

Vergleichsuntersuchungen an Geräten zur Saatbettbereitung mit zapfwellengetriebenen rotierenden Werkzeugen

Von Alfred Stroppel und Reinhard Reich,
Stuttgart-Hohenheim*)

DK 631.51:631.313.72

Geräte zur Saatbettbereitung mit angetriebenen, rotierenden Werkzeugen haben in den letzten Jahren gegenüber gezogenen Saatbettkombinationen beträchtlich an Bedeutung gewonnen. Das hat verschiedene Gründe. Die geringere Zahl von Überfahrten auf schweren Böden und die einfachere Möglichkeit zur Kombination beispielsweise mit der Drillmaschine sind nur zwei Argumente.

In dieser Arbeit werden zwei typische Vertreter der Saatbettbereitungsgeräte mit rotierenden Werkzeugen untersucht und miteinander verglichen. Bei dem einen Gerät (Kreiselegge) rotieren die Werkzeuge um vertikale Achsen und bei dem zweiten Gerätetyp (Rotoregge) drehen sich die Werkzeuge um eine horizontale, quer zur Fahrtrichtung liegende Achse (Zinkenrotor). Bei den Untersuchungen geht es in erster Linie um einen Vergleich des Leistungs- und Energiebedarfs sowie des Arbeitseffekts beider Geräte.

1. Einleitung

Zapfwellengetriebene Geräte zur Saatbettbereitung zerkleinern die Schollen und Kluten mittels schlagender, stechender, schneidender, drückender und reibender Werkzeuge. Wenn es hierbei im technischen Detail auch eine große Vielfalt gibt, so handelt es sich bei den Geräten mit rotierenden Werkzeugen prinzipiell um nur zwei Grundsysteme:

1. Werkzeuge rotieren um vertikale Achse(n)
2. Werkzeuge rotieren um eine horizontale, quer zur Fahrtrichtung liegende Achse.

Ein typischer Vertreter der ersten Gerätegruppe ist die Kreiselegge, während die sogenannte Rotoregge (Zinkenrotor) die zweite Gerätegruppe repräsentiert.

Vergleicht man die beiden Gerätetypen miteinander, so kann man folgende grundsätzliche Unterschiede feststellen:

Die Bewegungsbahnen der Werkzeuge der Kreiselegge sind parallel zur Bodenoberfläche; während des Umlaufs des Kreisels wirken die Werkzeuge entgegen, quer und in der Fahrtrichtung. Sie wirken dabei in erster Linie nur schlagend auf die Bodenteilchen ein. Die Bewegungskomponente der Werkzeuge quer zur Fahrtrichtung ebnet den gepflügten Boden (und die Schlepperspuren) gut ein. Ernterückstände, die vor der Saatbettbereitung (z.B. nach dem Grubbern) nicht eingearbeitet waren, bleiben auch nach der Bearbeitung des Bodens mit der Kreiselegge vorwiegend auf der Bodenoberfläche. Es erfolgt eine gewisse Sortierung der Bodenaggregate in der Weise, daß feinere Teile tendenzmäßig tiefer und gröbere näher an der Bodenoberfläche abgelegt werden.

*) Prof. Dr.-Ing. A. Stroppel ist Inhaber des Lehrstuhls für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim; Dipl.-Ing. Dr. R. Reich ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 der Universität Hohenheim.

Die Bewegungsbahnen der Werkzeuge des Zinkenrotors liegen in Ebenen senkrecht zur Bodenoberfläche; die Werkzeuge wirken im Verlauf ihrer Bahn durch den Boden zuerst in etwa senkrecht zur Bodenoberfläche und später entgegen der Fahrtrichtung. Dabei wirken sie im ersten Abschnitt schlagend, drückend und stechend auf die Bodenteilchen ein; im zweiten Abschnitt nur schlagend. Eine Bewegungskomponente quer zur Fahrtrichtung ist nicht vorhanden, so daß oft zur Einebnung spezielle Werkzeuge notwendig sind. Ernterückstände können in den Boden eingearbeitet werden. Von Bedeutung ist dieser Gerätetyp bei Kombinationen mit vorausgehenden grubberförmigen Lockerungswerkzeugen zur tiefen Bodenbearbeitung, wobei eine sehr enge räumliche Zuordnung vorausgesetzt sein soll. Der von den Grubberwerkzeugen gehobene Bodenstrom kann vom Zinkenrotor gut erfaßt und verarbeitet werden.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist im Antrieb zu finden:

Bei der Kreiselegge liegt der Antrieb über den Werkzeugen, während die Rotoregge in der Regel einen seitlichen Antrieb hat. Dementsprechend kann man bei der Kreiselegge die Transportbreite so einstellen, daß sie nicht größer als die effektive Arbeitsbreite ist, was insbesondere bei 3 m-Geräten von Bedeutung ist. Bei der Rotoregge (Zinkenrotor) dagegen ist die Transportbreite in der Regel größer als die effektive Arbeitsbreite. Auch kann das Vorhandensein eines seitlichen Getriebekastens bei der Kombination der Rotoregge mit der Drillmaschine insoweit Probleme bringen, als beim Anschlußfahren der Getriebekasten zu weit in den schon bestellten Streifen hineinragt und dabei die äußerste Drillreihe zerstört.

Weiterhin ist zu erwähnen, daß die Rotoregge verschiedenen Einsatzfällen angepaßt werden kann, indem der komplette Werkzeugsatz ausgewechselt wird (z.B. Messerrotor gegen Zinkenrotor), was bei der Kreiselegge nicht möglich ist.

Eine vergleichende Beurteilung dieser beiden Gerätetypen bezüglich des Leistungs- und Energiebedarfs sowie des Arbeitseffektes ist derzeit nicht möglich, da keine Veröffentlichungen über entsprechende vergleichende Untersuchungen bekannt sind. Deswegen wurden im Rahmen der Arbeiten des DFG-Sonderforschungsbereichs 140 der Universität Hohenheim einige vergleichende Untersuchungen durchgeführt, über die im folgenden berichtet werden soll¹⁾.

2. Aufgabenstellung

In den folgenden Ausführungen werden zuerst (Abschn. 3) die untersuchten Geräte eingehend beschrieben. In Abschn. 4 wird auf die Versuchsdurchführung näher eingegangen. Dabei werden auch die Meßgrößen, das Versuchsfeld, der verwendete Schlepper und die Versuchsparameter näher erläutert. Im Mittelpunkt von Abschn. 5 stehen die verwendeten Meßeinrichtungen und die Auswertung der Meßgrößen. Die vergleichenden Versuchsergebnisse werden in Abschn. 6 vorgestellt und diskutiert. Dabei wird auch verdeutlicht, daß bei derartigen Gerätevergleichen eine objektive Vergleichsbasis geschaffen werden muß, wenn man Fehlinterpretationen vermeiden möchte. Im letzten Abschnitt werden die wesentlichen Punkte dieser Arbeit nochmals zusammengefaßt.

¹⁾ Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierte dieses Forschungsvorhaben. Die Firma Rau, 7315 Weilheim (Teck), stellte sämtliche Geräte zur Verfügung. Dafür sei auch an dieser Stelle gedankt.

3. Untersuchte Geräte

Es wurden schwerpunktmäßig zwei Geräte untersucht:

1. Kreiselegge
2. Rotoregge (Zinkenrotor).

Bei der Rotoregge wurden zwei Varianten eingesetzt, die sich jedoch nur in der Anzahl der Zinken unterschieden. In allen Fällen war die nominelle Arbeitsbreite der Geräte 3 m.

3.1 Kreiselegge

In Bild 1 sind die Werkzeuge der untersuchten Kreiselegge zu sehen. Es sind jeweils zwei Zinken an einem Kreiselrotor befestigt. Benachbarte Kreisel sind jeweils um 90° gegeneinander versetzt und arbeiten mit entgegengesetzter Drehrichtung. Die Zinken haben, in Bewegungsrichtung gesehen, eine bestimmte Schrägstellung nach hinten, damit nicht so viel feuchter Boden an die Oberfläche gefördert wird. Die Länge der Zinken beträgt ca. 220 mm. Die maximale Arbeitstiefe ist nach Firmenangabe 200 mm. Der mittlere Durchmesser der kreisförmigen Bahnen der Zinken beträgt 250 mm, wobei sich die mittleren Kreisbahnen benachbarter Kreisel wenige Millimeter überlappen. Das 3 m breite Gerät hat 12 Kreisel.

Die Drehgeschwindigkeit der Kreisel kann je nach Zapfwellendrehzahl (540 oder 1000 min^{-1}) und je nach Zahnradpaarung des Wechselgetriebes zwischen 131 und 440 min^{-1} liegen. Das entspricht einer mittleren Umfangsgeschwindigkeit der Zinken von $1,7$ – $5,8 \text{ m/s}$.

Bild 2 zeigt ein Gesamtbild der untersuchten Kreiselegge. Vor den Kreiseln befindet sich eine gefederte Schiene a, die neben einer Schutzfunktion für die Kreisel die Aufgabe hat, den Boden einzuebnen. Hinter dieser Nivellierschiene sind die 12 Kreisel b angeordnet. Die seitliche Abdeckung der beiden äußeren Kreisel erfolgt durch gefederte Bleche c. Diese Bleche können um eine Vertikalachse gegen den Druck einer Feder ausschwenken, um auf diese Weise Hindernissen, z.B. Steinen, auszuweichen. Da bei einer effektiven Arbeitsbreite von 3 m die Gesamtbreite des Gerätes größer als 3 m ist, müssen die Seitenbleche beim Gerätetransport eingeschoben werden. Die Transportbreite ist dann nicht größer als 3 m. Der Antrieb der Kreisel erfolgt über das Getriebe d und die Zahnräder, die sich im Kasten e oberhalb der Kreisel befinden. Das Getriebe hat im hinteren Teil Wechselräder, die man zum Zwecke der Drehzahländerung auswechseln kann. Die Kreiselegge wird über eine Rohrtragwalze, die im Bild nicht zu sehen ist, getragen. Sie bestimmt auch die Arbeitstiefe, die über eine Spindel – ebenfalls nicht abgebildet – eingestellt werden kann.

Die 3 m breite Maschine einschließlich Rohrtragwalze hat eine Masse von 827 kg. Die maximal zulässige Eingangsleistung ist nach Firmenangaben 90 kW bei 540 min^{-1} und 106 kW bei 1000 min^{-1} .

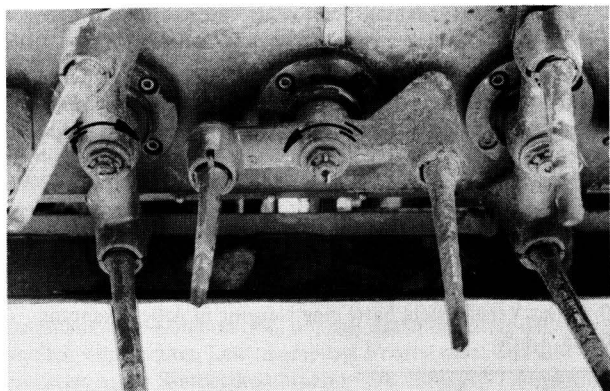


Bild 1. Werkzeuge der untersuchten Kreiselegge (Ansicht von unten).

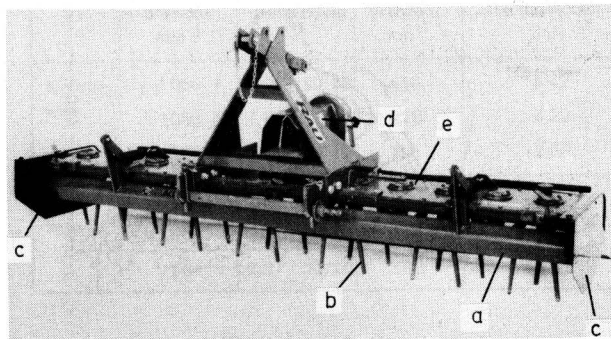


Bild 2. Untersuchte Kreiselegge.

- | | | | |
|---|---------------------|---|----------------------------|
| a | gedeferte Schiene | d | Getriebe |
| b | Kreisel | e | Kasten für Kreiselantriebe |
| c | seitliche Abdeckung | | |

3.2 Rotoregge (Zinkenrotor)

In Bild 3 sind die Werkzeuge der untersuchten Rotoregge zu sehen: oben der Zinkenrotor mit 45 Zinken, unten der entsprechende Rotor mit 90 Zinken für die 3 m breite Maschine. Bei dem Rotor mit 45 Zinken befindet sich in einer Drehebene jeweils nur ein Zinken, bei dem Rotor mit 90 Zinken sind es jeweils zwei. Der axiale Abstand (Strichabstand) zwischen den Zinkenebenen beträgt 60 mm. Die Zinken sind in axialer Richtung spiralförmig angeordnet.

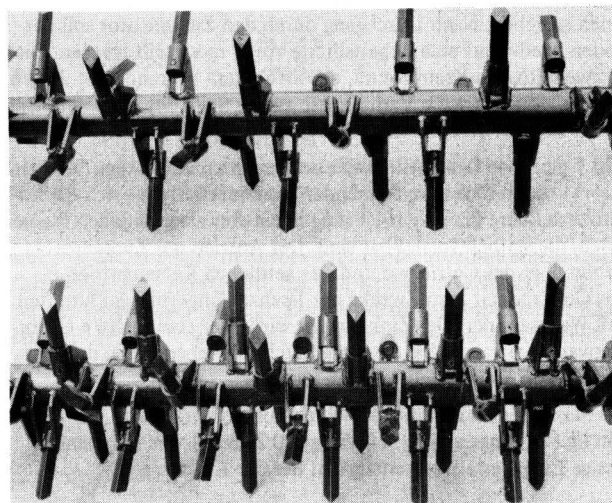


Bild 3. Werkzeuge der untersuchten Rotoregge; Teilansicht.

- oben: Rotor mit 45 Zinken
unten: Rotor mit 90 Zinken

Bild 4 zeigt für den 90er Zinkenrotor einen maßstäblichen Schnitt durch die Drehebene mit den beiden Zinken, die um 180° gegeneinander versetzt sind. Der Zinkenrotor dreht in gleichem Sinn wie die Schlepperräder, d.h. wie eine Gleichlaufräse. Die Zinkenvorderranten sind nicht radial angeordnet, wodurch neben dem schlagenden auch ein stechender Effekt erzielt werden soll. Deswegen wird für diesen Rotor auch die Bezeichnung "Keilzinkenrotor" verwendet. Die maximale Arbeitstiefe beträgt 20 – 25 cm .

Die Drehgeschwindigkeit des Zinkenrotors kann je nach Zapfwellendrehzahl (540 oder 1000 min^{-1}) und je nach Zahnradpaarung des Wechselgetriebes zwischen 159 und 431 min^{-1} liegen. Das entspricht einer mittleren Umfangsgeschwindigkeit der Zinkenspitzen von $4,0$ – $10,8 \text{ m/s}$.

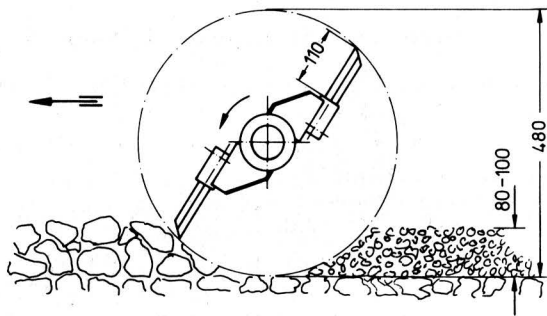


Bild 4. Schnitt durch eine Drehebene des Zinkenrotors.

Wegen der seitlichen Lagerung und des seitlichen Antriebes des Zinkenrotors gibt es insbesondere bei Geräten mit einer Arbeitsbreite von 3 m gewisse Probleme. Will man Langfahrvorrichtungen vermeiden, so darf man die Transportbreite von 3 m nicht überschreiten. Die effektive, d.h. von den Zinken bearbeitete Breite muß dann kleiner als 3 m sein. Bei den beiden untersuchten Zinkenrotoren ist die effektive Arbeitsbreite $45 \cdot 0,06 \text{ m} = 2,7 \text{ m}$. Da die Zinken der beiden äußeren Zinkenebenen etwas nach außen gebogen sind, kann man mit einer etwas größeren effektiven Arbeitsbreite von 2,75 m arbeiten. Um nun trotzdem die nominelle Arbeitsbreite von 3 m zu erreichen, wurden vor dem Getriebekasten ein Abweisblech, Bild 5, rechts, und vor dem zweiten seitlichen Lager eine Planierplatte als Teil der vor dem Zinkenrotor arbeitenden Planiereinrichtung (Bild 5, links) angebracht. Diese Teile sollen bei einer Arbeitstiefe des Zinkenrotors von 8 bis 10 cm den Boden, der sich vor dem Getriebekasten und vor dem Lager befindet, bis in eine Tiefe von ca. 5 cm erfassen und nach innen schieben. Nach Durchgang durch den Zinkenrotor soll der Boden wieder auf eine Arbeitsbreite von 3 m verteilt werden. Dies ist zweifellos ein Kompromiß, der im System begründet ist. Bild 6 zeigt schematisiert die Verhältnisse an der Seite des Zinkenrotors, an der sich der Getriebekasten befindet.

Bild 7 gibt eine Gesamtansicht der untersuchten Rotoregge (Zinkenrotor) wieder. Vor den rotierenden Zinken a befindet sich die höhenverstellbare Planiereinrichtung b mit den verschiedenen Planierteilen, die seitlich verstellbar sind. Der Antrieb des Zinkenrotors erfolgt über das Getriebe c und den seitlichen Kettenantrieb d. Das Getriebe hat zum Zwecke der Drehzahländerung im hinteren Teil Wechselräder. Der Zinkenrotor wird über eine Walze e (Rohrtragwalze) getragen. Sie bestimmt auch die Arbeitstiefe, die über eine Spindel f eingestellt werden kann.

Die Masse der 3 m breiten Maschine mit Rohrtragwalze beträgt 936 kg (45 Zinken) bzw. 1005 kg (90 Zinken). Die maximal zulässige Eingangsleistung entspricht der der Kreiselegge.

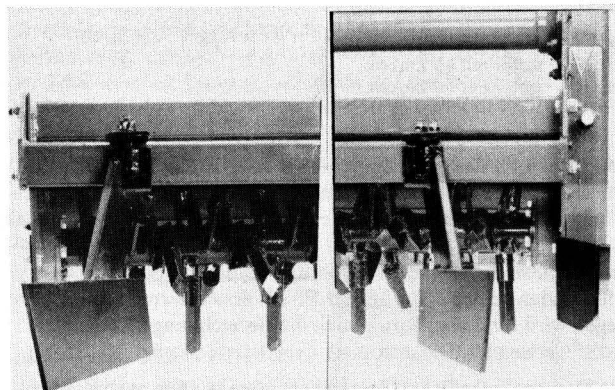


Bild 5. Seitliche Begrenzungsteile der Rotoregge; rechts: Getriebekasten; links: Rotorlagerung.

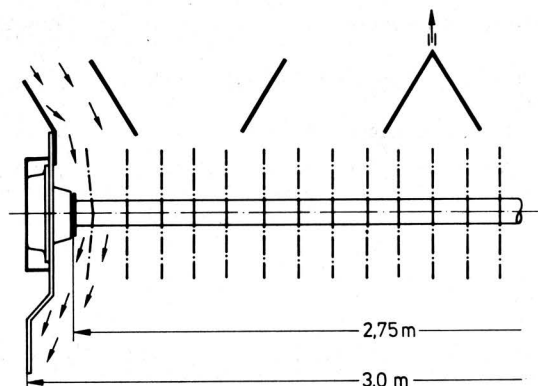


Bild 6. Schematische Darstellung des Bodenflusses an der Getriebekastenseite der Rotoregge; Draufsicht.

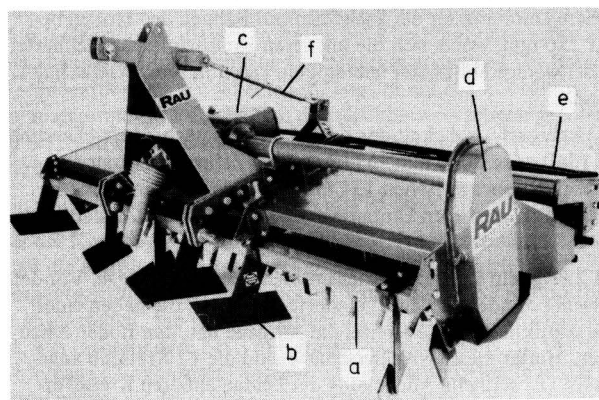


Bild 7. Untersuchte Rotoregge.

- | | |
|----------------------|-------------------|
| a Zinken | d Kettenantrieb |
| b Planiereinrichtung | e Rohrtragwalze |
| c Getriebe | f Einstellspindel |

4. Versuchsdurchführung

Zur Ermittlung von Vergleichswerten wurden folgende Größen gemessen:

- die wahre Arbeitsgeschwindigkeit,
- die Horizontalkraft und das Drehmoment zwischen Schlepper und Gerät zur Bestimmung der Geräteleistung,
- der stündliche Kraftstoffverbrauch zur Bestimmung der Motorleistung und des Kraftstoffverbrauchs pro Hektar, die Aggregatgrößenverteilung des bearbeiteten Bodens in Form des gewogenen mittleren Durchmessers der Bodenteilchen.

Die Versuche wurden Anfang September 1981 auf einem abgeernteten Haferfeld durchgeführt²⁾, das unmittelbar vor den Versuchen gepflügt worden war, Bild 8. Der gewogene mittlere Durchmesser der Schollen des gepflügten Bodens betrug ca. 100 mm. Es war ein relativ schwerer Boden (schluffig-toniger Lehm) mit 12 % Sand, 52 % Schluff, 36 % Ton. Durch die vorausgegangene lange Trockenperiode war der Boden in einem Zustand, der nach Auskunft des Landwirts leichter als in früheren Jahren zu bearbeiten war. Der Feuchtegehalt zum Zeitpunkt der Versuche betrug ca. 13 %. Das Versuchsfeld hatte eine Neigung in Arbeitsrichtung von ca. 1,5 %.

²⁾ Dem Landwirt A. Kümmerle, Ammerhof, 74 Tübingen, sei auch an dieser Stelle gedankt, daß in seinem Betrieb die Versuche durchgeführt werden konnten. Ebenso sei der Firma FENDT, 8592 Marktobendorf, gedankt, daß sie einen Schlepper zur Verfügung stellte.



Bild 8. Zustand des Versuchsfeldes vor den Versuchen.

Die Versuche wurden mit einem 88 kW-Allrad-Schlepper durchgeführt²⁾. Die Schleppermasse betrug bei den Versuchen 6900 kg. Die Nenndrehzahl des Motors war 2400 min⁻¹.

Bei dem Gerätevergleich (Kreiselegge, Rotoregge mit 45 bzw. 90 Zinken) wurden auch die Einflußfaktoren Werkzeugdrehzahl (je 3 Werte) und Arbeitsgeschwindigkeit (je 2 Werte) untersucht. Jeder Versuch wurde einmal wiederholt, so daß insgesamt 3 · 3 · 2 · 2 = 36 Versuche durchgeführt werden mußten. Die nominelle Arbeitsbreite war 3 m; die Arbeitstiefe wurde mit 8–10 cm konstant gehalten.

Zu den Werkzeugdrehzahlen und Arbeitsgeschwindigkeiten ist noch folgendes zu bemerken: Die Motordrehzahl wurde während der Arbeit der Geräte (auf einer Vorlaufstrecke) so eingestellt, daß der Traktormeterzeiger, je nach der gewählten Zapfwelldrehzahl, auf die Markierung 540 bzw. 1000 min⁻¹ zeigte. Eine nachträgliche Überprüfung der Zapfwelldrehzahl und der zugehörigen Motordrehzahl bei den beiden Einstellungen entsprechend den Traktormetermarkierungen ergab beim Einschalten der 540er Zapfwelle einen Mittelwert der Zapfwelldrehzahlen aus 5 unabhängigen Messungen von 564 min⁻¹ bei n_{Motor} = 2206 min⁻¹; beim Einschalten der 1000er Zapfwelle lagen die entsprechenden Werte bei 1058 min⁻¹ und n_{Motor} = 2376 min⁻¹. Mit den verschiedenen Werten für die Getriebeübersetzung des Gerätes und für den mittleren Durchmesser der Kreisbahnen der Kreiseleggenzinken (250 mm) bzw. für den Durchmesser der Kreisbahnen der Zinkenspitzen des Zinkenrotors (480 mm) ergeben sich die Werkzeugdrehzahlen bzw. Umfangsgeschwindigkeiten in Tafel 1.

Wie schon erwähnt, wurden zwei Arbeitsgeschwindigkeiten untersucht, wobei die Gänge 1 S und 2 S des Schleppers verwendet wurden. Bei jedem Versuch wurde die wahre Arbeitsgeschwindigkeit ermittelt, indem die Länge der Versuchsstrecke durch die Versuchszeit geteilt wurde. Mit diesen Einzelwerten wurden dann auch die vom Gerät beanspruchte Zugleistung und der flächenbezogene Kraftstoffverbrauch des jeweiligen Versuchs ermittelt. Die Mittelwerte der Arbeitsgeschwindigkeiten der beiden Gänge waren 3,0 und 4,7 km/h.

Sämtliche Versuche wurden an einem Tag durchgeführt, um eine Beeinflussung durch die Witterung zu vermeiden. Die Richtung der Versuchsfahrten lag in etwa in der Fallinie des leicht geneigten Feldes (1,5 % Neigung), wobei jeder Versuch zweimal gefahren wurde (bergauf und bergab). Die Versuchsstrecke war jeweils 70 m lang. Zur Einstellung der Zapfwelldrehzahl war eine Vorlaufstrecke von ca. 15 m vorgesehen.

In das Versuchsprogramm einbezogen wurde auch eine Rotoregge-Drillmaschinen-Kombination, um den durch die Drillmaschine zusätzlich verursachten Leistungsbedarf zu ermitteln, und eine 4,4 m breite gezogene Saatbettkombination mit 7reihigen Langegegnfeldern und 2 Walzenkrümlern, um einen groben Vergleich zwischen den angetriebenen und gezogenen Saatbettkombinationen anstellen zu können.

	Zapfwelldrehzahl min ⁻¹	Getriebeübersetzung	Werkzeugdrehzahl min ⁻¹	mittlere Umfangsgeschw. m/s
Kreiselegge	1058	2,15 · 19/16	414	5,42
	1058	2,15 · 21/14	328	4,29
	564	2,15 · 19/16	221	2,89
Rotor-egge	1058	2,07 · 21/16	389	9,77
	1058	2,07 · 23/14	311	7,81
	564	2,07 · 23/14	166	4,17

Tafel 1. Bei den verschiedenen Geräten untersuchte Drehzahlen und Umfangsgeschwindigkeiten der Werkzeuge.

5. Meßeinrichtungen und Auswertung

Zur Messung der Horizontalkräfte wurde ein Mehrkomponentenmeßgerät [1] verwendet, das zwischen Schlepper und Gerät im Kupplungsdreieck des Dreipunktgestänges befestigt wurde. Die Drehmomente wurden gemessen mit einer Drehmomenten-Meßwelle [2], die auf die Zapfwelle zu schieben ist. Mit diesen beiden Meßgeräten und den entsprechenden elektronischen Geräten zur Meßwertverarbeitung wurden die Mittelwerte der Horizontalkräfte und der Drehmomente auf der Versuchsstrecke ermittelt.

Damit kann man die vom Gerät aufgenommenen Leistungen er rechnen:

$$\text{Zugleistung } P_Z = \frac{X \cdot v}{3600} \quad [\text{kW}],$$

$$\text{Drehleistung } P_D = \frac{M_d \cdot \pi \cdot n_Z}{30000} \quad [\text{kW}].$$

Hierin bedeuten:

- X mittlere Horizontalkraft in N
- v mittlere Arbeitsgeschwindigkeit in km/h
- M_d mittleres Drehmoment an der Zapfwelle in Nm
- n_Z Zapfwelldrehzahl in min⁻¹.

Der stündliche Kraftstoffverbrauch in l/h wurde mit einem Durchflußmeßgerät [3] bestimmt, das den Kraftstoffverbrauch in cm³ für die Versuchszeit anzeigt. Der Quotient aus verbrauchter Kraftstoffmenge und Versuchszeit ergab den mittleren stündlichen Kraftstoffverbrauch.

Damit kann man den flächenbezogenen Kraftstoffverbrauch ermitteln:

$$Q_F = \frac{10}{b \cdot v} Q_h \cdot$$

Hierin bedeuten:

- Q_F flächenbezogener Kraftstoffverbrauch in l/ha
- Q_h stündlicher Kraftstoffverbrauch in l/h
- b Arbeitsbreite des Gerätes in m.

Mit Hilfe des stündlichen Kraftstoffverbrauchs kann man auch die mittlere abgegebene Motorgesamtleistung ermitteln, wenn die Dichte des verwendeten Kraftstoffes und das Motorkennfeld des Schleppers bekannt sind.

Die Kraftstoffdichte ist von der Betriebstemperatur abhängig, die mit 35 °C angenommen wurde. Aus der entsprechenden Dichte-Temperatur-Kurve des Kraftstoffes erhält man dann

$$\rho_B = 0,8285 \text{ kg/l},$$

so daß der stündliche Kraftstoffverbrauch in kg/h sich wie folgt ergibt:

$$Q'_h = \rho_B Q_h \cdot$$

Das Motorkennfeld des verwendeten Schleppers kann dem entsprechenden DLG-Prüfbericht [4] entnommen werden. Für die Motordrehzahlen, die den beiden gewünschten Zapfwellenrehzahlen zugeordnet sind (s. Abschn. 4), ergeben sich die Kurven in Bild 9. Diesem Diagramm kann man für einen bestimmten stündlichen Kraftstoffverbrauch die zugehörige Motorgesamtleistung P_G entnehmen.

Bei der Verwendung der Kurven in Bild 9 ist zu berücksichtigen, daß diese Kurven für den nicht in den Schlepper eingebauten Motor gelten. Hat man die Kraftstoffverbrauchsmessungen auf dem Feld durchgeführt, so steht an der Motor-Kupplungswelle etwas weniger an Leistung zur Verfügung als das Diagramm für den stündlichen Kraftstoffverbrauch ergeben würde. Der Grund liegt darin, daß bei der Motoruntersuchung auf dem Prüfstand, die diesem Diagramm zugrundeliegt, die Hydraulikanlage außer Betrieb war. Bei dem verwendeten Schlepper bezieht sich diese Aussage nur auf die Lenkungshydraulik, da die Haupthydraulik über einen Getriebeabzweig betrieben wird. Deswegen wird dieser Unterschied bei den folgenden Auswertungen vernachlässigt. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß der Motor des Versuchsschleppers von dem in [4] untersuchten bezüglich der Leistung und des Kraftstoffverbrauchs infolge von Herstellungstoleranzen und vor allem Verschleiß abweichen kann.

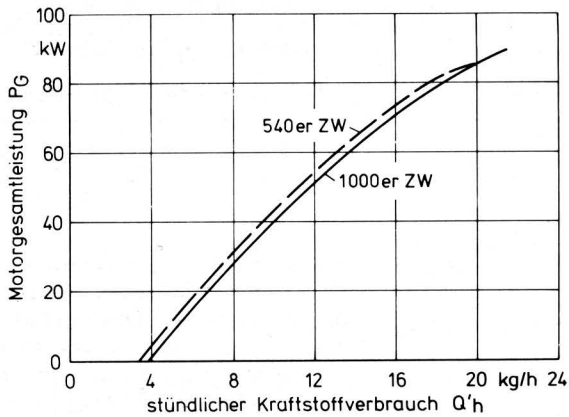


Bild 9. Kennlinien für die Motorgesamtleistung in Abhängigkeit vom Kraftstoffverbrauch für den bei den Versuchen verwendeten Schlepper.

Für die Auswertung der Meßergebnisse ist auch die Kenntnis des Motorleistungsbedarfs P_E notwendig, der für die Eigenbewegung des Schleppers benötigt wird. Diese Werte wurden auch über die Verbrauchsmessung unter Zuhilfenahme des Bildes 9 ermittelt. Dazu wurde bei Schlepperleerfahrt (ohne angebautes Gerät) der Kraftstoffverbrauch bestimmt. Die Motordrehzahl wurde so eingestellt, daß die Traktormeteranzeige auf die Markierung bei der 1000er Zapfwelle zeigte, womit festgelegt wurde, welche Kurve in Bild 9 zur Auswertung heranzuziehen ist. Die Versuche wurden auf dem Versuchsfeld gefahren, und zwar sowohl bergauf (1,5 % Steigung) als auch bergab (1,5 % Gefälle). Das Ergebnis ist in Bild 10 zu sehen. Für die Fahrt in der Ebene kann man dann eine mittlere Kurve unterstellen, die bei der Auswertung der Ergebnisse für die Untersuchung der Geräte herangezogen wurde. Man erkennt, daß der Leistungsbedarf für die Fortbewegung des Schleppers nicht unerheblich ist. Bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 3 km/h ist er über 10 kW, bei 8 km/h ist er fast 30 kW. Diese Werte kann man auch beim Einsatz des Schleppers mit den untersuchten Geräten unterstellen, da vom Gerät keine zusätzliche Vertikalkraft auf den Schlepper übertragen wird (Schwimmstellung) und der Schlupf wegen der geringen Zugkräfte in erster Annäherung demjenigen entspricht, der auch bei Leerfahrt vorhanden ist.

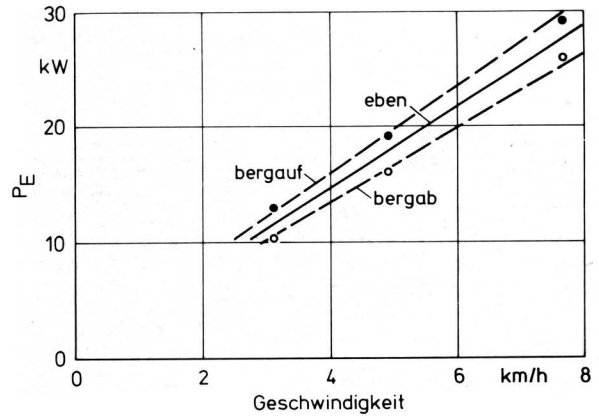


Bild 10. Motorleistungsbedarf für die Eigenbewegung des Schleppers (ohne Gerät) in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit; in der Ebene bzw. bei einer Neigung von 1,5 %.

Die relativ hohe Motorleistung für die Fortbewegung des Schleppers mag überraschen. Daß die aus dem Kraftstoffverbrauch ermittelten Werte richtig sind, läßt sich dadurch rechnerisch beweisen, daß man in eine bekannte Gleichung für den Motorleistungsbedarf gezogener Geräte Erfahrungswerte für Schlupf, Rollwiderstandsbeiwert und Getriebewirkungsgrad einsetzt und die Gerätezugkraft gegen Null gehen läßt. Mit einem Schlupf von 3 %, einem Rollwiderstandsbeiwert von 0,15 und einem Getriebewirkungsgrad von 0,7 (wegen geringer Auslastung) erhält man für die Geschwindigkeit 5 km/h eine Motorleistung von 20 kW, was mit dem aus Bild 10 zu entnehmenden Wert gut übereinstimmt. Ebenso erhält man rechnerisch eine Differenz zwischen Bergauf- und Bergabfahrt in derselben Größenordnung wie aus Bild 10 zu ersehen, wenn zusätzlich die Hangabtriebskraft berücksichtigt wird.

Die Aggregatgrößenverteilung bzw. der gewogene mittlere Durchmesser der Bodenpartikel im bearbeiteten Boden wurde mittels eines Schollensiebgerätes [5] bestimmt. Dazu wurden von jeder Versuchsvariante zwei unabhängige Bodenproben von ca. 30 bis 35 kg genommen und noch auf dem Feld gesiebt, Bild 11 und 12. Die Siebung erfolgte mit Lochsieben mit 120, 80, 40, 20 und 10 mm ϕ . Aus den sich ergebenden Massenanteilen der Bodenfraktionen wurde dann der gewogene mittlere Durchmesser berechnet [6].

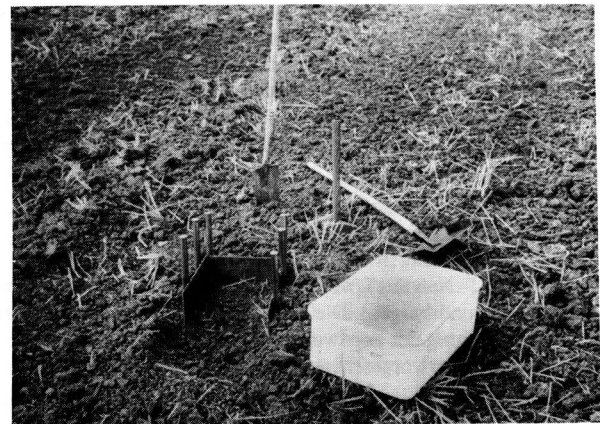


Bild 11. Werkzeuge für die Entnahme der Bodenprobe zur Ermittlung des Arbeitseffektes.



Bild 12. Fahrbare Einrichtung (Schollensiebgerät, Waage) zur Auswertung der Bodenproben.

6. Versuchsergebnisse

6.1 Arbeitseffekt

Der gewogene mittlere Durchmesser der Bodenteilchen nach der Bearbeitung ist sicher die wichtigste Kenngröße für den Arbeitseffekt, zu dessen umfassender Beschreibung aber noch Angaben darüber erforderlich wären, wie die Werkzeuge den Boden ablegen, ob beispielsweise eine Sortierung der Bodenteilchen erfolgt.

Die Mittelwerte des gewogenen mittleren Durchmessers für die verschiedenen untersuchten Varianten sind in Tafel 2 zusammengestellt, in Bild 13 in Abhängigkeit von der Werkzeugdrehzahl aufgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, daß mit zunehmender Drehzahl die Zerkleinerungswirkung besser wird, d.h. der gewogene mittlere Durchmesser abnimmt. Bei sehr kleiner Drehzahl nähert sich der gewogene mittlere Durchmesser für den bearbeiteten Boden demjenigen des unbearbeiteten (100 mm). Um einen gewogenen mittleren Durchmesser von ca. 30 mm zu erreichen, muß bei der Rotoregge (Zinkenrotor) eine Drehzahl von ca. 350 bis 400 min^{-1} eingestellt werden; bei der Kreiselegge 400 bis 450 min^{-1} . Eine Erhöhung der Drehzahl über den untersuchten Bereich hinaus bringt keine wesentliche Verbesserung des Zerkleinerungseffektes. Die Variation der Fahrgeschwindigkeit von 3 auf 4,7 km/h hatte keinen gesicherten Einfluß auf die Zerkleinerungswirkung. Überraschenderweise ist auch zwischen den beiden Zinkenrotorvarianten (ZR 45 und ZR 90) kein gesicherter Unterschied festzustellen, obwohl bei der Ausführung mit 90 Zinken die Schlagfrequenz doppelt so hoch ist wie bei 45 Zinken.

	Werkzeugdrehzahl min^{-1}	Arbeitsgeschwindigkeit	
		3,0 km/h	4,7 km/h
Kreisel- egge	221	51	83
	328	48	50
	414	29	30
Rotor- egge ZR 45	166	76	53
	311	28	24
	389	28	30
Rotor- egge ZR 90	166	67	64
	311	34	37
	389	22	16

Tafel 2. Gewogener mittlerer Durchmesser der Bodenaggregate (in mm) in Abhängigkeit von Werkzeugdrehzahl und Arbeitsgeschwindigkeit.

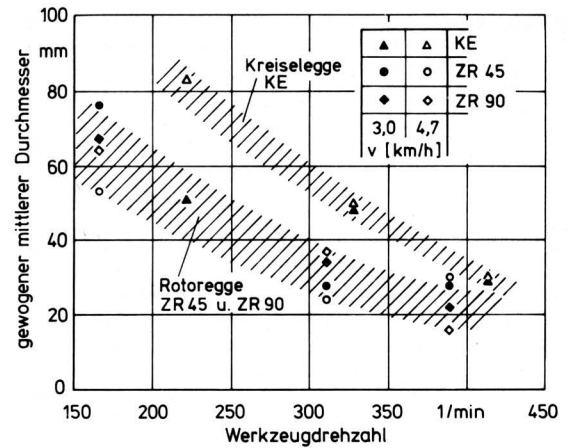


Bild 13. Zerkleinerungseffekt, dargestellt als gewogener mittlerer Durchmesser der Bodenpartikeln, in Abhängigkeit von der Werkzeugdrehzahl für die unterschiedlichen Geräte.

6.2 Motorleistungsbedarf

Wie in Abschn. 5 erläutert, wird der Bedarf an Motorleistung für die zu vergleichenden Geräte über die Kraftstoffverbrauchsmessung ermittelt. Bild 14 und 15 zeigen die entsprechenden Ergebnisse für die drei untersuchten Geräte in Abhängigkeit von der Werkzeugdrehzahl für die beiden Arbeitsgeschwindigkeiten von 3,0 und 4,7 km/h. Beide Geräte haben eine nominelle Arbeitsbreite von 3 m (s. Abschn. 3). Die in den Bildern dargestellten Kurven sind sich weitgehend ähnlich, allerdings mit dem Unterschied, daß die höhere Geschwindigkeit eine um etwa 30–40 % höhere Leistung erfordert.

Man erkennt, daß im untersuchten Drehzahlbereich der Motorleistungsbedarf mit sinkender Werkzeugdrehzahl abnimmt. Diese Abnahme der Motorleistung mit fallender Drehzahl kann jedoch nicht bis auf Null erfolgen, da für die Eigenbewegung des Schleppers (s. Bild 10) und für das Ziehen des Gerätes immer ein gewisser Leistungsbedarf notwendig ist. Es ist sogar anzunehmen, daß die Motorleistung bei kleinen Werkzeugdrehzahlen ($< 150 \text{ min}^{-1}$) mit abnehmender Drehzahl wieder ansteigen wird, da dann die Zugkraft und damit die Zugleistung wieder zunehmen

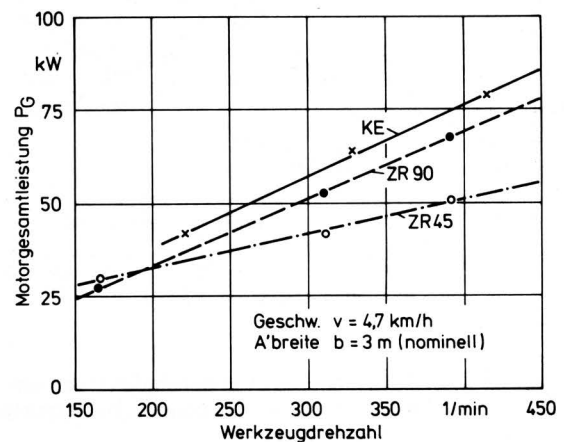


Bild 14. Motorgesamtleistungsbedarf in Abhängigkeit von der Werkzeugdrehzahl für die untersuchten Geräte; Arbeitsgeschwindigkeit $v = 4,7 \text{ km/h}$.

KE Kreiselegge
ZR 45 Rotoregge mit 45 Zinken
ZR 90 Rotoregge mit 90 Zinken

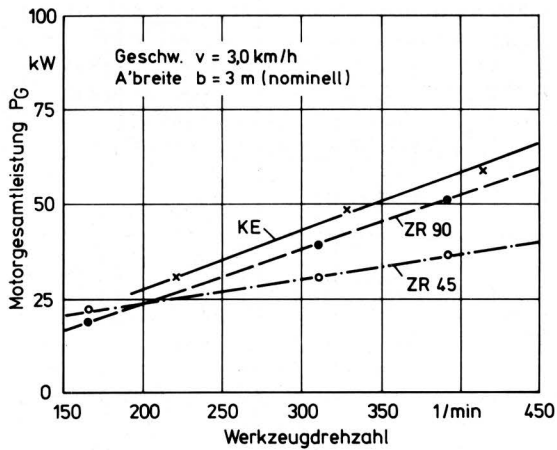


Bild 15. Motorgesamtleistungsbedarf in Abhängigkeit von der Werkzeugdrehzahl für die untersuchten Geräte; Arbeitsgeschwindigkeit $v = 3,0$ km/h.

müßte, vorausgesetzt, daß die Arbeitstiefe konstant gehalten werden kann. Diese theoretisch interessanten Zusammenhänge sind aber noch näher zu untersuchen. Man erkennt ferner, daß bei Werkzeugdrehzahlen, die größer als ca. 200 min^{-1} sind, der Leistungsbedarf der Kreiselegge am größten und der der Rotoregge ZR 45 am kleinsten ist.

Wenn man auch gewisse Zusammenhänge den Bildern 14 und 15 entnehmen kann, für einen Vergleich der untersuchten Geräte sind diese Diagramme nicht ausreichend. Trägt man nämlich die Motorleistung nicht über der zufällig gewählten Werkzeugdrehzahl, sondern über der Umfangsgeschwindigkeit der Werkzeuge auf (bei der Kreiselegge nimmt man die Umfangsgeschwindigkeit für den mittleren Durchmesser der Kreisel und bei der Rotoregge die Umfangsgeschwindigkeit der Zinkenspitzen), **Bild 16**, so ergibt ein Vergleich mit Bild 14, daß sich der Unterschied zwischen der Kreiselegge und den Rotoreggen ganz wesentlich zuungunsten der Kreiselegge verschoben hat.

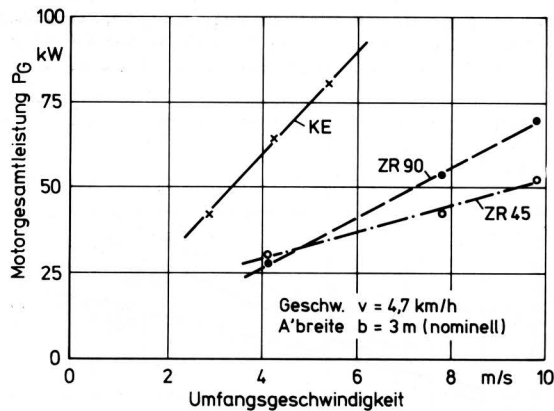


Bild 16. Motorgesamtleistungsbedarf in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit für die untersuchten Geräte; Arbeitsgeschwindigkeit $v = 4,7$ km/h.

Um einen objektiven Vergleich der Geräte durchführen zu können, ist als Vergleichsbasis der Arbeitseffekt, hier charakterisiert durch den gewogenen mittleren Durchmesser, heranzuziehen. Trägt man nun die Leistungswerte über dem entsprechenden Wert für den gewogenen mittleren Durchmesser auf, so erhält man für die Arbeitsgeschwindigkeit von $4,7$ km/h die Geraden in **Bild 17**.

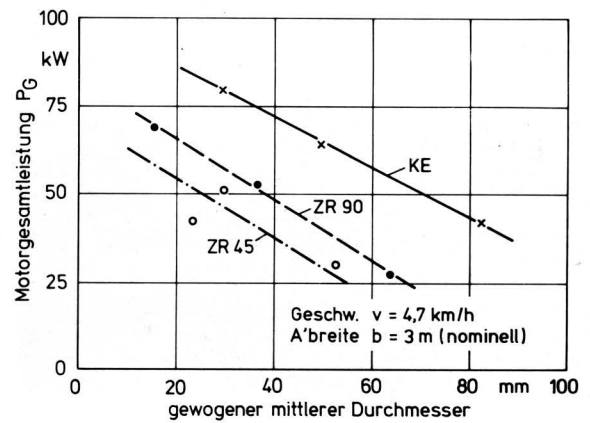


Bild 17. Motorgesamtleistungsbedarf in Abhängigkeit vom Arbeitseffekt (gewogener mittlerer Durchmesser) für die untersuchten Geräte; Arbeitsgeschwindigkeit $v = 4,7$ km/h.

(Es ist klar, daß die Kurven bei gewogenen mittleren Durchmessern, die größer als diejenigen des untersuchten Bereichs sind, nicht mehr den dargestellten geradlinigen Verlauf haben können, da die Motorleistung nicht Null werden kann.) Man erkennt, daß die Kreiselegge zur Erzeugung eines bestimmten gewogenen mittleren Durchmessers einen signifikant höheren Leistungsbedarf benötigt als die beiden Ausführungen der Rotoregge. Von den beiden Rotoreggen schneidet diejenige mit 45 Zinken günstiger ab als diejenige mit 90 Zinken.

Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, daß sich diese Ergebnisse auf einen schweren, relativ trockenen Boden mit harten Kluten beziehen. Bei einem leichteren und feuchteren Boden sind die Unterschiede kleiner oder verschwinden ganz.

Bei den Ergebnissen in Bild 17 könnte man einwenden, daß die Arbeitsbreiten der verschiedenen Geräte nicht ganz vergleichbar sind. Wenn auch die nominellen Arbeitsbreiten (3 m) gleich sind, so sind die effektiven, d.h. von den eigentlichen Werkzeugen bearbeiteten Arbeitsbreiten doch unterschiedlich (Rotoregge $2,75$ m; Kreiselegge 3 m; s. Abschn. 3). Deswegen schneidet bei dem Vergleich in Bild 17 die Kreiselegge etwas ungünstiger ab, als es in Wirklichkeit der Fall ist. Um auch diesen Kritikpunkt zu eliminieren, werden die Leistungswerte auf die effektive Arbeitsbreite bezogen. Das Ergebnis ist für die Arbeitsgeschwindigkeit $4,7$ km/h in **Bild 18** dargestellt. Wie man erkennt, bleibt das in Bild 17 dargestellte Ergebnis in der Tendenz erhalten: Die Kreiselegge schneidet am schlechtesten ab. Die Relationen haben sich jedoch etwas verschoben. Geht man von einem gewogenen mittleren Durchmesser von 30 mm aus und setzt man den Leistungsbedarf für die Rotoregge ZR 45 gleich 100% , so ist der Leistungsbedarf für ZR 90 etwa 27% und der für die Kreiselegge etwa 59% höher. Ein in der Tendenz gleiches Ergebnis kommt auch bei der Arbeitsgeschwindigkeit von $3,0$ km/h heraus, wie **Bild 19** zeigt.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Rotoregge die Bodenaggregate effektiver zerkleinert als die Kreiselegge. Der werkzeugspezifische Wirkungsgrad ist besser. Das liegt daran, daß die Werkzeuge der Rotoregge die Kluten nicht nur durch eine schlagende Bewegung – wie bei der Kreiselegge –, sondern auch durch eine stechende und drückende Bewegung zerkleinern. Zum Teil können hierbei die Bodenteilchen nicht ausweichen, sondern sie werden gegen den Untergrund gedrückt und dabei zerkleinert.

In **Tafel 3** wurden die Ergebnisse für den bezogenen Leistungsbedarf, ausgehend von einem gewogenen mittleren Durchmesser von 30 mm, zusammengefaßt. Um diesen Arbeitseffekt erreichen zu können, muß man bei der Kreiselegge eine Drehzahl von ca. 400 min^{-1} und bei den beiden Zinkenrotoren eine Drehzahl von ca. 350 min^{-1} einstellen.

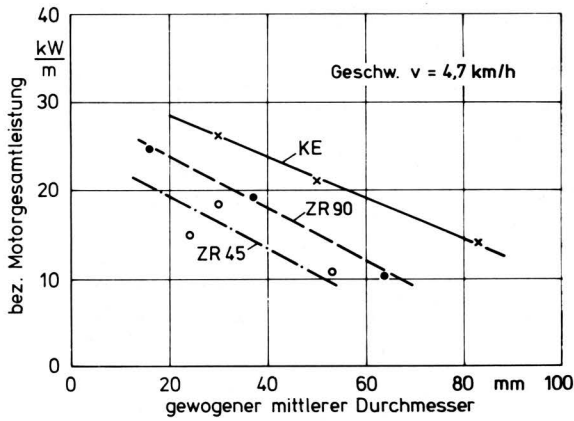


Bild 18. Auf die effektive Arbeitsbreite bezogene Motorgesamtleistung in Abhängigkeit vom Arbeitseffekt (gewogener mittlerer Durchmesser) für die untersuchten Geräte; Arbeitsgeschwindigkeit $v = 4,7$ km/h.

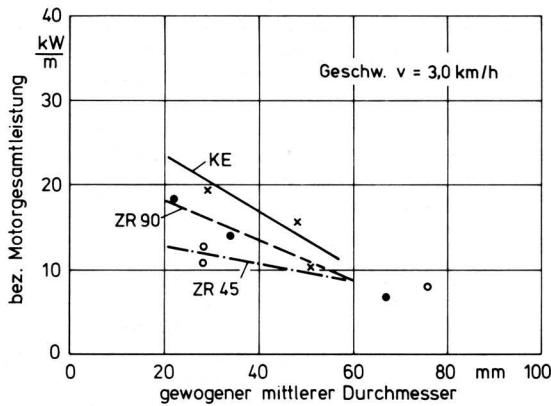


Bild 19. Auf die effektive Arbeitsbreite bezogene Motorgesamtleistung in Abhängigkeit vom Arbeitseffekt (gewogener mittlerer Durchmesser) für die untersuchten Geräte; Arbeitsgeschwindigkeit $v = 3,0$ km/h.

Arbeitsgeschw.	Kreiselegge	Rotoregge ZR 90	Rotoregge ZR 45
3,0 km/h	20,3	16,1	11,7
4,7 km/h	26,0	20,8	16,4

Tafel 3. Auf die Arbeitsbreite bezogene Motorgesamtleistung der untersuchten Geräte (kW/m) für einen gewogenen mittleren Durchmesser der Bodenaggregate von 30 mm.

Der dem Vergleich zugrundeliegende mittlere Durchmesser von 30 mm ist natürlich für ein optimales Saatbett noch nicht ausreichend. Man müßte unter Umständen bei diesem sehr schweren Boden noch einen zweiten Arbeitsgang durchführen. Da diese Maßnahme im Hinblick auf den Gerätevergleich keine neuen Aspekte bringt, wird hierauf nicht weiter eingegangen.

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde auch der Vollständigkeit halber der zusätzliche Motorleistungsbedarf ermittelt, der erforderlich ist, wenn man die untersuchten Geräte mit einer Drillmaschine (3 m Arbeitsbreite mit 25 Drillreihen) kombiniert. Er betrug bei $v = 3$ km/h etwa 2,5 kW und bei $v = 4,7$ km/h etwa 4 kW. Bezieht man die Werte wiederum auf 1 m Arbeitsbreite, so ergeben sich die geringen Beträge von 0,8 kW/m bei $v = 3$ km/h und 1,3 kW/m bei $v = 4,7$ km/h.

Zum Vergleich wurde auf dem Versuchsfeld – wie schon in Abschnitt 4 erwähnt – auch eine 4,4 m breite, gezogene Saatbettkombination getestet. Es wurden drei Überfahrten durchgeführt bei einer mittleren Arbeitsgeschwindigkeit von 9,3 km/h. Der gewogene mittlere Durchmesser der Bodenaggregate war nach der 3. Überfahrt ca. 44 mm, also schlechter als beim Einsatz der angetriebenen Geräte, wenn eine zweckmäßige Werkzeugdrehzahl eingestellt wurde. Der Motorgesamtleistungsbedarf verringerte sich mit der Anzahl der Überfahrten von 81,6 kW (1. Fahrt) auf 66,4 kW (3. Fahrt). Im Mittel der drei Fahrten war der Leistungsbedarf etwa 73 kW oder 16,6 kW/m.

Vergleicht man nun die untersuchte gezogene Saatbettkombination mit einem der rotierenden Geräte, so sollte man zweckmäßigerweise die mögliche Flächenleistung als Vergleichskriterium heranziehen. Es wird die Rotoregge ZR 45 bei $v = 4,7$ km/h als Vergleichsgerät genommen, weil sie nahezu den gleichen breitenbezogenen Leistungsbedarf hat wie die gezogene Saatbettkombination (Tafel 3). Unterstellt man einen 50 kW-Schlepper, so kann man in beiden Fällen mit einer Arbeitsbreite von 3 m arbeiten. Die Flächenleistung der Rotoregge ZR 45 wäre dann 1,4 ha/h ($3 \cdot 4,7/10$) und die der gezogenen Saatbettkombination 0,93 ha/h ($3 \cdot 9,3/(3 \cdot 10)$). Die Schlagkraft der gezogenen Saatbettkombination ist bei 3 Arbeitsgängen also um mehr als 30 % geringer als die der Rotoregge ZR 45, wobei der Arbeitseffekt noch schlechter ist (gewogener mittlerer Durchmesser 44 mm gegenüber 30 mm). Dieses Ergebnis unterstreicht nochmals, daß auf schweren Böden die rotierenden Geräte hinsichtlich der Arbeitsproduktivität den gezogenen gegenüber im Vorteil sind. Das gleiche gilt sinngemäß auch für die Nutzung der Kraftstoffenergie.

6.3 Kraftstoffbedarf

Die Versuchsergebnisse für den flächenbezogenen Kraftstoffbedarf (l/ha) in Abhängigkeit vom gewogenen mittleren Durchmesser für die beiden untersuchten Arbeitsgeschwindigkeiten sind in Bild 20 und 21 dargestellt. Die Kurvenverläufe und Tendenzen im Hinblick auf den Gerätevergleich entsprechen denen für die Motorleistung. Im Gegensatz zum Motorleistungsbedarf ist jedoch der flächenbezogene Kraftstoffbedarf bei langsamer Geschwindigkeit höher als bei der größeren Geschwindigkeit.

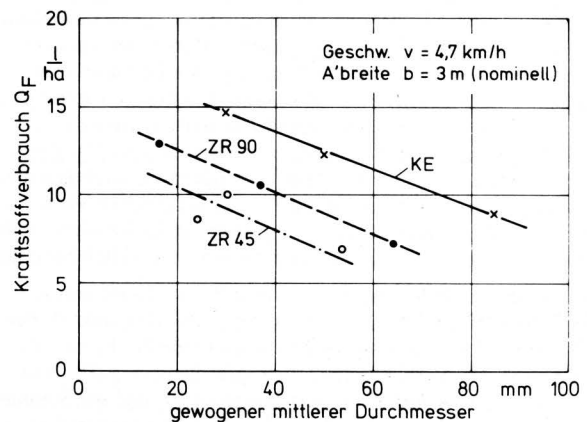


Bild 20. Kraftstoffverbrauch pro Hektar in Abhängigkeit vom Arbeitseffekt (gewogener mittlerer Durchmesser) für die untersuchten Geräte; Arbeitsgeschwindigkeit $v = 4,7$ km/h.

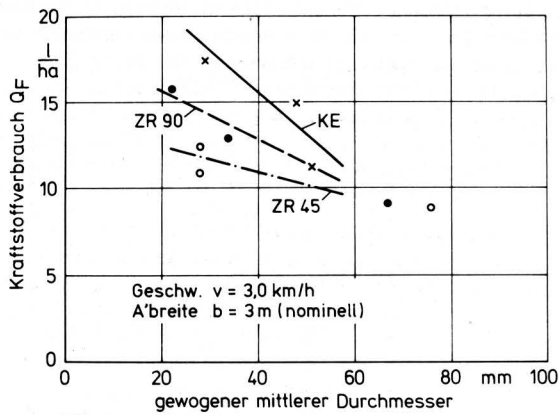


Bild 21. Kraftstoffverbrauch pro Hektar in Abhängigkeit vom Arbeitseffekt (gewogener mittlerer Durchmesser) für die untersuchten Geräte; Arbeitsgeschwindigkeit $v = 3,0$ km/h.

6.4 Geräteleistungsbedarf, Leistungsbilanz und Leistungsaufteilung

Wie in Abschn. 4 und 5 erläutert, ist bei den Versuchen nicht nur der Motorgesamtleistungsbedarf über den Kraftstoffverbrauch ermittelt worden, sondern es wurde auch mit entsprechenden Meßeinrichtungen zwischen Schlepper und Gerät die Geräteleistung als Zug- und Drehleistung bestimmt. Mit diesen Versuchsergebnissen können zum einen die ermittelten Motorgesamtleistungswerte (Abschn. 6.2) kontrolliert werden, wenn die entsprechenden Schlepperverlustleistungswerte bekannt sind, zum anderen bekommt man auf diese Weise Angaben darüber, wie die für die untersuchten Geräte benötigte Leistung sich in Zug- und Drehleistung aufteilt. Letztere Aussage bezieht sich sowohl auf die Aufteilung der reinen Geräteleistung in Drehleistung und Zugleistung als auch auf die Aufteilung der Motorgesamtleistung in den Leistungsanteil, der zur Zapfwelle geleitet wird, und den Leistungsanteil, der zu den Rädern geleitet wird.

Bild 22 und 23, die für die Kreiselegge bzw. die Rotoregge ZR 45 für eine Arbeitsgeschwindigkeit von $4,7$ km/h gelten, sollen beispielhaft zeigen, daß die Meßergebnisse für die Geräteleistungen (Drehleistung P_D und Zugleistung P_Z) unter Berücksichtigung der Schlepperverlustleistungen recht gut mit den Meßergebnissen für die Motorgesamtleistung harmonisieren. Und das gilt nicht nur für die dargestellten Ergebnisse, sondern auch für alle anderen.

Im Rahmen der in den Bildern 22 und 23 dargestellten Leistungsbilanz sind neben der Zugleistung P_Z und Drehleistung P_D für das Gerät noch die Rollwiderstandsleistung, die Schlupfverlustrleistung, die Getriebeverlustrleistung P_{VR} zwischen Motor und Antriebsrädern und die Getriebeverlustrleistung P_{VZ} zwischen Motor und Zapfwelle zu berücksichtigen. Man kann in erster Annäherung davon ausgehen, daß die experimentell ermittelte Leistung P_E für die Eigenbewegung des Schleppers ohne Geräte (Bild 10) gleich der Summe aus Rollwiderstandsverlustrleistung, Schlupfverlustrleistung und Getriebeverlustrleistung P_{VR} im praktischen Versuchseinsatz mit dem Gerät ist, da das angetriebene, in Schwimmstellung arbeitende Gerät diese Leistungsanteile nur unerheblich beeinflusst.

Die Kurven für die Motorgesamtleistung P_G in den Bildern 22 und 23 wurden aus Bild 14 entnommen (ohne Meßpunkte). Ferner sind die Meßpunkte für die Leistungsanteile P_E , P_Z und P_D eingetragen. Die Verlustleistung im Zapfwellenstrang (P_{VZ}) ist die Differenz zwischen Motorgesamtleistung P_G und der Summe der übrigen Leistungsanteile ($P_E + P_Z + P_D$). Der entsprechende Zapfwellengetriebewirkungsgrad wurde aus den Versuchsergebnissen sämtlicher Versuchsvarianten bestimmt und gemittelt. Der Mittelwert lag bei $0,96$. Dann ist die Getriebeverlustrleistung zwischen Motor und Zapfwelle $P_{VZ} = (P_G - P_E - P_Z) \cdot (1 - 0,96)$.

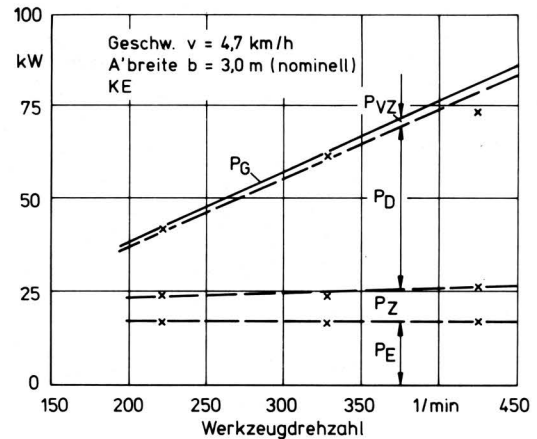


Bild 22. Geräteleistungsbedarf und Leistungsbilanz in Abhängigkeit von der Werkzeughrehzahl für die Kreiselegge; Arbeitsgeschwindigkeit $v = 4,7$ km/h.

- P_D Drehleistungsbedarf des Gerätes
- P_E Leistungsbedarf für die Fortbewegung des Schleppers
- P_G Mechanische Gesamtleistung des Schleppers
- P_{VZ} Verlustleistung im Zapfwellengetriebe
- P_Z Zugleistungsbedarf des Gerätes

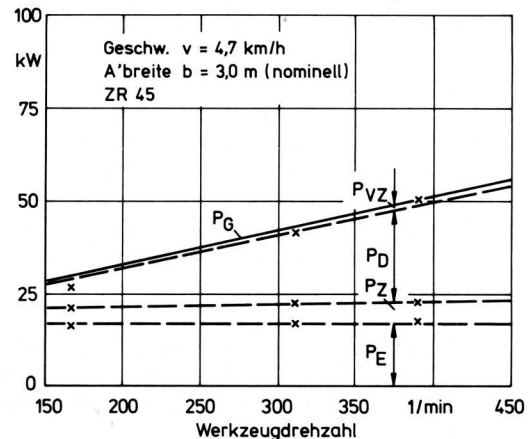


Bild 23. Geräteleistungsbedarf und Leistungsbilanz in Abhängigkeit von der Werkzeughrehzahl für die Rotoregge ZR 45; Arbeitsgeschwindigkeit $v = 4,7$ km/h.

- P_D Drehleistungsbedarf des Gerätes
- P_E Leistungsbedarf für die Fortbewegung des Schleppers
- P_G Mechanische Gesamtleistung des Schleppers
- P_{VZ} Verlustleistung im Zapfwellengetriebe
- P_Z Zugleistungsbedarf des Gerätes

Von den genannten beiden Möglichkeiten zur Charakterisierung der Anteile von Drehleistung und Zugleistung – für das Gerät allein P_D/P_Z oder für Schlepper und Gerät $(P_D + P_{VZ})/(P_Z + P_E) = P_{ZW}/P_R$ – zeigt **Bild 24** die Leistungsaufteilung P_D/P_Z für die Kreiselegge KE und die Rotoregge ZR 45 in Abhängigkeit von der Werkzeughrehzahl und der Arbeitsgeschwindigkeit (3 bzw. $4,7$ km/h). Man erkennt, daß nicht nur die unterschiedlichen Geräte eine unterschiedliche Leistungsaufteilung haben, sondern daß die Leistungsaufteilung auch in sehr starkem Maße von der Werkzeughrehzahl und der Arbeitsgeschwindigkeit abhängig ist. Je kleiner die Werkzeughrehzahl und je größer die Arbeitsgeschwindigkeit, desto kleiner ist das Verhältnis der Leistungsaufteilung, d.h. desto größer wird der Zugleistungsanteil.

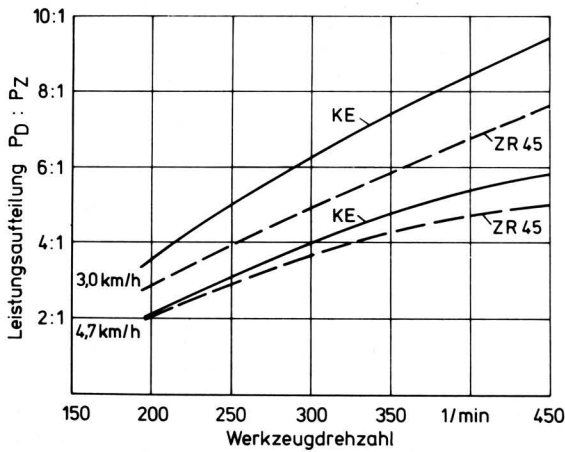


Bild 24. Aufteilung des Geräteleistungsbedarfs in Drehleistung P_D und Zugleistung P_Z für die Kreislege und die Rotorregge ZR 45 in Abhängigkeit von Werkzeugdrehzahl und Arbeitsgeschwindigkeit.

Um nun die Frage, wie hoch die Leistungsaufteilung der unterschiedlichen Geräte in der Praxis ist, beantworten zu können, wird von den Drehzahlen ausgegangen, die einen mittleren gewogenen Durchmesser der Bodenaggregate von 30 mm ermöglichen. Bei der Kreislege ist hierfür eine Werkzeugdrehzahl von etwa 400 min^{-1} und bei den Rotorreggen von etwa 350 min^{-1} notwendig. Die sich unter diesen Bedingungen einstellenden Werte für die Leistungsaufteilung P_D/P_Z und P_{ZW}/P_R enthält Tafel 4.

	Arbeitsgeschw.	$P_D : P_Z$	$P_{ZW} : P_R$
Kreislege KE	3,0 km/h	8,5 : 1	2,7 : 1
	4,7 km/h	5,3 : 1	1,9 : 1
Rotorregge ZR 90	3,0 km/h	9,2 : 1	2,3 : 1
	4,7 km/h	8,6 : 1	1,8 : 1
Rotorregge ZR 45	3,0 km/h	5,8 : 1	1,4 : 1
	4,7 km/h	4,3 : 1	1,1 : 1

Tafel 4. Aufteilung des Geräteleistungsbedarfs in Drehleistung P_D und Zugleistung P_Z bzw. Aufteilung der Motorleistung in die von der Zapfwelle übertragene Leistung P_{ZW} und die von den Rädern umgesetzte Leistung P_R in Abhängigkeit von der Geräteart und der Arbeitsgeschwindigkeit.

7. Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden zwei zapfwellengetriebene Saatbettbereitungsgeräte, die Kreislege und die Rotorregge (Zinkenrotor), auf einem schweren, relativ trockenen Boden verglichen.

Nach der Erläuterung einiger typischer Merkmale dieser Geräte wurde auf die Versuchsdurchführung, die Meßeinrichtungen und die Auswertung näher eingegangen. Diese Ausführungen erfolgten etwas ausführlicher, um unter Umständen Anregungen für ähnliche Untersuchungen, die vielleicht an anderer Stelle beabsichtigt sind, geben zu können.

Die Versuchsergebnisse beziehen sich auf den Arbeitseffekt, den Motorleistungsbedarf, den Kraftstoffbedarf, den Geräteleistungsbedarf und die Leistungsaufteilung.

Der Arbeitseffekt der Geräte ist abhängig von der Werkzeugdrehzahl. Zur Erzeugung des gleichen Arbeitseffektes benötigt die Kreislege eine höhere Werkzeugdrehzahl als die Rotorregge. In dem untersuchten Geschwindigkeitsbereich von 3 bis 5 km/h hat die Geschwindigkeit keinen gesicherten Einfluß auf den Zerkleinerungseffekt.

Geht man vom gleichen Arbeitseffekt aus, so benötigt die Rotorregge auf dem untersuchten schweren Boden weniger Leistung als die Kreislege. Die Rotorregge zerkleinert die Bodenaggregate effektiver, d.h. der werkzeugspezifische Wirkungsgrad ist besser. Die Ergebnisse für den Kraftstoffbedarf entsprechen denen für den Motorleistungsbedarf. Die Leistungsaufteilung ist in sehr starkem Maße von der Werkzeugdrehzahl und der Arbeitsgeschwindigkeit abhängig. Je kleiner die Werkzeugdrehzahl und je größer die Arbeitsgeschwindigkeit, desto kleiner ist das Verhältnis von Drehleistung zu Zugleistung, d.h. desto größer wird der Zugleistungsanteil.

Schrifttum

- [1] Reich, R.: Messung der Kräfte zwischen Schlepper und Gerät. *Grundl. Landtechnik* Bd. 28 (1978) Nr. 4, S. 156/59.
- [2] Drehmomentenwelle der Fa. Hottinger, Darmstadt.
- [3] PLU-Durchflußmeßgerät, Typ 106; Pierburg Luftfahrtgeräte Union GmbH, Neuss/Rhein.
- [4] OECD-Bericht Nr. 559; Frankfurt/M.: DLG-Verlag 1977.
- [5] Söhne, W.: Krümel- und Schollenanalyse als ein Mittel zur Beurteilung der Güte der Bodenbearbeitung. *Landt. Forschung* Bd. 4 (1954) Nr. 3, S. 79/81.
- [6] Stroppel, A.: Vorlesungsunterlagen; Universität Hohenheim.