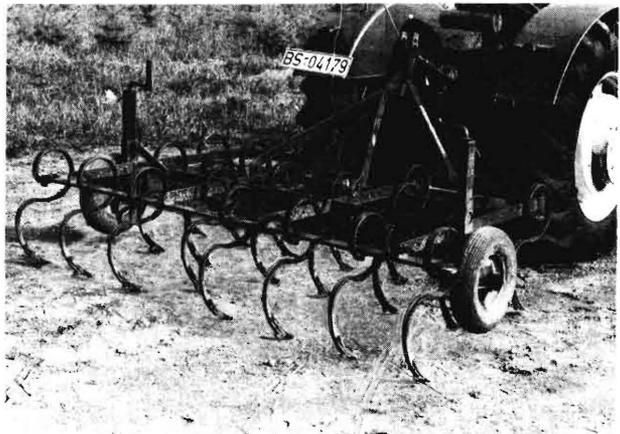


Bild 2. *Kongskilde*-Feingrubber mit 2 m Arbeitsbreite.

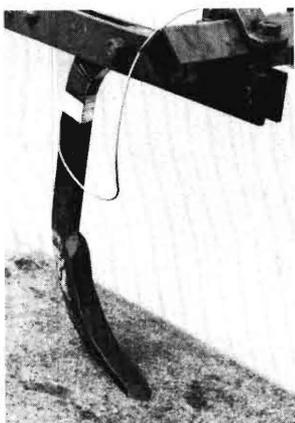


Bild 3. Starrer Werkzeugstiel mit 40 mm breitem Reisserschare (A-1). **Bild 4.** Spiralfederzinken mit 200 mm breitem Gänsefußschar (B-2). **Bild 5.** Arnszinken mit 200 mm breitem Gänsefußschar (C-2). **Bild 6.** Starrer, abgefederter Zinken mit 300 mm breitem Gänsefußschar (D-3).



Bild 7. Feingrubberzinken E mit Reisserschar.

Bild 8. Feingrubberzinken F mit 32 mm breitem Reisserschar.

Bild 9. Feingrubberzinken G mit Reisserschar.

Der dänische Feingrubber war mit drei verschiedenen Federzinken mit Reißerscharen ausgerüstet, die im folgenden mit E, F und G bezeichnet werden (**Bild 7 bis 9**). Von den Zinken F war ein vollständiger Satz vorhanden; mit ihm wurden die Zugkraftversuche durchgeführt. Von den Zinken E und G war nur je ein Stück mitgeliefert worden, so daß von diesen nur die Federkennlinien bestimmt werden konnten.

Die Federkennlinien der Zinken

Bei der Bestimmung der Federkennlinien wurde die Durchfederung der Werkzeugspitzen bei Belastung in Fahrtrichtung und die seitliche Durchfederung bei Belastung quer zur Fahrtrichtung (**Bild 10**) gemessen. Die Werkzeuge B und C weisen trotz vollkommen verschiedener Systeme in Fahrtrichtung fast die gleiche Federkonstante auf. Beide Kennlinien verlaufen nahezu linear. Auch die drei Feingrubberwerkzeuge E, F und G haben fast lineare Kennlinien, sind aber gegenüber B und C wesentlich weicher. Ein anderes Bild zeigt die Werkzeugfederung D. Nach einem steilen Anstieg, der von der Reibung zwischen der Halterung herührt, ergibt sich eine verhältnismäßig weiche Federung mit linearem Verlauf. Erst bei einer Belastung von 200 kg steigt sie progressiv an. Die Reibung wirkt als Dämpfung. Das Werkzeug D arbeitet in leichten Böden praktisch immer in dem „härteren“ Bereich des ersten Anstiegs.

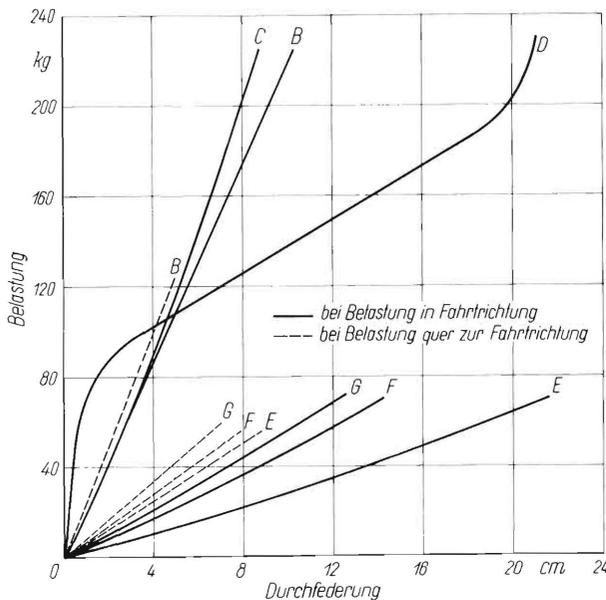


Bild 10. Durchfederung der Werkzeugspitzen bei Belastung entgegen der Fahrtrichtung und quer dazu. (Federkennlinien)

Soll die eingebaute Federung mehr als Überlastsicherung und nicht so sehr zur Erzielung einer besseren Krümelung durch Schwingungen dienen, dann ist ein größerer Widerstand bei Bewegungsbeginn von Vorteil [2].

Die seitliche Federkonstante nach Bild 10 wurde nur bei den Feingrubberwerkzeugen und bei dem Spiralfederzinken B gemessen. Bei letzterem ergab sich für seitlichen Zug die gleiche Federkon-

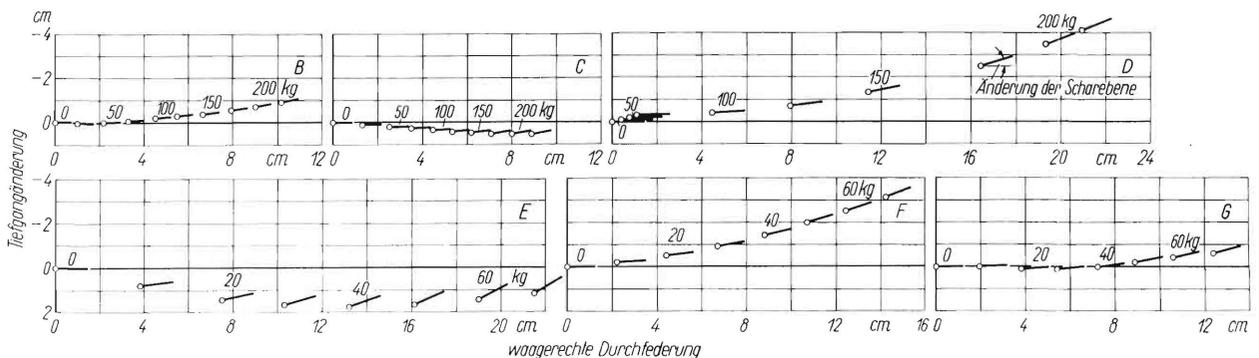


Bild 11. Bewegung der Werkzeugspitze und Veränderung des Anstellwinkels der Zinken B bis G bei Belastung in Fahrtrichtung, ausgehend von einer Horizontalen des unbelasteten Zinkens.

stante wie für die Belastung in Fahrtrichtung. Die Feingrubberzinken waren gegenüber Seitenkräften etwas steifer als gegenüber einer Belastung in Fahrtrichtung.

Lageänderung der Schare bei Belastung

Gleichzeitig mit der Messung der Federkonstanten bei Belastung in Fahrtrichtung wurde die jeweilige Lage der Werkzeugspitze und die Veränderung des Anstellwinkels der Scharebene gegenüber der Nullstellung festgestellt (Bild 11).

Die Punkte geben die Lage der Werkzeugspitzen der untersuchten sechs Zinken bei der jeweils angegebenen Belastung wieder; die daran anschließenden Geraden zeigen den jeweiligen Winkel gegenüber einer horizontal gedachten Ebene bei der Belastung Null. Die Werkzeuge B und C haben bei Belastung eine verhältnismäßig geringe Winkeländerung. Die Arbeitstiefe wird beim Werkzeug B bei Belastung geringer; dagegen nimmt sie bei C zu. Beim Werkzeug D verringert sich mit zunehmender Belastung die Arbeitstiefe in noch weit größerem Maße als beim Werkzeug B. Bei 200 kg Belastung ergibt sich bei diesem Zinken eine Verringerung der Arbeitstiefe um 35 mm.

Die Belastungsstufen wurden bei den drei Feingrubberzinken E, F und G mit Rücksicht auf ihre größere Weichheit kleiner gewählt. Das Werkzeug E vergrößert bei Belastung die Arbeitstiefe maximal um 18 mm, wobei auch der Anstellwinkel stark zunimmt. Dieser Zinken ist auf seiner ganzen Länge biegeweich, da hier nicht wie beim Zinken F der untere Teil steif ausgeführt ist. Bei Belastung nimmt also beim Zinken E der Tiefgang des Schares zu, wobei der Bodenwiderstand und damit die Belastung wächst. Der mit der Belastung größer werdende Anstellwinkel des Schares unterstützt diese Tendenz noch.

Das Werkzeug F, das in die Zugkraftmessungen mit einbezogen wurde, hat wieder die übliche Tendenz einer Verringerung der Arbeitstiefe mit steigender Belastung. Das gleiche Verhalten, nur mit geringerer Tiefgangsabnahme, zeigt das etwas steifere Werkzeug G.

Bild 12. Gesamtzugkraft eines Grubbers mit 9 starren Zinken A und 9 gefederten Zinken D bei verschiedenen Scharen (1), (2) und (3).
Arbeitstiefe $t = 8$ cm.

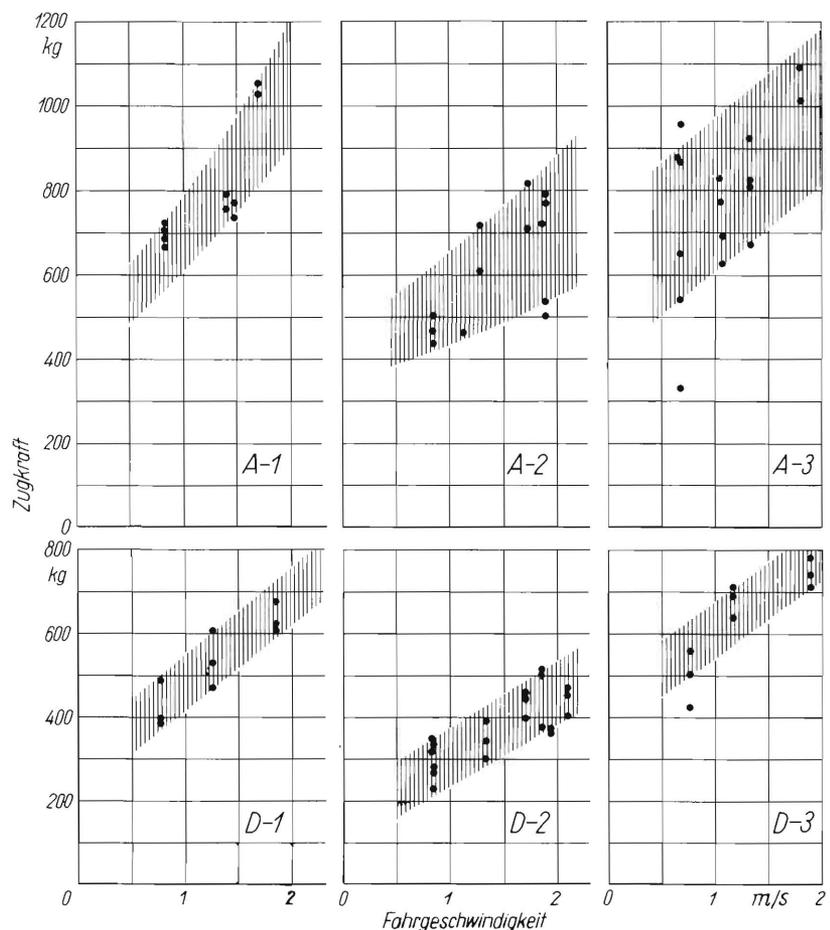
Messeinrichtung für die Zugkräfte

Die Gesamtzugkraft des Grubbers wurde mit einer elektronischen Einrichtung am Schlepper gemessen. Hierbei sind alle drei Lenker des Dreipunktgestänges an drei Meßbolzen angelenkt, die so mit Dehnungsmeßstreifen versehen sind, daß nur die jeweiligen Horizontalkomponenten der in den Lenkern wirkenden Kräfte gemessen werden. Die Zusammenfassung der Einzelwerte zur Gesamtzugkraft an den drei Meßbolzen erfolgt elektrisch [3].

Zum Messen der auf die Scharspitze der einzelnen Werkzeuge wirkenden Längskräfte (in Fahrtrichtung) wurde jeweils ein Stiel jeder Zinkenart mit Dehnungsmeßstreifen versehen (s. a. Bild 3 bis 9) und entsprechend geeicht.

Versuchsdurchführung

Die Messungen wurden in Völknerode auf einem Roggenstoppelacker eines lehmigen Sandes mit einem mittleren Porenvolumen von 41% und einer Feuchtigkeit von 14 Gew.% vorgenommen. Dabei wurde der Grubber mit den verschiedenen Werkzeugsätzen ausgerüstet und mit verschiedenen Geschwindigkeiten gefahren. In allen Fällen wurde eine Arbeitstiefe zwischen 7 und 8 cm eingehalten. Das zu messende Einzelwerkzeug wurde am Grubber in der ersten Reihe montiert, um eine Beeinflussung durch vorhergehende Werkzeuge zu vermeiden.



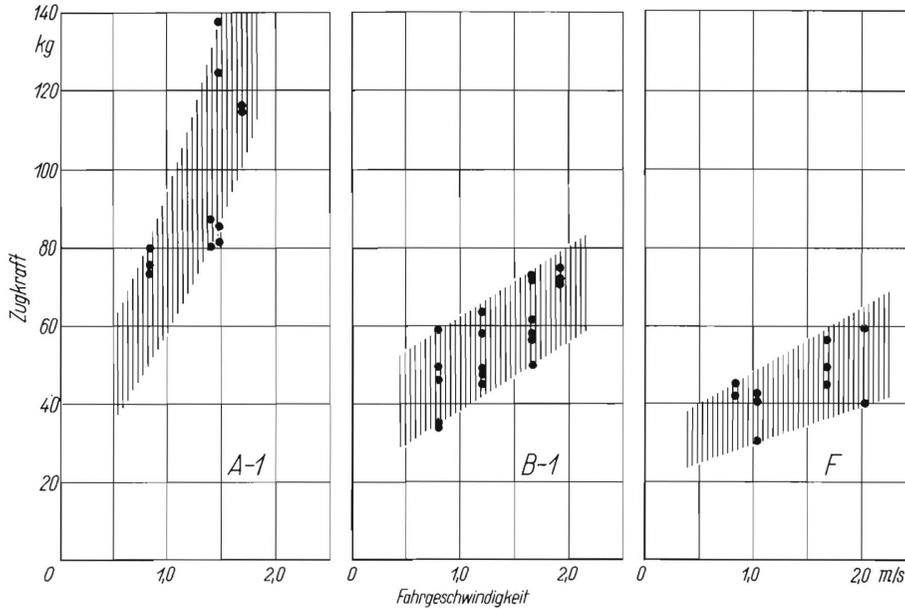


Bild 13. Zugkraftbedarf eines schmalen Einzelwerkzeuges bei starrer und gefedeter Anordnung.

Arbeitstiefe $t = 8 \text{ cm}$

Nach den Messungen wurden aus der jeweils bearbeiteten Fläche dreimal je ein Quadratmeter zur Schollenanalyse ausgewählt. Eine Siebanalyse war wegen der mangelnden Kohäsion des Bodens nicht möglich. Deshalb wurden die Gewichte der Einzelschollen mit einer Waage bestimmt. Außerdem wurde das Bodenprofil der gegrubberten Furchensohle über die gesamte Arbeitsbreite der Geräte bei Ausrüstung mit den verschiedenen Werkzeugen festgehalten.

Zugkräfte

Bild 12 zeigt die Gesamtzugkräfte des Grubbers bei einer Arbeitstiefe von 8 cm mit verschiedenen Zinken in starrer und gefedeter Ausführung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit. Der Grubber mit den gefederten Zinken D benötigt bei allen Scharbreiten erheblich geringere Zugkräfte. Zum Beispiel beträgt der Zugkraftbedarf des 200 mm breiten Gänsefußschar (2) am starren Zinken A bei 2 m/s Fahrgeschwindigkeit im Mittel 700 kg, während er bei der gefederten Zinkenanordnung D

auf rund 500 kg zurückgeht. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit steigen die Zugkräfte in allen Fällen erheblich an.

Auffallend hoch ist der Zugkraftbedarf des nur 40 mm breiten Reißerschar (1) gegenüber den Gänsefußschar (2) und (3), insbesondere dem 200 mm breiten Schar (2). Wie später bei den Bodenprofilen gezeigt wird, ist der durch die Reißerschar gelockerte Bodenquerschnitt außerdem noch wesentlich geringer als bei den Gänsefußschar, so daß die spezifische Zugkraft der Reißerschar noch erheblich ungünstiger ist.

In **Bild 13** sind die Zugkräfte einzelner starrer bzw. gefedeter Zinken bei einer Bestückung mit schmalen Reißerschar über der Fahrgeschwindigkeit aufgetragen. Auch hier ist der Zugkraftbedarf der Federsysteme B und F beträchtlich kleiner als beim starren System A. Das Werkzeug F zeigt die geringsten Werte, es ist allerdings als Feingrubberwerkzeug auch nur mit einem Reißerschar von 32 mm Breite gegenüber 40 mm bei den anderen beiden ausgerüstet. Bei den Gänsefußschar (2) mit 200 mm Breite (**Bild 14**) ist der Unterschied zwischen den starren Zinken A und dem Arnszinken C weniger groß.

Die oft sehr unterschiedliche Belastung der Einzelzinken in der ersten, zweiten oder dritten Werkzeugreihe zeigt **Bild 15**. Links sind die aus der gemessenen Gesamtzugkraft errechneten Mittelwerte für ein Werkzeug und rechts daneben die am Einzelwerkzeug in der ersten Reihe gemessenen Werte aufgetragen. Bei B ist kein sehr großer Unterschied festzustellen, dagegen ist er bei F sehr ausgeprägt. Die Zugkräfte eines Werkzeuges in der dritten Reihe wären noch kleiner, so daß sich der Zugkraftbedarf von Einzelzinken in der ersten und dritten Reihe wie 4 : 1 verhalten werden. Die Ursache hierfür wird klar, wenn man die dazugehörigen Bodenprofile betrachtet.

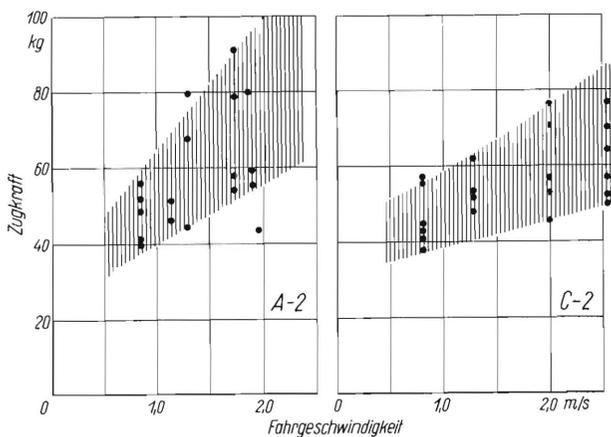


Bild 14. Zugkraftbedarf eines Einzelwerkzeuges in starrer (A) und gefedeter (C) Anordnung mit 200 mm breiten Gänsefußscharen.
Arbeitstiefe $t = 8 \text{ cm}$

Bodenprofile

Bild 16 zeigt die bearbeiteten Bodenprofile bei den mit Reißer-Scharen ausgerüsteten Zinken B und F. Der in Bild 15 erkennbare geringe Zugkraftunterschied beim Werkzeug B wird durch das Profil in Bild 16 verständlich, denn bei diesen schmalen Werkzeugen leistet die erste Reihe keine wesentliche Vorarbeit für die zweite Werkzeugreihe, da der Abstand der Werkzeuge zu groß ist.

Das Werkzeug F zeigt ein gut ausgeräumtes Bodenprofil, was auch aus der Differenz der ausplanimetrierten Bearbeitungsquerschnitte zwischen B-1 und F hervorgeht. Hierfür ist vor allem der geringe seitliche Werkzeugabstand bei dem Feingrubber verantwortlich, bei dem die vorhergehenden Werkzeuge den Boden schon zum größten Teil bearbeiten. Es ist deshalb verständlich, daß nach Bild 15 die Zinken der vorderen Reihe einen größeren Zugkraftbedarf haben, als die nachfolgenden Reihen.

Den Einfluß der Werkzeugbreite auf den bearbeiteten Querschnitt zeigen die Profile in Bild 17. Die Gänsefußschare, vor allem die breiten, schneiden den Boden unten vollkommen ab. Dadurch ist der bearbeitete Querschnitt auch entsprechend höher. Diese Profile entstanden bei Bearbeitung mit einer Fahrgeschwindigkeit von 1,75 m/s.

Häufigkeitsverteilung der Zugkräfte

In allen Bildern geben die Meßpunkte jeweils den Mittelwert der Zugkräfte während einer Zeit von etwa je einer Sekunde an. Der tatsächliche Verlauf der Zugkräfte, die um diesen Mittelwert z. T. erheblich schwanken, kann aus Häufigkeitsdarstellungen entnommen werden.

Bild 18 und 19 zeigen einige Meßschriebe von dem Verlauf der Zugkraft des 9-zinkigen Grubbers bzw. verschiedener Einzelwerkzeuge. Der starre Zinken A-1 weist die höchsten Spitzenwerte auf. Das andere Extrem ergibt sich beim Werkzeug F mit einem ausgesprochen ruhigen Verlauf. Ein Anstieg im Diagrammverlauf ist nicht nur ein Maß für die Zunahme der Kraft, sondern gleichzeitig auch für die Durchfederung, wobei man allerdings die verschiedene Größe der Federkonstanten berücksichtigen muß. Das schmale Werkzeug F mit 32 mm Breite hat für seitliche Belastung eine sehr weiche Kennlinie. Es kann deshalb in seitlicher Richtung ausweichen und dabei Bodenverfestigungen umgehen, was durch die geringe Werkzeugbreite noch erleichtert wird.

Einen ebenfalls sehr ruhigen Schrieb liefert das Werkzeug B-1 (Bild 19). Beim Zinken C schwankt dagegen die Zugkraft wie die Durchfederung sehr stark. Hier wechseln sich Frequenzen von 9 und 14 Hz stetig ab. Die Amplituden sind beträchtlich. Das Werkzeug D-2 hat höhere Frequen-

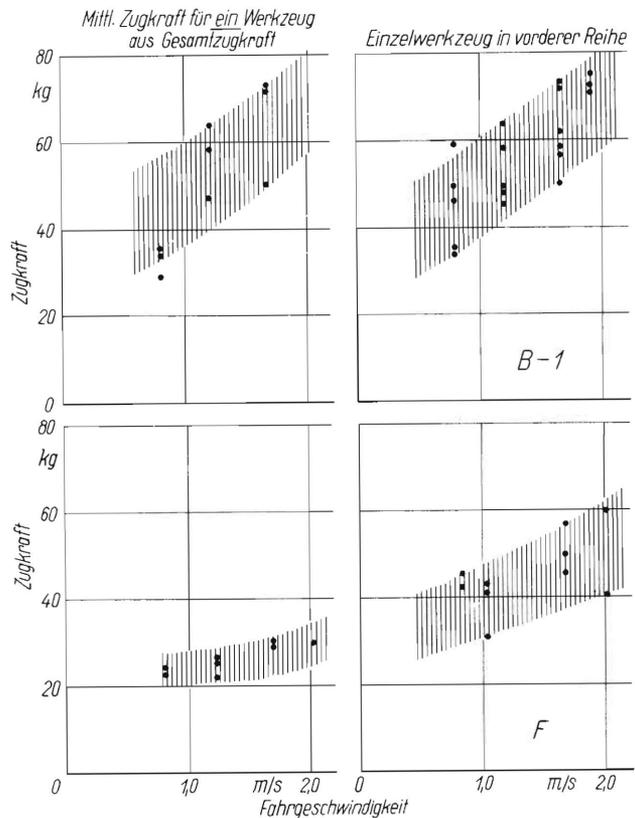


Bild 15. Der aus der Gesamtzugkraft ermittelte Zugkraftbedarf für einen Zinken ist kleiner als der am Einzelwerkzeug in der vorderen Werkzeugreihe gemessene.

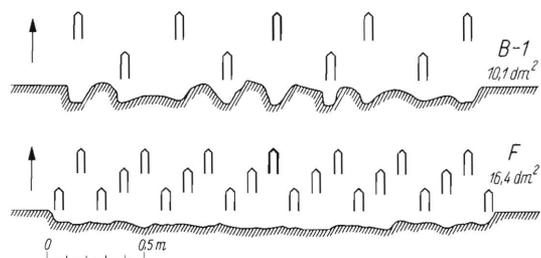


Bild 16. Bodenprofile nach dem Grubbern bei verschiedenem Werkzeugabstand.
 $v = 1,75 \text{ m/s}$

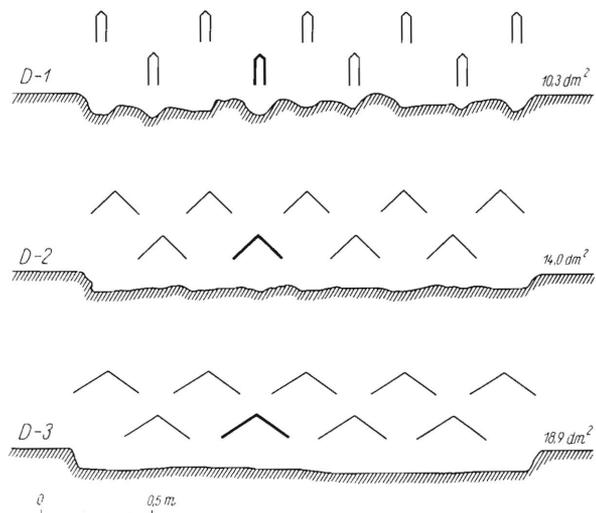


Bild 17. Bodenprofile nach dem Grubbern bei verschiedenen Werkzeugbreiten.
 $v = 1,75 \text{ m/s}$

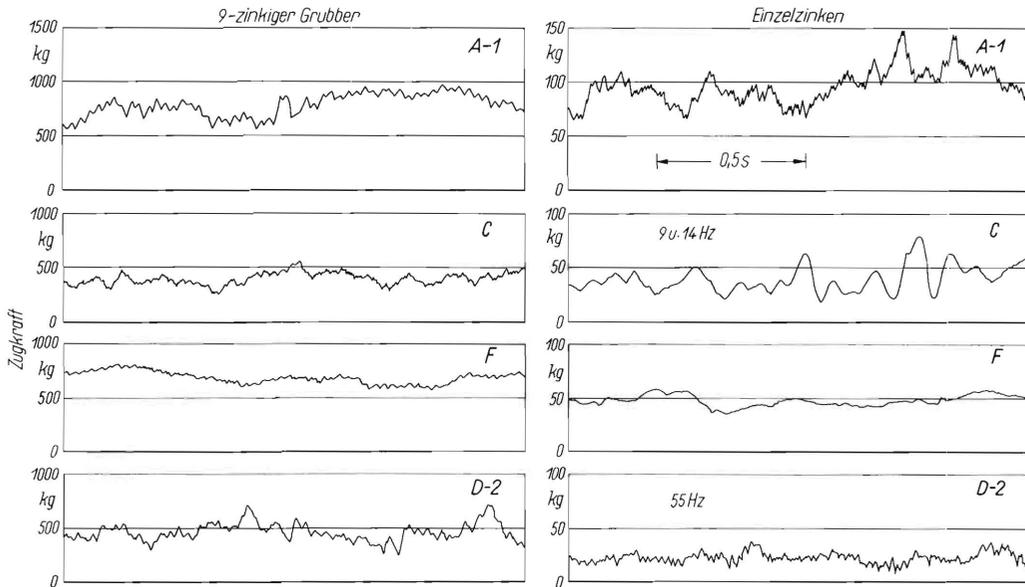


Bild 18. Oszillogramme von dem Zugkraftverlauf bei den Versuchen mit dem 9-zinkigen Grubber bzw. mit den verschiedenen Einzelwerkzeugen für eine Arbeitsgeschwindigkeit von $v = 1,2 \text{ m/s}$. Das Einzelwerkzeug D-2 ergibt kleinere Werte, weil es in der hinteren Reihe montiert ist.

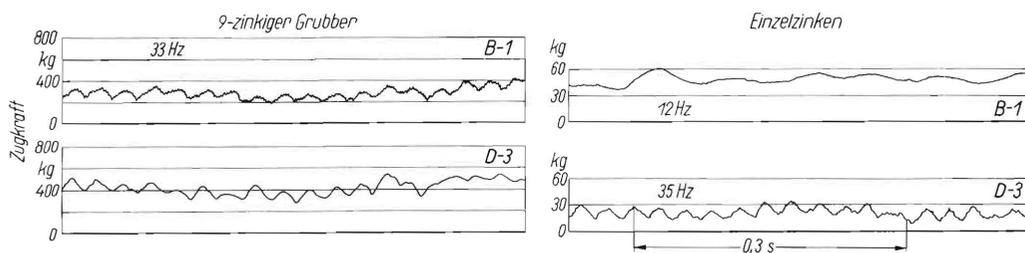


Bild 19. Weitere Oszillogramme von dem Zugkraftverlauf (wie in Bild 18).

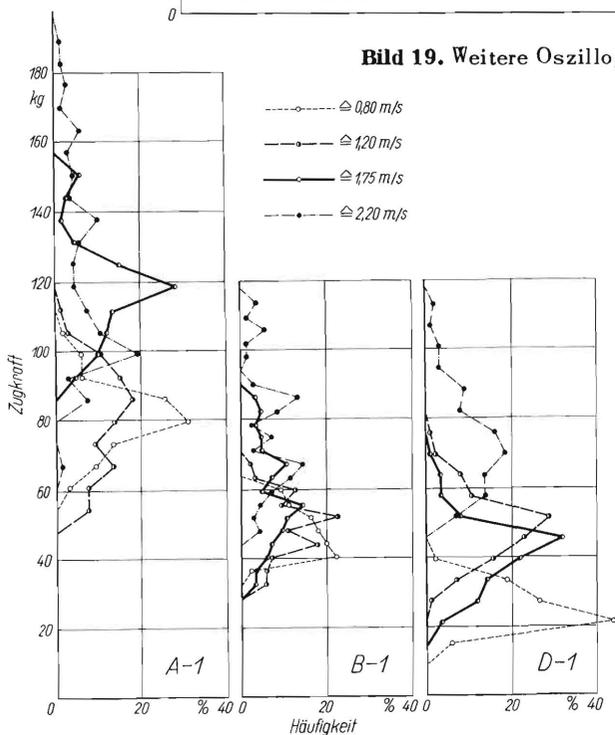


Bild 20. Häufigkeit der gemessenen Zugkräfte von einem starren und zwei gefederten Zinken mit schmalen Reisserscharen bei vier verschiedenen Geschwindigkeiten. Arbeitstiefe $t = 8 \text{ cm}$ Arbeitsgeschwindigkeit $v = 1,2 \text{ m/s}$

zen mit kleineren Amplituden. Die geringe absolute Höhe der auftretenden Kräfte an dem Einzelwerkzeug erklärt sich aus der Anbringung dieses Zinkens in der hinteren Reihe.

Bild 20 zeigt die Häufigkeit der auftretenden Zugkräfte von einem starren und zwei gefederten Zinken mit schmalen Reisserscharen für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten bei einer Arbeitstiefe von 8 cm. Die Streuung ist sehr beträchtlich, insbesondere bei dem starren Zinken A-1. Die maximalen Spitzenwerte sind bei allen drei Zinken bei der großen Fahrgeschwindigkeit (2,20 m/s) etwa doppelt so groß wie bei der kleinen (0,80 m/s).

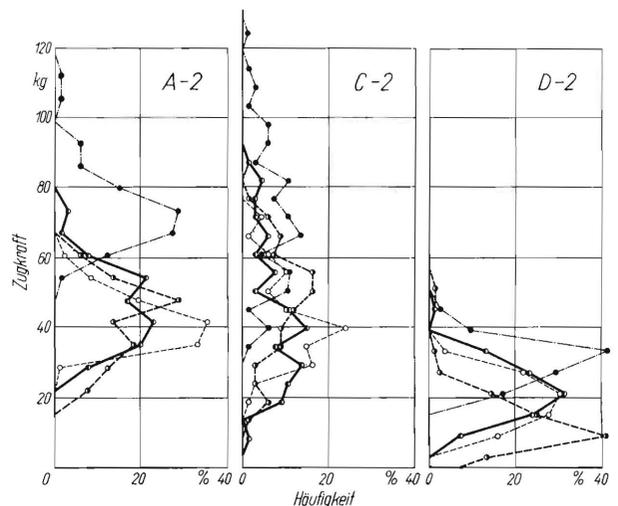


Bild 21. Häufigkeit der Zugkräfte bei verschiedenen Zinken mit 200 mm breitem Gänsefußschar. $t = 8 \text{ cm}$ $v = 1,75 \text{ m/s}$

Ebenso sind bei den starren Zinken die maximalen Spitzenwerte fast doppelt so groß wie bei den gefederten bei gleicher Fahrgeschwindigkeit.

Bei den 200 mm breiten Gänsefußscharen zeigt sich ein anderes Bild. Die Streuung des starren Zinkens A-2 (Bild 21) ist geringer als beim Zinken A-1 (Bild 20). Das gefederte Werkzeug C streicht über einen größeren Bereich als das entsprechende starre Werkzeug A-2, und zwar schwanken die Kräfte von 20 bis zu 200% des zugehörigen Mittelwertes. Dieses wurde schon aus dem Oszillogramm in Bild 18 deutlich. Die geringen Absolutwerte von D-1 in Bild 20 und D-2 in Bild 21 rühren davon her, daß die Meßzinken D in der hinteren Werkzeugreihe liefen und daher weniger stark belastet waren, wie alle anderen Meßzinken, die in der ersten Reihe liefen.

Arbeitserfolg, Schollenanalyse und Oberflächenzuwachs

Zur Kennzeichnung des erzielten Mischeffektes verschiedener Werkzeuge sind in Bild 22 bis 24 die Bodenoberflächen nach einer Bearbeitung mit verschieden breiten Scharen am starren Zinken A wiedergegeben. Ein wesentlicher Unterschied in der Mischung ist nicht erkennbar. Bild 25 zeigt die Arbeit des Werkzeuges C mit dem 200 mm breiten



Bild 22 bis 24. Bodenoberfläche nach einer Bearbeitung mit starren Zinken und Scharen verschiedener Arbeitsbreite.
 $v = 1,75 \text{ m/s}$



Bild 25 und 26. Bodenoberfläche nach einer Bearbeitung mit Arnszinken und 200 mm breiten Gänsefußscharen (C-2) und mit Feingrubberzinken F.
 $v = 1,75 \text{ m/s}$

Gänsefußschar und Bild 26 die des Feingrubberzinkens F. Letzterer scheint eine etwas bessere Mischung zu bewirken.

Zur weiteren Kennzeichnung des Arbeitserfolges wurden in allen Fällen Schollengewichtsanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Bild 27 bis 31 als Summenkurven dargestellt. Bild 27 zeigt die Schollenverteilung bei einem starren Zinken und Bild 28 bei einem gefederten Zinken mit verschiedener Scharbreite. Ein eindeutiger Einfluß der Scharbreite auf die Schollenverteilung ist nicht

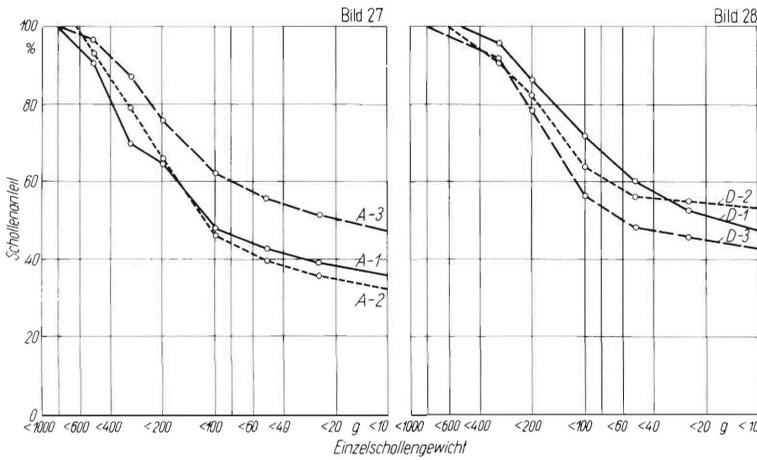


Bild 27 und 28. Summenkurven der Scholleneinzelgewichte bei verschiedenen Scharbreiten bei starrer und gefederter Anbringung.
 $t = 8 \text{ cm}$ $v = 1,75 \text{ m/s}$

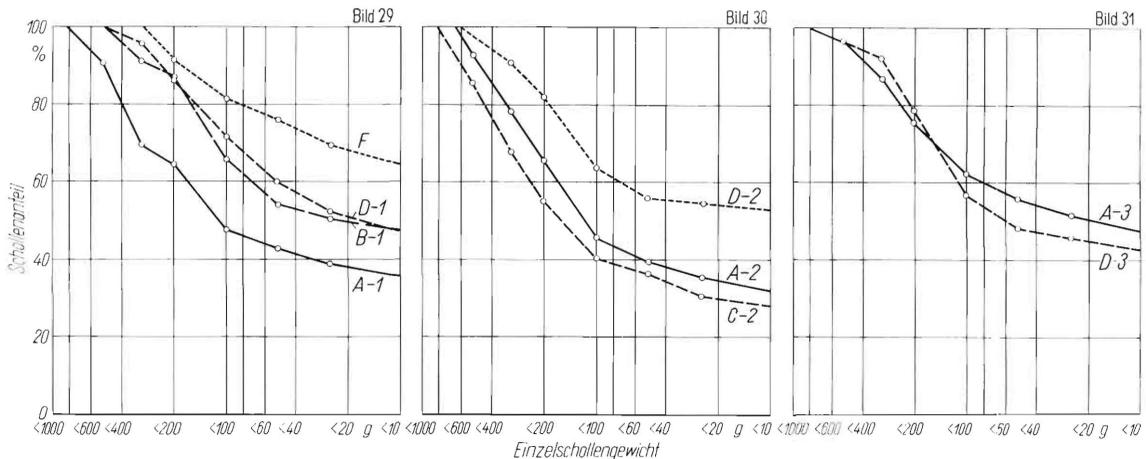


Bild 29 bis 31. Summenkurven der Scholleneinzelgewichte bei starren und gefederter Zinken bei jeweils demselben Schar.
 $t = 8 \text{ cm}$ $v = 1,75 \text{ m/s}$

erkennbar. Die Analysen der gefederter Werkzeuge weisen aber einen höheren Anteil von Schollen unter 10 Gramm auf.

In Bild 29 bis 31 sind die Summenkurven der Schollengewichte für jeweils dasselbe Schar an verschiedenen Zinken dargestellt. Bei den schmalen Reißerscharen in Bild 29 weist das gefederte Feingrubberwerkzeug F den größten Anteil an feinen Schollen unter 10g und das starre Werkzeug A-1 den geringsten Anteil an solchen Schollen auf. Dazwischen liegen die Werkzeuge B-1 und D-1. Bei den Gänsefußscharen mit 200mm Breite in Bild 30 hat das gefederte Werkzeug D-2 den größten Teil an feinen Schollen gegenüber dem starren Zinken A-2 und dem Werkzeug C-2, die sich nur wenig unterscheiden. Bei den Gänsefußscharen mit 300mm Breite in Bild 31 ist kein Unterschied zwischen der starren und gefederter Anordnung festzustellen.

Die Darstellung der Schollengewichtsanalyse als Summenkurve gibt eine gute Übersicht über die Verteilung der einzelnen Schollengrößen, läßt sich aber weniger gut zur Beurteilung und zum Vergleich des Arbeitserfolges bei verschiedenen Werkzeugen heranziehen.

Es wird daher der Versuch gemacht, die geleistete Arbeit durch den erzielten Oberflächenzuwachs zu kennzeichnen. Zu jeder Schollengröße

gehört eine bestimmte Oberfläche. Nimmt man nun für alle Schollen Kugelform an, so tritt in allen Fällen gegenüber der wirklichen Form der gleiche relative Fehler auf, was für einen Vergleich belanglos ist. Aus den bei diesen Untersuchungen ermittelten Gewichten der Schollen kann nun mit Hilfe des Raumgewichtes die zu jeder Schollengröße gehörende Oberfläche errechnet werden. Das Raumgewicht des unberührten Bodens erhält man aus den Stechzylinderproben von je 100 cm^3 Inhalt, die zur Bestimmung von Porenvolumen und Feuchtigkeit genommen wurden. In Bild 32 sind die Oberflächen F über dem jeweiligen Schollengewicht im doppellogarithmischen Maßstab aufgetragen. Die zweite Kurve zeigt die auf das Schollengewicht bezogene spezifische Oberfläche i in Abhängigkeit vom Schollengewicht.

Nimmt man nun aus der Summenkurve der Einzelschollengewichte die Häufigkeit H (in %) einer bestimmten Schollengröße und multipliziert diese mit der spezifischen Oberfläche i dieser Schollengrößen, so erhält man durch Summieren der Produkte $H \cdot i$ sämtlicher Schollengrößen die durch die Bearbeitung erzielte Oberfläche F^* je Gewichtseinheit nach der Formel:

$$F^* = 10 H \cdot i \text{ (cm}^2\text{/kg Bodenmasse).}$$

In Bild 33 ist bei der Bearbeitung mit verschiedenen Werkzeugen erzielte Bodenoberfläche F^* dar-

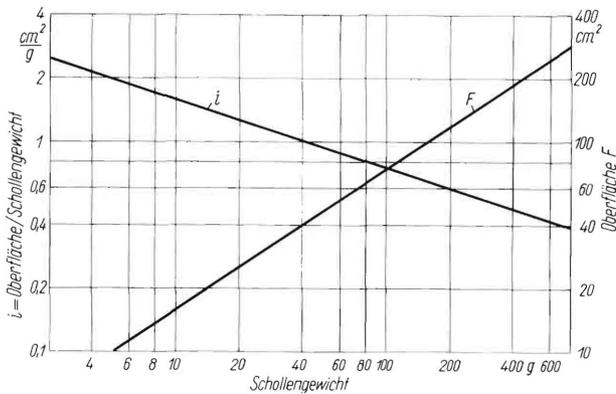


Bild 32. Absolute und spezifische Schollenoberfläche in Abhängigkeit vom Schollengewicht.

gestellt. Das Werkzeug C hat den geringsten und das Feingrubberwerkzeug F die größte Bodenoberfläche erzielt.

In **Bild 34** wurde diese durch die Bearbeitung erzielte Oberfläche ins Verhältnis zu der aufgewandten Zugkraft eines 2 m breiten Grubbers bei einer Fahrgeschwindigkeit von 1,75 m/s gesetzt. Hierbei zeigt sich eindeutig, daß mit den gefederten Werkzeugen bessere Erfolge in Bezug auf die Krümelung des Bodens erzielt wurden als mit den starren. Ein Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Krümelung des Bodens ist vorhanden, aber nicht sehr groß. So steigt F^* z. B. beim Werkzeug D-2 von $1190 \text{ cm}^2/\text{kg}$ Boden im 1. Gang (0,8 m/s) auf $1300 \text{ cm}^2/\text{kg}$ Boden im 3. Gang (1,75 m/s)¹⁾.

Scharschwingung und Arbeitserfolg

Nicht bei allen Werkzeugen traten ausgeprägte Schwingungen mit konstanter Frequenz auf. Der Zinken B schwang zum größten Teil mit etwa 10 Hz bei einer Amplitude von 5 mm an der Werkzeugspitze. Beim Zinken C wechselten Frequenzen von 9 und 14 Hz einander ab. Die Amplituden waren hier mit 12 mm sehr groß. Das Werkzeug D zeigte eine Frequenz um 50 Hz bei kleiner Amplitude (2 mm). Während der Messungen arbeitete das Werk-

¹⁾ In Bild 33 und 34 ist die Krümeloberfläche F^* auf das Gewicht von 1 kg Boden bezogen. Auf der rechten Seite der Diagramme ist noch der Maßstab für die Krümeloberfläche je dm^3 Boden angetragen, da das Bodenvolumen als Bezugsgröße mancherlei Vorteile gegenüber dem Gewicht hat, z. B. beim Vergleich verschiedener Böden, mit verschiedenem Feuchtigkeitsgehalt usw.

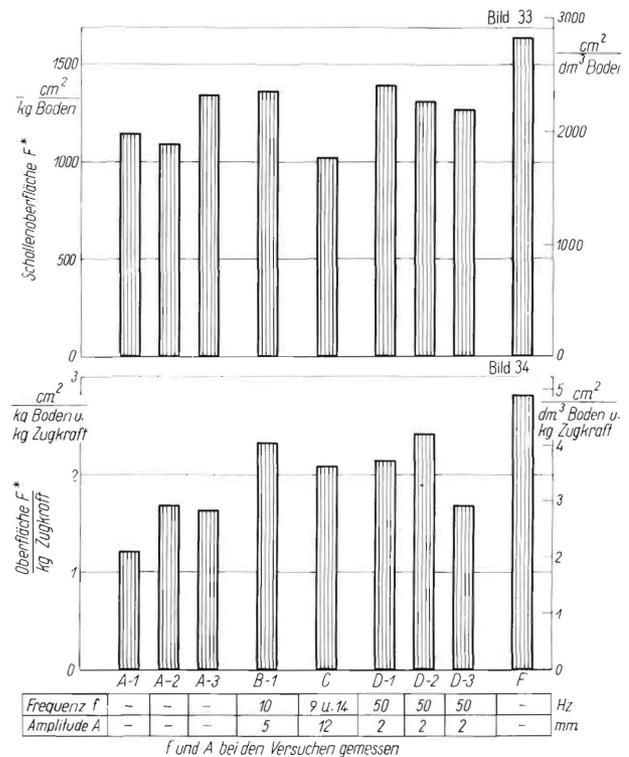
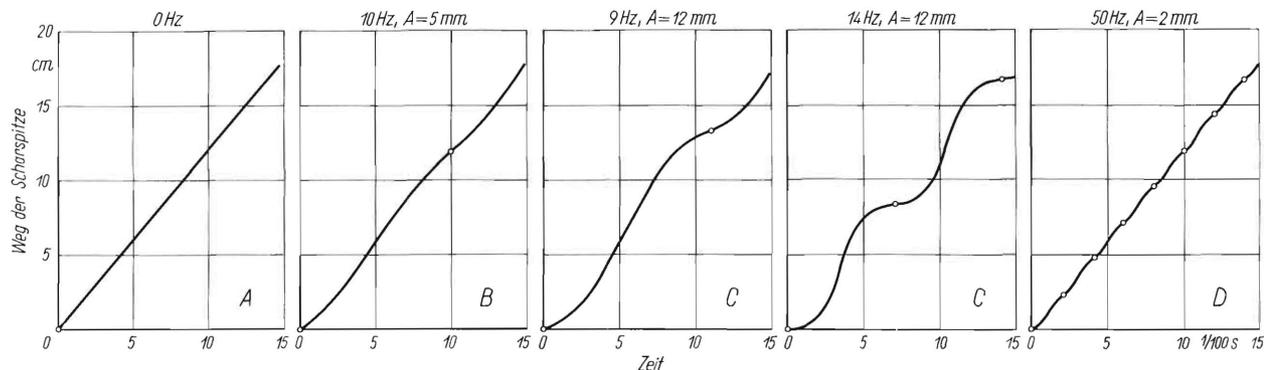


Bild 33. Oberflächenzuwachs je kg Bodenmasse bei starren und federnden Zinken und verschiedenen Scharbreiten.

Bild 34. Oberflächenzuwachs je kg Bodenmasse und kg Zugkraft bei den verschiedenen Werkzeugen. 2 m Arbeitsbreite des Grubbers, $v = 1,75 \text{ m/s}$

zeug D immer im steilen Anstieg der Federkennlinie (Bild 10). Da bei größeren Belastungen die Federkennlinie „weicher“ wird, wäre dort auch mit geringeren Frequenzen zu rechnen. Aus den Durchschnittswerten sind in **Bild 35** die Weg-Zeit-Kurven der Scharspitzen der einzelnen Zinken aufgetragen. Eine Darstellung als Wegkurve, wie sie bei schwingenden Werkzeugen üblich ist, war unzuweckmäßig, da nur geringe Vertikalbewegungen stattfanden. In Bild 35 würde eine horizontale Tangente an die Kurve die momentane Geschwindigkeit Null darstellen. Dieser Fall tritt beim Werkzeug C ein, wobei das Schar kurzzeitig relativ zum Boden in Ruhe ist und dann nach vorn schnell. Dieses ausgeprägte Schwingen zeigte schon Bild 18.

Bei angetriebenen schwingenden Werkzeugen wird die Kraft zur Relativbewegung des Werkzeugs

Bild 35. Weg-Zeit-Kurven verschiedener Grubberzinken. $v = 1,2 \text{ m/s}$

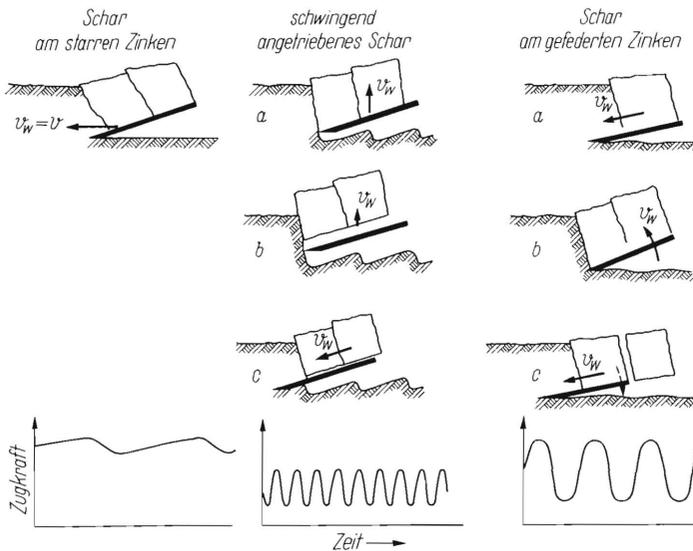


Bild 36. Wirkungsweise und Zugkraftverlauf von starren, schwingenden und gefederten Werkzeugen.

aus der Zapfwelle entnommen; bei gefederten Werkzeugen dagegen werden die Schwingungen von den ungleichmäßigen Bodenkraften angeregt. Dabei wird der Mittelwert der Zugkraft beim federnden gegenüber einem starren Zinken verringert.

Im Gegensatz zu angetriebenen schwingenden Werkzeugen fehlt beim gefederten die Hubphase, die den Boden senkrecht oder gar nach hinten beschleunigt und dadurch die Reibung während der folgenden Schnittphase verringert. In **Bild 36** ist die Wirkungsweise von starren, schwingenden und gefederten Werkzeugen mit dem entsprechenden Zugkraftverlauf im Schema dargestellt.

Beim starren Werkzeug dient die Zugkraft sowohl zum Abschneiden und Abscheren als auch zum Aufbrechen und Beschleunigen des Bodens. Die leichten Schwankungen in der Zugkraft rühren von dem periodischen Aufbrechen des Bodens her. Bei einem schwingenden Werkzeug werden die Einzelvorgänge in verschiedene Phasen aufgeteilt und ein Teil der erforderlichen Kräfte über den Schwingentrieb eingeleitet, so daß der eigentliche Zugwiderstand geringer wird. Der auf dem Werkzeug lastende Boden wird in der Hubphase nach oben beschleunigt und dabei über der Scharsschneide vom Boden abgeschert. Der Boden löst sich dann vom Werkzeug, so daß das Werkzeug in der anschließenden Schnittphase wegen der verminderten Reibung zwischen Scharfläche und Boden im wesentlichen nur den Schnittwiderstand zu überwinden hat.

Beim federnden Werkzeug dringt die Schneide in den Boden ein und bleibt, durch den Widerstand

des Bodens gehemmt, zurück. Da die Fahrgeschwindigkeit des Werkzeugrahmens konstant bleibt, vergrößert sich laufend der Anstellwinkel der Schneide, was zum Losbrechen des auf dem Werkzeug befindlichen Bodens führt. Wird nun die Federkraft größer als der Bodenwiderstand, so schnellst das Werkzeug nach vorn. Bei dieser Bewegung vergrößert es etwas seinen Tiefgang und verringert gleichzeitig seinen Anstellwinkel. Durch die Schnelligkeit des Vorgangs bedingt, wird der Boden nicht mit seinem vollen Gewicht auf dem Schar aufliegen, so daß die Reibung zwischen Schar und Boden nicht voll zur Wirkung kommt. Auf diesen Vorgang wird wohl ein Teil der Zugkraftersparnis der federnden Zinken zurückzuführen sein, wogegen der größere Anteil auf das Ausweichen vor harten Bodenstellen und Ansammlung von Energie vor solchen Stellen herühren dürfte. Bei der Festlegung der Bewegungsbahnen der Scharspitzen und Anstellwinkel sollte man auf diese Umstände Rücksicht nehmen.

Dieser Hinweis über den Vorgang bei federnden Werkzeugen kann nur als Versuch einer Deutung angesprochen werden. Es soll das Ziel weiterer Versuche sein, den Vorgang im Einzelnen zu klären.

Zusammenfassung

Der Einsatz von federnden Grubberzinken bringt eine Zugkraftersparnis von 20 bis 30% gegenüber starren Werkzeugen. Bei allen federnden Werkzeugen ist die erzielte Zerkleinerungsarbeit je kg Zugkraft größer als bei den starren Werkzeugen. Die größte Wirksamkeit in dieser Hinsicht zeigt ein Feingrubberzinken, der auch zur Seite ausweichen kann. Bei einer Anordnung der Feingrubberzinken in 3 Reihen verhielten sich die Zugkräfte von Einzelzinken in der ersten und dritten Reihe wie 4 : 1. Schmale Reißerschare von 40 mm Breite zeigen gegenüber 200 mm breiten Gänsefußscharen ein ungünstiges Verhalten hinsichtlich des Zugkraftbedarfes sowohl bei starren als auch bei federnden Zinken.

Schrifttum

- [1] *Eggenmüller, Alfred*: Schwingende Bodenbearbeitungswerkzeuge. Kinematik und Versuche mit einzelnen Modellwerkzeugen. In: Grundlg. d. Landtechn., Heft 10, VDI-Verlag, Düsseldorf 1958, S. 55/69.
- [2] *Clyde, A.W.*: Spring trip cultivator shanks. Journal Series of the Pennsylvania Agric. Experiment Station. July 1938. Paper No. 841.
- [3] *Thiel, Roman*: Zugkraftmessung am Dreipunktbau des Ackerschleppers mittels elektrischer Messmethoden. Landtechn. Forsch. 8 (1958) S. 132/134.

Institut für landtechnische Grundlagenforschung
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig - Völkenrode
Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel

Anschrift des Verfassers: Ing. Rudolf Möller, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50