

Betriebsmessungen an verschiedenen Rodewerkzeugen für Zuckerrüben

Von Eberhard Klapp, Bonn

In der mechanischen Zuckerrübenernte gibt es eine Vielzahl von Verlustmöglichkeiten, die zur Verschlechterung der Kostenbilanz der Rübenernte beitragen. Die unmittelbaren, sichtbaren Verluste durch Steckenbleiben, durch Beschädigung und Bruch von Rüben sowie durch zu starkes Köpfen können bis zu 10% des Ertrages ausmachen. Bereits seit einigen Jahren sind daher eingehende Untersuchungen über die Ursachen der Rübenverluste und die Möglichkeit ihrer Verringerung angestellt worden. Hier sind die Arbeiten von Göhlich [1], Heller [2, 3], Hingst [4], v. Hülst [5] und Söchting [5] zu nennen. Heller hat in seinen Arbeiten über den Einfluß der Scharführung auf die Rodeverluste berichtet. Er verglich starr eingebaute Rodeschare (Polderschare) mit solchen, die schwimmend angeordnet sind, d. h. also Seitenbewegungen gestatten. Er stellte fest, daß die Verluste durch Beschädigung der Rüben und durch Wurzelbrüche beim schwimmend angeordneten Schar erheblich geringer als beim starren Schar sind. Weiterhin suchte er nach Zusammenhängen zwischen der Scharstellung und den Rodeverlusten. An diese Arbeiten knüpfte Evers [6] an. In langen Versuchsreihen untersuchte er den Einfluß des Spreizwinkels, des Anstellwinkels und der Rodetiefe auf die Rodeverluste und konnte klare Zusammenhänge nachweisen.

Neben den Verlusten interessieren auch die zum Ziehen des Schar erforderlichen Zugkräfte. Je geringer der Zugkraftbedarf eines Schar und damit einer Rübenerntemaschine ist, desto zuverlässiger und witterungsunempfindlicher wird das Ernteverfahren, desto größer ist aber auch die Zahl der möglichen Erntetage im Jahr; das gilt besonders für nasse Jahre. In derselben Richtung liegt die Entwicklung zu kleineren Bunkerköpfrodern; auch hier wird eine Verringerung der erforderlichen Zugkräfte angestrebt.

Es ist zu vermuten, daß zwischen Zugkraftbedarf und Rodeverlusten gewisse Zusammenhänge bestehen, da durch ungünstige Scharform und -stellung Boden und Rübe unerwünscht hoch beansprucht werden.

Um die Zusammenhänge zwischen Scharform, Scharstellung, Rodeverlusten und Zugkraftbedarf zu untersuchen, wurden eingehende Feldversuche an ausgeführten Rodewerkzeugen vorgenommen. Um die Abhängigkeit der Zugkraft von der Scharstellung und den verschiedenen Scharformen kennenzulernen, wurden die zwischen Schar und Boden bzw. zwischen Schar und Rübe wirkenden Kräfte nach Größe und Richtung mit einer elektronischen Meßeinrichtung gemessen. Gleichzeitig wurden die Zusammenhänge zwischen den am Schar wirkenden Kräften und den Rodeverlusten untersucht. Das Ziel der Untersuchungen bestand schließlich darin, die bisherige Deutung des Rodevorganges zu überprüfen und, wenn möglich, zu vervollständigen.

Bei der Besprechung der Versuchsergebnisse wird auf die von Evers [6] durchgeführten Verlustmessungen Bezug genommen.

Versuchseinrichtung

Die beim Roden am Schar auftretenden Längs- und Seitenkräfte wurden von einem Zweikomponentenrahmen aufgenommen und gemessen. Die Vertikalkomponente (Wurzelhaltekraft) wurde nicht gemessen.

Die Längskraft (Zugkraft) liegt in Fahrtrichtung, die Seitenkraft senkrecht dazu. Beide Kraftkomponenten liegen in einer

horizontalen, zur Bodenoberfläche parallelen Ebene. Seitenkräfte treten immer dann auf, wenn sich das zweiteilige Schar nur einseitig an der Rübe abstützt; das ist dann der Fall, wenn Steuerfehler vorliegen oder einzelne Rüben außerhalb der Reihe stehen.

Der in Leichtbauweise ausgeführte, verwindungssteife Rahmen mußte eine möglichst geringe Masse haben, damit die Eigenfrequenz des Rahmens eindeutig oberhalb der Frequenz der Rodeimpulse (Rübenimpulse) liegt. Unterstellt man eine Fahrgeschwindigkeit von 1 m/s sowie 4 bis 5 Rüben je m Meßstrecke, so beträgt die Frequenz der Rodeimpulse 4 bis 5 Hz. Demgegenüber wurde aus den Filmstreifen eine Eigenfrequenz der Meßeinrichtung von etwa 10 Hz festgestellt. Bei der Auswertung zeigte sich, daß sich die Eigenfrequenz der Meßeinrichtung und die Frequenz der Rodeimpulse genügend unterscheiden ließen.

Neben der Eigenfrequenz des Rahmens sind auch die Amplitude und die Richtung der Eigenschwingungen von Interesse, weil durch sie, wie bei schwingenden Bodenbearbeitungswerkzeugen festgestellt wurde [7], eine Verringerung der Zugkraft gegenüber starren Werkzeugen eintreten kann. Wie die Nachprüfung ergab, ist bei den gegebenen Schwingungsdaten (Frequenz, Amplitude, Schwingungsrichtung) mit einer Verringerung der Zugkraft nicht zu rechnen.

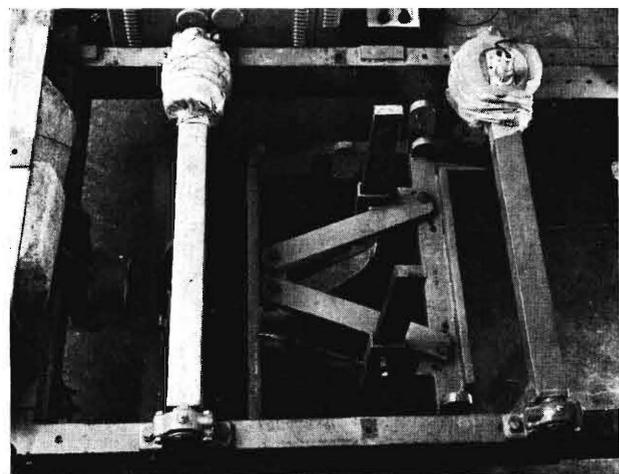
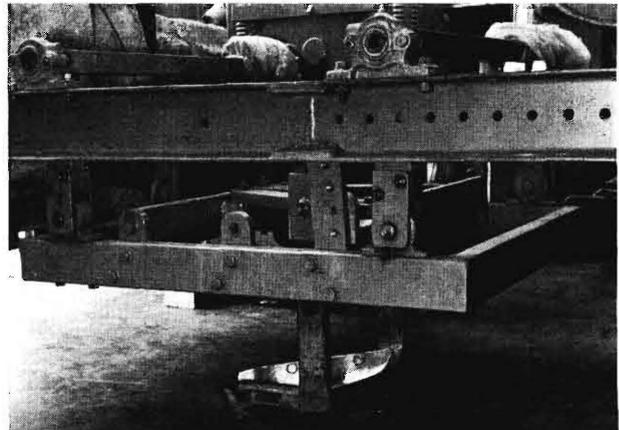


Bild 1 und 2. Meßrahmen mit Verstellvorrichtung für das Polderschar. Links in den Bildern die Meßdose für die Messung der Zugkraftkomponente.

oben: Seitenansicht; unten: Draufsicht auf den Meßrahmen.

Der Rahmen ist an vier aus Leichtbauprofilen hergestellten Lenkern in Fahrtrichtung frei pendelnd aufgehängt, **Bild 1 und 2**. Er stützt sich während des Rodens gegen eine Meßdose ab, in der sich eine mit acht Dehnungsmeßstreifen in Vollbrückenschaltung beklebte Federstahlmembran befindet. Die Nennlast der Dose beträgt 2000 kp, ihre Kennlinie kann als linear angesehen werden. Die Seitenkräfte rufen Verformungen in den auf der linken Rahmenseite liegenden Lenkern hervor, während die Lenker der rechten Rahmenseite durch entsprechende konstruktive Maßnahmen keine Seitenkräfte aufnehmen können.

Die durch Seitenkräfte beanspruchten Lenker wurden mit Dehnungsmeßstreifen beklebt. Diese wurden so geschaltet, daß temperaturabhängige Widerstandsänderungen kompensiert werden. Ebenso werden durch entsprechende Meßanordnung die aus der Zug- bzw. Druckbeanspruchung der Lenker herrührenden Normalspannungen eliminiert, so daß tatsächlich nur die aus den Seitenkräften resultierenden Biegespannungen registriert werden.

Die Meßlenker sind elektrisch hintereinandergeschaltet, so daß die Summe der Lenkerkräfte erfaßt wird. Im Normalfall greift die Seitenkraft in der Mitte zwischen dem vorderen und hinteren Lenkerpaar an, stützt sich also zu gleichen Teilen auf den Meßlenkern ab. Bei außermittigem Angriff der Seitenkraft ändert sich zwar der auf die beiden Lenker entfallende Anteil der Seitenkraft, die Summe der Lenkerkräfte wird jedoch richtig wiedergegeben. Fehlmessungen sind also von hier aus nicht möglich.

Die Meßwerte wurden mittels hochempfindlicher Spulenschwinger (Siemens-Oszillograph „Oszillofil“) ohne vorgeschaltete Verstärkerglieder optisch auf Bromsilberpapier registriert und durch nachfolgende Entwicklung sichtbar gemacht.

Versuchsmethodik

Das Versuchsprogramm gliedert sich in zwei Teile: die Messung der am Schar auftretenden Kräfte und die Feststellung der Rodeverluste.

Die Messung der beim Roden auftretenden Kräfte wurde an Zinken- und Polderscharen durchgeführt; andere Bauarten, wie rotierende Schare, sollen später untersucht werden. Untersucht wurde der Einfluß der Rodetiefe, des Anstell- und Spreizwinkels, nicht dagegen der Einfluß der Rodegeschwindigkeit auf die Rodekräfte, da dieser auf Grund von Vorversuchen unerheblich ist. Während des ganzen Versuchsprogramms wurde die Arbeitsgeschwindigkeit konstant gehalten (3,9 km/h). Die Zuordnung zwischen Meßstrecke und Filmlänge — gleiche Filmgeschwindigkeit (1,1 cm/s) vorausgesetzt — ist theoretisch immer die gleiche. Der Meßstrecke von 50 m Länge entsprach daher immer eine Filmlänge von 50 cm (Abbildungsmaßstab 1:100). Praktisch wirkte sich der Radschlupf dahin aus, daß die Filmstreifen länger als 50 cm, in der Regel rd. 70 cm lang waren.

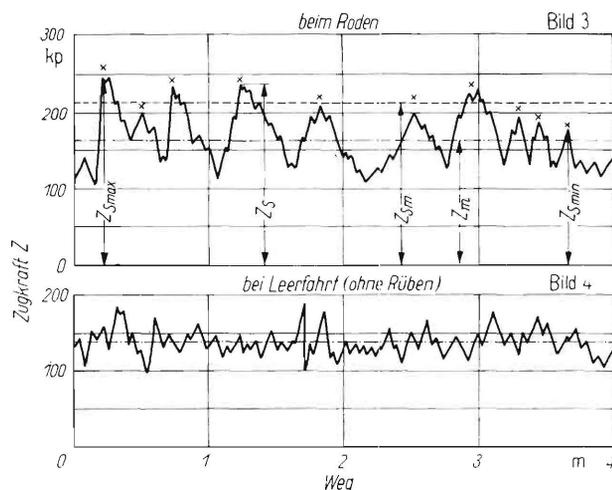


Bild 3 und 4. Zugkraftverlauf beim Roden und bei Leerfahrt ohne Rüben.

Der Meßwagen war im allgemeinen über eine Überlastkuppelung, die bei 750 kp ausklinkte, mit der Ackerschleife des Schleppers verbunden, um Beschädigungen der Meßapparatur durch Überlastung vorzubeugen. Bei Versuchen, die eine höhere Zugkraft als 750 kp erwarten ließen, waren Schlepper und Meßwagen starr verbunden. Am Schar wurden unter extremen Bedingungen Zugkräfte bis zu 1200 kp gemessen. Durch das Messen der Kräfte unmittelbar am Schar wurde der stark schwankende Zugkraftbedarf des Meßwagens von vornherein eliminiert.

Neben den Kraftmessungen wurden die Rüben gezählt und auf Wurzelbrüche hin untersucht. Auch vom Schar nicht erfaßte Rüben wurden registriert. Bei der Auswertung dieser Messungen ließen sich nicht so klare Zusammenhänge zwischen Scharstellung und Verlusten feststellen, wie das 1962/63 bei den von Evers [6] durchgeführten Untersuchungen der Fall ist. Der Grund dafür kann einmal darin gesehen werden, daß die Böden bei Beginn der Versuche am 20. Oktober (1963) mittelfeucht bis feucht, bei Beendigung der Versuche am 20. November überall sehr feucht waren. Versuche auf trockenen Böden mit einer in der Regel höheren Verlustrate konnten daher noch nicht durchgeführt werden. Ein zweiter und wesentlicher Grund für die Tatsache, daß die Zusammenhänge zwischen Scharstellung und Verlusten nicht eindeutig geklärt werden konnten, muß darin gesehen werden, daß die Meßstrecken mit 50 m zu kurz waren, um Unterschiede in den Verlusten statistisch zu sichern. Da aber die Scharstellung, d. h. also Anstell- und Spreizwinkel sowie die Rodetiefe reproduzierbare Größen sind, bestehen keinerlei Bedenken, die von Evers [6] festgestellten Zusammenhänge zwischen Scharstellung und Verlusten zum Vergleich mit heranzuziehen, besonders auch deshalb nicht, weil die Verlustmessungen (1963) auf den gleichen Böden wie die Zugkraftmessungen, häufig mit geringem zeitlichem Abstand, durchgeführt wurden.

Bei den hier mitgeteilten, vorläufigen Versuchsergebnissen wurde der Bodenzustand durch Begriffe wie mittelfeucht, feucht und sehr feucht, steinig bzw. steinfrei gekennzeichnet; bei der Fortführung der Versuche ist es notwendig, einen objektiven Maßstab zur Bewertung des Bodenzustandes einzuführen.

Auswertung der Meßschriebe

Als Grundlage für die Auswertung der einzelnen Meßschriebe wurden die Zugkraftspitzen Z_S gewählt, **Bild 3**, weil sie für die Beanspruchung von Rübenwurzel und Schar ausschlaggebend sind.

Aus den Meßschrieben wurde jeweils die größte und die kleinste, von der Eigenfrequenz eindeutig zu unterscheidende Zugkraftspitze abgelesen. In **Bild 3** wurde die maximale Zugkraftspitze mit Z_{Smax} und entsprechend die minimale Zugkraftspitze mit Z_{Smin} bezeichnet. Große Zugkraftspitzen sind großen bzw. festverwurzelten Rüben zuzuordnen, kleine dementsprechend kleinen bzw. weniger fest verwurzelten Rüben. Die Höhe der „Täler“ zwischen den einzelnen Spitzen entspricht etwa der zum Ziehen des Schar ohne Rüben erforderlichen mittleren Zugkraft bei Leerfahrt. Besondere, ohne Rüben durchgeführte Versuche bestätigen diese Annahme, **Bild 4**. Die Messungen ergaben, daß die zum Ziehen des Schar durch den Boden erforderliche, mittlere Zugkraft (beim Zinkenschar) zwischen 50 und 70% der maximalen Zugkraft beim Roden ausmacht. Besondere Messungen über den Zugkraftbedarf bei Leerfahrt des Polderschars liegen nicht vor.

Neben den maximalen und minimalen Zugkraftspitzen wurde in **Bild 3** auch noch der Mittelwert Z_{Sm} der Zugkraftspitzen eingezeichnet; dieser ist nicht zu verwechseln mit der mittleren Zugkraft Z_m beim Roden, die man durch Planimetrieren der Flächen unter dem in **Bild 3** gezeigten Kurvenzug erhält.

Die **Bilder 3 und 4** zeigen zwei typische Meßschriebe; einmal die großzackigen „Impulse“ beim Roden mit der überlagerten Eigenschwingung, zum zweiten den im Takt der Eigenschwingung schwankenden Zugkraftbedarf des Schar im Leerlauf (ohne Rüben).

Die untersuchten Rodekörper

Bild 5 zeigt die Versuchsausführung des Zinkenschars. Entgegen der sonst üblichen Bauweise ist der Spreizwinkel α veränderlich und kann Werte zwischen 5° und 25° annehmen. Auch der Anstellwinkel β ist veränderlich und kann in den Grenzen 0° und 30° verstellt werden.

Die Zinken des Zinkenschars bestehen aus einem zylindrischen Teil, auf den eine Spitze in Gestalt eines geraden Kreiskegels aufgesetzt ist; der Winkel an der Spitze beträgt 18° . Der Einfluß des zwischen Kegel und Furchensohle entstehenden Freiwinkels auf die Zugkräfte und Verluste wurde nicht untersucht. Es ist anzunehmen, daß der Freiwinkel einen gewissen Einfluß auf die Höhe der Grundlast, d. h. auf die Höhe des zum Aufreißen der Furche erforderlichen Zugkraftanteils, ausübt. Dagegen wird das eigentliche Heben der Rübe nicht oder in nicht nennenswertem Maß durch den Freiwinkel beeinflusst werden.

Bild 6 zeigt die Verhältnisse beim Polderschar. Wieder lassen sich Spreizwinkel α und Anstellwinkel β in weiten Grenzen verändern. Neben den in der Praxis üblichen Einstellungen¹⁾ sind damit auch extreme Scharstellungen möglich.

In Bild 6 wurden strichpunktiert die theoretischen Berührungsgeralen eingezeichnet, längs deren sich die Rübe beim Rodevorgang bewegt. Die Lage dieser Geraden entspricht einem mittleren Durchmesser und Öffnungswinkel des Rübenkegels. Schwankungen des Rübendurchmessers bewirken geringfügige Parallelverschiebungen der Berührungsgeralen zu der im Bild gezeigten Lage. Auf die Bedeutung der theoretischen Berührungsgeralen wird im folgenden noch näher eingegangen.

Modellmäßige Betrachtungen des Rodevorganges

Vor der Besprechung der Versuchsergebnisse soll der Rodevorgang an Hand eines Modells, das in den wesentlichen Eigenschaften mit dem tatsächlichen Vorgang übereinstimmt und diesen einer rechnerischen Behandlung zugänglich macht, betrachtet werden.

Dieses Modell hat man sich etwa folgendermaßen vorzustellen: Die Rübe wird eine geneigte Ebene hinauf geschoben. Die zum Hinaufschieben erforderliche Energie setzt sich aus zwei Anteilen, der zum Heben der Rübe und der zum Überwinden der Reibungskräfte erforderlichen Energie zusammen. Beim Heben der Rübe muß nicht nur ihr Eigengewicht, sondern vor allem auch die Wurzelhaltekraft überwunden werden, die ein Vielfaches des Eigengewichtes beträgt [4].

Die Ebene, auf der man sich die Rübe hochgleitend zu denken hat, wird infolge der Kegelform der Rübe aus zwei parallelen, gegen die Horizontale geneigten Geraden, die von der Rübe punktförmig berührt und gleichzeitig infolge der Keilform der Rübe auseinandergedrängt werden, gebildet. Diese Keilwirkung der Rübe führt zu wesentlich höheren Reibungskräften, als sie etwa zwischen einer schiefen Ebene und einem glattflächigen Würfel unter denselben Voraussetzungen wirken.

Welche Beziehungen bestehen nun zwischen den am Schar eingestellten Winkeln und dem Neigungswinkel dieser hypothetischen Ebene, auf der die Rübe hochgleitet? Die Verhältnisse sind beim Zinkenschar (Bild 5) leicht zu übersehen. Beträgt z. B. der Spreizwinkel α des Zinkenschars 0° , d. h., sind die Scharzinken parallel, so stimmt der Neigungswinkel der Hilfsebene (auch hypothetische Ebene genannt) mit dem Anstellwinkel β des Schar überein. Der Schwerpunkt der Rübe bewegt sich also parallel zu der von den Scharzinken gebildeten Ebene. Ist der Spreizwinkel $\alpha > 0^\circ$, d. h., verringert sich der Abstand der Zinken nach hinten, so stimmen die Anstellwinkel des Schar und der Hilfsebene nicht mehr überein. Der Schwerpunkt der Rübe wird jetzt steiler angehoben als es dem Anstellwinkel β der Scharzinken entspricht. Mit anderen Worten: die Neigung der Hilfsebene ist bei Spreizwinkeln $\alpha > 0^\circ$ größer als der Anstellwinkel β der Scharzinken. Bei kleinen Spreizwinkeln (unter 10°) ist dieser Einfluß relativ gering, so daß die Neigungswinkel

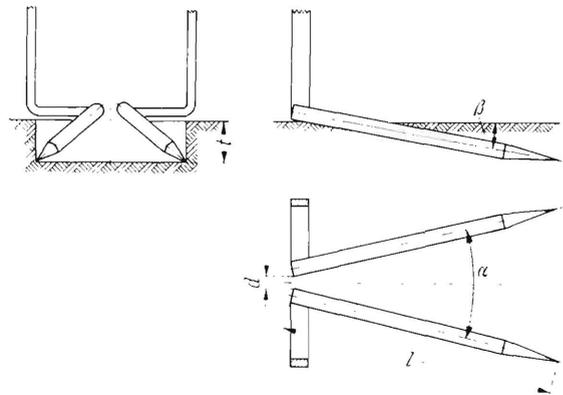


Bild 5. Schematische Darstellung und Kennzeichnung der Winkel des Versuchs-Zinkenschars.

α Spreizwinkel; β Anstellwinkel; t Furchentiefe

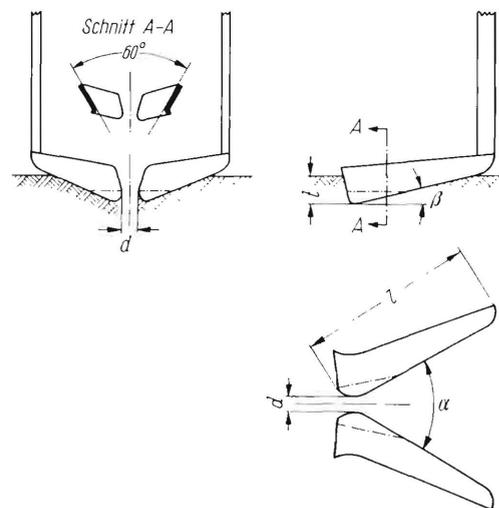


Bild 6. Schematische Darstellung und Kennzeichnung der Winkel des Versuchs-Polderschars.

α Spreizwinkel; β Anstellwinkel; t Furchentiefe

der Hilfsebene und der von den Scharzinken gebildeten Ebene näherungsweise übereinstimmen.

Beim Polderschar (Bild 6) liegen die Verhältnisse nicht so einfach. Der Anstellwinkel β , der zwischen den Scharblechunterkanten und der Horizontalen gemessen wird, ist hier ein reines Konstruktionsmaß und sagt nichts über die Lage der Hilfsebene, auf der die Rüben hochgleiten, aus.

Eine Vorstellung über die Lage dieser Hilfsebene bekommt man erst dann, wenn man die Gesamtheit aller Berührungspunkte zwischen Rübe und Scharblech betrachtet und feststellt, daß diese näherungsweise auf geraden Linien, den in Bild 6 strichpunktiert eingezeichneten theoretischen Berührungsgeralen, liegen. Sie beginnen, je nach Durchmesser und Öffnungswinkel des Rübenkegels, in der Mitte oder im hinteren Drittel der Scharblechunterkante und verlaufen, im allgemeinen schräg aufwärts gerichtet, zur Hinterkante des Scharblechs. Je nach Form und Wölbung des Scharblechs können diese Geraden aber ebenso horizontal wie nach hinten geneigt verlaufen.

Die theoretischen Berührungsgeralen des Polderschar übernehmen nun weitgehend die Aufgabe der Zinken des Zinkenschar. Beide, sowohl die Zinken als auch die Berührungsgeralen, liegen in einer Ebene. Auf dieser oder auf einer dazu parallelen Ebene bewegt sich der Schwerpunkt der Rübe, sofern das Schar nicht gespreizt ist. Da man in der Praxis nicht auf die Scharspreizung verzichten kann, ist die Neigung der Hilfsebene, auf der sich der Rübenschwerpunkt bewegt, in der Regel größer als die Neigung der von den Scharzinken bzw. den theoretischen Berührungsgeralen gebildeten Ebene. Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Zinken- und Polderschar muß freilich an dieser Stelle herausgestellt werden. Während eine Vergrößerung des

¹⁾ Bei ausgeführten Rodewerkzeugen ist beim Zinkenschar $\alpha = 15^\circ$ und $\beta = 15^\circ$; beim Polderschar ist $\alpha = 50^\circ$ und $\beta = 15^\circ$.

Werkzeuganstellwinkels beim Zinkenschar gleichzeitig auch eine Vergrößerung des Anstellwinkels der Hilfsebene bedeutet, ist beim Polderschar das Gegenteil der Fall. Bei ihm hat eine Vergrößerung des auf die Scharblechunterkanten bezogenen Anstellwinkels eine Verringerung des Anstieges der von den theoretischen Berührungsebenen gebildeten Ebene zur Folge. Mitunter kann der Neigungswinkel der Berührungsebene sogar negativ werden, wie sich aus Bild 6 entnehmen läßt, wenn man bei konstanter Spreizung den Anstellwinkel β vergrößert.

Bei unseren Modellbetrachtungen haben wir stillschweigend die Annahme gemacht, daß die Achse des Rübenkegels während des Rodevorganges stets vertikal ist; daß diese Annahme nur bedingt zutrifft, zeigen die Untersuchungen von Göhlich u. a. [1; 5], die den Bewegungsverlauf der Rübe im Schar im Film festhielten. Bleibt man bei der Annahme einer näherungsweise senkrechten Aufwärtsbewegung der Rübe, so ergibt sich aus den vorhergehenden Überlegungen eine Modellvorstellung, in die sich Zinken- wie Polderschar einordnen lassen. Wie jedes Modell hat auch dieses seine Grenzen, wie sich bei der nachstehenden Erörterung der Versuchsergebnisse zeigen wird.

Ergebnisse der Versuche mit dem Zinkenschar

Bild 7 zeigt die Zugkraft beim Roden in Abhängigkeit vom Spreizwinkel α ; der konstant gehaltene Anstellwinkel β beträgt wie üblich 15° . Die Zugkraft nimmt mit wachsender Spreizung zu; je breiter die vom Schar aufgerissene Furche ist, desto größer ist auch der zu überwindende Zugwiderstand des Schar. Aber nicht nur die Verbreiterung der als rechteckig angenommenen Furche führt zur Erhöhung des Zugkraftbedarfes; auch die Tatsache, daß infolge der vergrößerten Spreizung des Schar der Neigungswinkel der Hilfsebene größer wird, wirkt sich in einer Vergrößerung der Zugkraftspitze beim Roden aus. Man muß sich diese Tatsache so vorstellen, daß infolge der vergrößerten Spreizung der Berührungspunkt zwischen Rübe und Schar nach hinten und gleichzeitig nach oben wandert. Dadurch wird die wirksame Zinkenlänge und damit auch gleichzeitig die zum Heben der Rübe verfügbare Zeit kürzer; dieser Umstand bedingt aber eine Vergrößerung der Zugkraft.

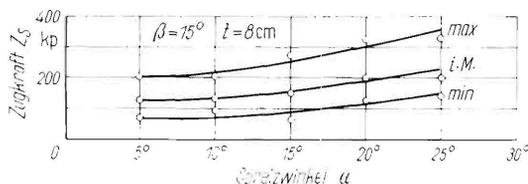


Bild 7. Zugkraft beim Roden in Abhängigkeit des Spreizwinkels beim Zinkenschar.

Boden mittelfeucht, steinfrei

Bei ausgeführten Maschinen wählt man in der Regel einen Spreizwinkel um 15° . Wie Bild 7 erkennen läßt, kann die Zugkraft durch Verkleinerung des Spreizwinkels unter 15° noch verringert werden; es besteht aber dann die Gefahr, daß die Rüben beschädigt oder bereits bei geringfügigen Steuerabweichungen von den Zinken aufgespießt werden. Wenn nicht ausdrücklich anders vermerkt, wird daher im folgenden der Spreizwinkel des Zinkenschar immer zu 15° gewählt.

Bild 8 zeigt die Abhängigkeit der Zugkraft vom Anstellwinkel β bei konstantem Spreizwinkel $\alpha = 15^\circ$. Zunächst überrascht der Verlauf der Zugkraftkurven, die bei einem Anstellwinkel von 10° ein ausgeprägtes Minimum aufweisen. Der Anstieg der Kurven bei Anstellwinkeln größer als 10° erklärt sich daraus, daß mit wachsendem Anstellwinkel der Neigungswinkel der Hilfsebene größer und damit auch der zum Anheben der Rübe erforderliche Zugkraftbedarf größer wird. Wird umgekehrt der Anstellwinkel kleiner als 10° und nähert sich dem Winkel 0° , so wird der Freiwinkel zwischen der Unterkante der kegelförmigen Zinkenspitze und der Furchensohle Null und schließlich sogar negativ. Das Schar verliert seine tiefenführenden Eigenschaften und zieht sich infolge des fehlenden Untergriffs nicht mehr selbsttätig in den Boden hinein.

Um überhaupt die notwendige Furchentiefe einhalten zu können, müssen die Scharspitzen zusätzlich belastet werden. Bei den Versuchen wurde beobachtet, daß die Räder des mehr als eine halbe Tonne wiegenden Meßwagens bei Anstellwinkeln um 0° den Bodenkontakt verloren und der Sollwert der Furchentiefe sich nur durch Anbringen weiterer Gewichte erzielen ließ. Dabei entstehen natürlich hohe Reibungswiderstände in der Furchensohle, die die Zugkraft bei kleiner werdendem Anstellwinkel ansteigen lassen. Der Boden wird nicht mehr in Schollen aufgebrosen, sondern seitlich und nach oben verdrängt, was ebenfalls zur Erhöhung der Zugkräfte beiträgt.

Im vorliegenden Fall scheinen einige Bemerkungen über die Größe und Bedeutung der Reibungskräfte zwischen Schar und Furchensohle sinnvoll. Nimmt man an, daß sich das Schar beim Anstellwinkel 0° mit etwa 500 kp (Gewicht des unbelasteten Meßwagens) auf der Furchensohle abstützt, und berücksichtigt weiter einen Reibbeiwert von 0,4 (zwischen Stahl und Boden), so berechnet sich der erwähnte, in der Gesamtzugkraft enthaltene Reibungswiderstand zu 200 kp. Zieht man diesen durch den Reibungswiderstand bedingten Zugkraftanteil von der Gesamtzugkraft bei 0° Anstellwinkel ab (wie in den Mittelwertkurven in Bild 8, 9 und 11 angedeutet), so gewinnt man den Eindruck, daß der zum Aufbrechen des Bodens durch die Zinkenspitzen und zum Roden der Rüben verbleibende Zugkraftanteil zwischen 10° und 0° Anstellwinkel näherungsweise konstant bleibt.

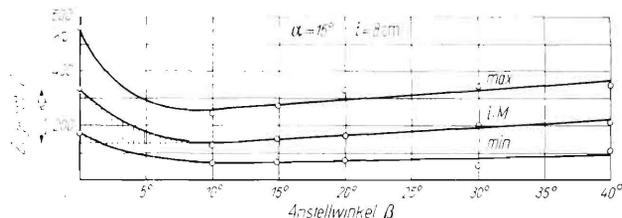


Bild 8. Zugkraft beim Roden in Abhängigkeit des Anstellwinkels beim Zinkenschar. Der schraffierte Bereich entspricht dem errechneten Reibungswiderstand zwischen Scharunterseite und Furchensohle.

Boden mittelfeucht, steinfrei

Dem steht entgegen, daß das Schar mit Annäherung an den Anstellwinkel 0° mehr und mehr seine hebende Wirkung verliert. Wie sich rechnerisch nachweisen läßt, ist ein Heben der Rübe allein durch die Spreizung nicht oder nur in geringem Umfang möglich; die Rübe wird bei Anstellwinkeln um 0° also nicht mehr gehoben, sondern aus dem Boden herausgequetscht bzw. gerissen, was zur Erhöhung der Zugkräfte beiträgt.

Der starke Anstieg der Zugkraftkurven im Bereich zwischen 10° und 0° Anstellwinkel dürfte also zum größten Teil durch das Anwachsen der Reibungswiderstände, zu einem geringeren Teil durch den Anstieg des zum Roden der Rübe erforderlichen Zugkraftanteils bedingt sein.

Daß diese Zusammenhänge nicht nur für $\alpha = 15^\circ$, sondern auch für größere Spreizwinkel gelten, zeigt **Bild 9** für $\alpha = 25^\circ$. Die Kurven stimmen grundsätzlich mit denen in Bild 8 überein.

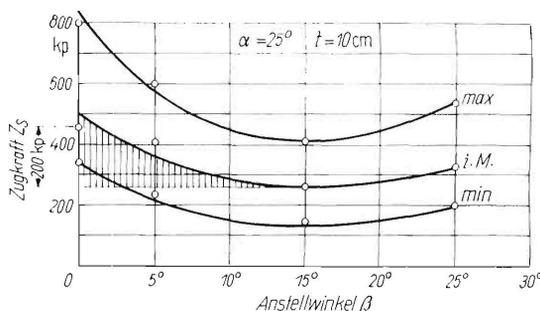


Bild 9. Zugkraft beim Roden in Abhängigkeit des Anstellwinkels beim Zinkenschar. Der schraffierte Bereich entspricht dem errechneten Reibungswiderstand zwischen Scharunterseite und Furchensohle.

Boden mittelfeucht/feucht, steinig

Bild 10 zeigt die Zusammenhänge zwischen Seitenkräften und Anstellwinkel β beim Zinkenschar. Seitenkräfte sind die Folge einseitiger und damit unsymmetrischer Belastungen des Schar; sie treten auf, wenn das Schar fehlerhaft gesteuert wird bzw. wenn Rüben außerhalb der Reihe stehen. Beim starren Schar führen die Seitenkräfte zu einseitiger Druckbeanspruchung der Rüben und damit zu erhöhter Bruchgefahr. Beim seitenbeweglichen („schwimmenden“) Schar gleichen sich die Seitenkräfte weitgehend aus.

Nach Bild 10 ist der Verlauf der Seitenkräfte ähnlich wie der der Zugkräfte; hinsichtlich des Minimums und des Anstieges der Seitenkräfte gilt dasselbe wie das zu den Zugkräften Gesagte. Ob man aus dem ähnlichen Verlauf von Längs- (Zug-) und Seitenkräften folgern darf, daß das Verhältnis der Längs- und Seitenkräfte unabhängig vom Anstellwinkel näherungsweise gleich ist, müßte noch untersucht werden.

Zur Beantwortung der Frage nach den Zusammenhängen zwischen den Rodeverlusten und den Zugkräften beim Zinkenschar sowie zur Klärung der Frage, ob die Abhängigkeit der Verluste und Zugkräfte vom Scharanstellwinkel etwa die gleiche ist, wurden in **Bild 11** die Ergebnisse der Verlust- und Zugkraftmessungen nebeneinandergestellt. Die Messung der Verluste geht auf Evers [6] zurück.

Man entnimmt Bild 11, daß ein Ansteigen der Zugkraft jeweils von einer Zunahme der Rübenverluste begleitet ist. Höchste Verluste und Zugkräfte werden bei Anstellwinkeln um 0° , bei denen die Tiefen- und Seitenführung des Schar verlorengegangen ist, beobachtet. Bei der derzeit üblichen Scharstellung (Anstellwinkel $\beta = 15^\circ$, Spreizwinkel $\alpha = 15^\circ$) bewegt man sich sowohl hinsichtlich der Verluste als auch der Zugkräfte im günstigsten Bereich. Die Zugkräfte liegen dabei im Mittel bei 150 kp (sie erreichen nur bei steinigem Böden und auch dann nur ausnahmsweise 250 kp). Die durch das Schar hervorgerufenen Bruchverluste betragen bei Anstellwinkeln zwischen 15° und 25° rund 1% der Rübenmasse, sind also recht gering. Wenn aber draußen durchweg höhere Verluste beobachtet werden — sie betragen selten unter 3 bis 5% der Rübenmasse —, so muß der Grund für diese Tatsache in den nie völlig auszuschließenden Steuerabweichungen des Schar gesucht werden, eine Überlegung, die bereits Heller [2] veranlaßte, das Schar schwimmend und damit selbstführend anzuordnen. Leider läßt sich von dieser Möglichkeit vorerst nur beim Polderschar Gebrauch machen, während das Zinkenschar ohne Ausnahme starr eingebaut wird.

Ergebnisse der Versuche mit dem Polderschar

Die **Bilder 12 bis 17** zeigen die Ergebnisse der mit dem Polderschar durchgeführten Versuche. Bevor auf einzelne Versuchsergebnisse näher eingegangen wird, soll ein wichtiges Ergebnis von allgemeiner Bedeutung vorweggenommen werden: Das Zugkraftniveau liegt beim Polderschar wesentlich höher als beim Zinkenschar. Während beim Zinkenschar Zugkräfte in der Größenordnung von 150 kp, nur in Ausnahmefällen von 250 kp gemessen wurden, müssen beim Polderschar bei günstiger Stellung (Spreizwinkel $\alpha = 50^\circ$, Anstellwinkel $\beta = 15^\circ$) Zugkräfte zwischen 300 und 450 kp hingenommen werden. Auf diesen Umstand ist es vielleicht auch zurückzuführen, daß sich das Polderschar erst zu dem Zeitpunkt durchsetzen konnte, als beim Übergang vom Gespann- zum Schlepperzug größere Leistungseinheiten zur Verfügung standen. Der besondere Vorteil des Polderschar ist der, daß es besonders bei schweren Böden weniger Schmutzanteile auf die Sieborgane bringt als das Zinkenschar, und das um so weniger, je schwerer die Böden sind. Andererseits ist aber gerade auf schweren Böden, die im nassen Zustand zum Schmierneigen, eine Verringerung der erforderlichen Zugkraft wünschenswert, weil die Haftfähigkeit der Schlepperreifen geringer ist. Aus diesem Grund wäre auf schweren Böden eher das Zinkenschar am Platze.

Der Tatsache, daß der Zugkraftbedarf des Zinkenschar wesentlich geringer ist als der des Polderschar, kommt hinsichtlich der Verringerung des Wetterrisikos bei der Rübenerte besondere Bedeutung zu; denn, wie schon eingangs betont, wird

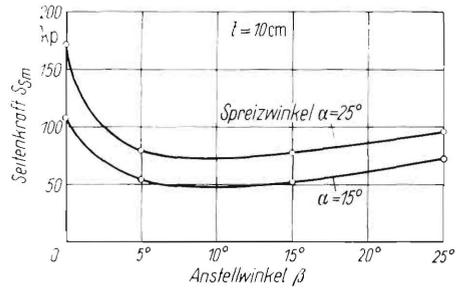


Bild 10. Seitenkraft beim Roden in Abhängigkeit des Anstellwinkels beim Zinkenschar.

Boden mittelfeucht/feucht, steinig

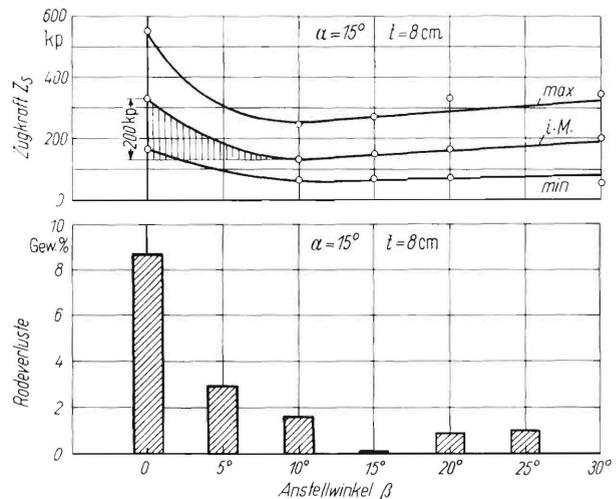


Bild 11. Zugkraft und Rodeverluste beim Zinkenschar in Abhängigkeit des Anstellwinkels. Der schraffierte Bereich entspricht dem errechneten Reibungswiderstand zwischen Scharunterseite und Furchensohle. Rodeverluste nach Evers [6].

die Einsatzmöglichkeit einer Maschine an nassen Tagen im wesentlichen durch den Zugkraftbedarf bestimmt. Auch die sich anbahnende Entwicklung zu kleineren Rübenvollentemaschinen kann durch diese Tatsache Anregungen erhalten. Nicht zuletzt spielt die Höhe des Zugkraftbedarfes dort eine Rolle, wo an die Entwicklung zweireihiger Maschinen gedacht wird.

Den Einfluß des Spreizwinkels auf die Zugkraft lassen **Bild 12 und 13** erkennen. Der Anstellwinkel betrug in beiden Fällen 15° , die Rodetiefe 8 cm. Sieht man von den durch die

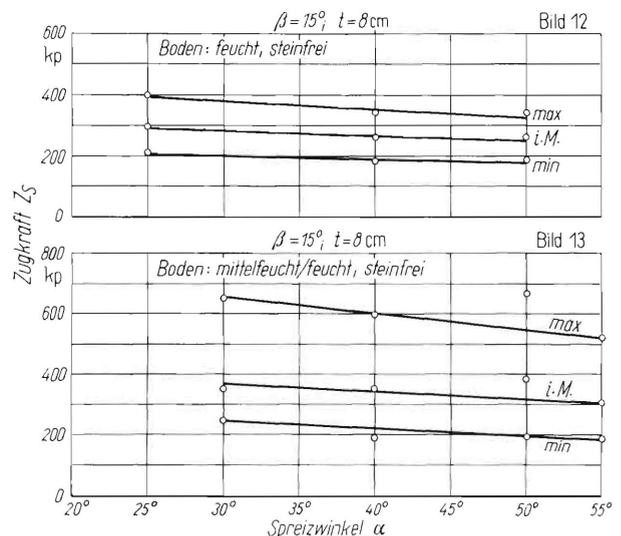


Bild 12 und 13. Zugkraft beim Roden in Abhängigkeit des Spreizwinkels beim Polderschar.

Boden feucht (Bild 12) bzw. mittelfeucht (Bild 13)

verschiedenen Bodenzustände bedingten Unterschieden in der Höhe der Zugkraft ab, so erkennt man in beiden Bildern die gleiche Tendenz: Die erforderliche Zugkraft wird beim Polderschar mit zunehmendem Spreizwinkel geringer. Diese Beobachtung widerspricht den beim Zinkenschar gemachten Erfahrungen. Bei ihm entsprach einer Vergrößerung des Spreizwinkels eine Erhöhung der Zugkraft. Es ist unbestreitbar, daß auch beim Polderschar eine Vergrößerung des Spreizwinkels zu einer Vergrößerung des Furchenquerschnitts und damit zu einer Erhöhung des Zugkraftbedarfes führt. Wenn in Bild 12 und 13 trotzdem eine Verringerung der Zugkraftspitzen mit wachsendem Spreizwinkel beobachtet wird, so ist der Grund dafür wohl darin zu suchen, daß der zum Heben der Rübe erforderliche Anteil an der Gesamtzugkraft mit wachsendem Spreizwinkel geringer wird. Das heißt mit anderen Worten, daß der Zuwachs des zum Aufreißen der Furche erforderlichen Zugkraftanteils durch die Verringerung des zum Heben der Rübe erforderlichen Anteils an der Gesamtzugkraft mehr als ausgeglichen wird. Das leuchtet auch ein; denn die Hilfsebene ist bei kleinen Spreizwinkeln des Polderschars nicht oder nur wenig geneigt, infolgedessen werden die Rüben mehr aus dem Boden herausgequetscht als gehoben. Bei größerer Spreizung wird auch der Neigungswinkel der Hilfsebene größer; die Rüben werden mehr gehoben, und der Zugkraftbedarf wird geringer. Diese Überlegungen gelten natürlich nur für einen bestimmten Bereich des Spreizwinkels. Sobald die Neigung der Hilfsebene ihren optimalen Wert übersteigt, muß mit einem Wiederanstieg der Zugkräfte gerechnet werden.

Bild 14 zeigt die Zusammenhänge zwischen Zugkraft und Anstellwinkel beim Polderschar; der Spreizwinkel beträgt wie üblich 50° , die Rodetiefe 10 cm. Die Kurven entsprechen etwa

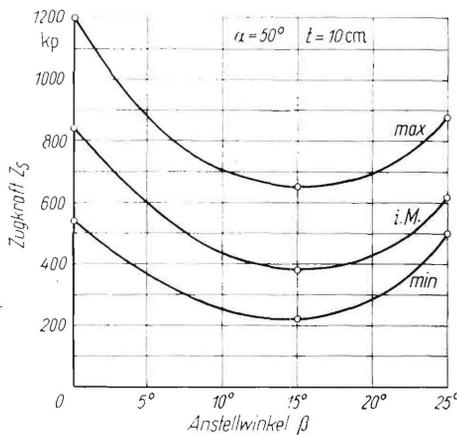


Bild 14. Zugkraft beim Roden in Abhängigkeit des Anstellwinkels beim Polderschar.
Boden mittelfeucht/feucht, steinig

denen für das Zinkenschar (Bild 8 und 9). Zum Verständnis der Kurven nimmt man zweckmäßig wieder die modellmäßige Betrachtung des Rodevorganges zu Hilfe. In einem der vorstehenden Abschnitte wurde dabei für das Polderschar festgestellt, daß einer Vergrößerung des auf die Werkzeugunterkanten bezogenen Anstellwinkels β eine Verringerung der Neigung der theoretischen Berührungsebenen und damit der Hilfsebene entspricht und umgekehrt²⁾. Wenn man die Neigung der Hilfsebene, auf der sich der Rübenschwerpunkt bewegt, als Vergleichsmaßstab heranzieht, so entsprechen die in Bild 14 links des Minimums liegenden Kurvenzweige den rechts des Minimums liegenden Kurvenzweigen in den entsprechenden Bildern 8 und 9 für das Zinkenschar. Wie beim Zinkenschar läßt sich auch beim Polderschar ein Wiederanstieg der erforderlichen Zugkraft feststellen, wenn der Werkzeuganstellwinkel β kleiner als 10° wird. Hierzu

²⁾ Eine formelmäßige Beziehung zwischen dem Werkzeuganstellwinkel und dem Neigungswinkel der Hilfsebene läßt sich leider nicht angeben, weil die Form und der Grad der Wölbung von Scharblech zu Scharblech schwanken. Damit läßt sich die Lage der Hilfsebene nur empirisch finden. Bei der Versuchsausführung des Polderschars (Bild 6) beträgt bei einem Werkzeuganstellwinkel von 25° die Neigung der Hilfsebene rund 5° , bei einem Werkzeuganstellwinkel von 0° dagegen etwa 20° .

trägt zweifellos die Tatsache bei, daß beim Polderschar unterhalb eines bestimmten Anstellwinkels die Halterungen der Scharblätter im festen Boden wühlen.

Bild 15 zeigt die Zusammenhänge zwischen Seitenkraft und Werkzeuganstellwinkel beim Polderschar. Der Kurvenverlauf entspricht grundsätzlich dem für das Zinkenschar gezeigten (Bild 10). Das Niveau der Seitenkräfte liegt beim Polderschar etwas höher als beim Zinkenschar (in beiden Fällen die in der Praxis üblichen Einstellwerte vorausgesetzt).

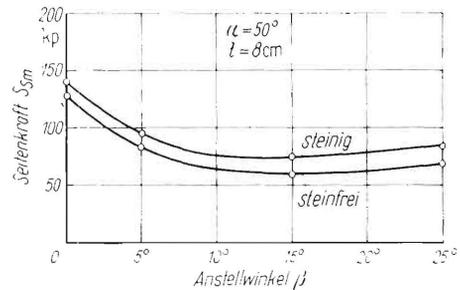


Bild 15. Seitenkraft beim Roden in Abhängigkeit des Anstellwinkels beim Polderschar.
Boden mittelfeucht/feucht

Den Einfluß der Rodetiefe auf die Zugkraft beim Roden gibt **Bild 16** wieder. Das Schar ist in üblicher Weise eingestellt, d. h., der Spreizwinkel beträgt 50° , der Anstellwinkel 15° . Die Zugkraft nimmt im Bereich zwischen 4 und 8 cm Rodetiefe verhältnismäßig wenig zu. Unterstellt man, daß die Rodefurche des Polderschars die Form eines gleichschenkligen Dreiecks hat (Bild 6), so wird bei Verdoppelung der Tiefe die Dreiecksfläche vervierfacht (Furchenquerschnitte sind ähnliche Dreiecke!). Der Zugkraftbedarf wird aber keineswegs vervierfacht, sondern bestenfalls verdoppelt, wie Bild 16 erkennen läßt. Dieser Umstand ist zweifellos durch die inhomogene Beschaffenheit der obersten Bodenschicht von etwa 8 cm Tiefe bedingt. Der steilere Anstieg des Zugkraftbedarfes zwischen 8 und 10 cm Tiefe läßt aber vermuten, daß die Zugkraft bei Rodetiefen über 8 cm im erwarteten Umfang zunimmt.

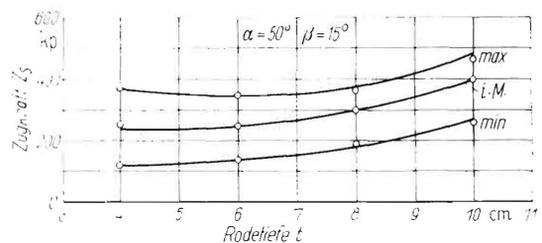


Bild 16. Zugkraft beim Roden in Abhängigkeit von der Rodetiefe beim Polderschar.
Boden sehr feucht, steinfrei

Bei der Frage nach den Rodeverlusten beim Polderschar ist es wie beim Zinkenschar zweckmäßig, die Ergebnisse der Verlust- und Zugkraftmessungen nebeneinander zu betrachten. In **Bild 17** sind daher Verluste und Zugkräfte in Abhängigkeit des auf die Werkzeugunterkanten des Polderschares bezogenen Anstellwinkels β aufgetragen. Der Spreizwinkel α beträgt in beiden Fällen 50° , die Rodetiefe 8 cm.

Im Gegensatz zum Zinkenschar (Bild 11) steigen die Rübeverluste beim Polderschar mit steigendem Anstellwinkel β (Bild 17). Diese Beobachtung steht scheinbar im Widerspruch zu der früher angestellten These von der Verwandtschaft der beiden Schartypen. Sie läßt sich aber ohne weiteres in die bisherigen Überlegungen einordnen, wenn man berücksichtigt, daß beim Polderschar kleinen Werkzeuganstellwinkeln große Anstellwinkel der Hilfsebene entsprechen und umgekehrt. Das bedeutet für das Polderschar in Bild 17, daß bei einem Werkzeuganstellwinkel von 25° die Neigung der Hilfsebene etwa nur 5° , bei einem Werkzeuganstellwinkel von 0° dagegen etwa 20° beträgt. Betrachtet man jetzt die Verlustkurven von Zinken-

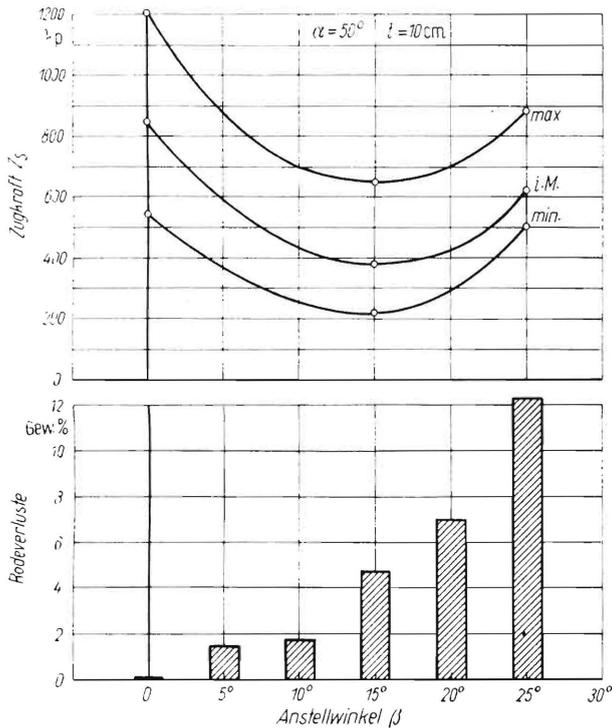


Bild 17. Zugkraft und Rodeverluste beim Polderschar in Abhängigkeit des Anstellwinkels. Rodeverluste nach Evers [6].

und Polderschar und denkt sich auf der Abszisse den Anstellwinkel der Hilfsebene aufgetragen, so erkennt man in den Kurven beider Schartypen grundsätzlich die gleiche Tendenz: eine Verringerung des Anstiegs der Hilfsebene zieht in jedem Fall ein rasches Anwachsen der Rodeverluste nach sich.

Vergleicht man die Zugkraft und die Rodeverluste bei den zur Zeit üblichen Einstellungen der beiden Rodewerkzeuge, so sind die Rodeverluste und die Zugkräfte (bei den untersuchten Böden) beim Polderschar größer als beim Zinkenschar, **Tafel 1**.

Die derzeit übliche Einstellung des Polderschares ist also weder hinsichtlich des Zugkraftbedarfes noch hinsichtlich der Verluste besonders günstig.

Verkleinert man den Anstellwinkel β auf 5° bzw. 0° , so sinken die Verluste auf 1,5 bzw. 0,1%, die Zugkraft erhöht sich aber

Tafel 1. Zugkraft und Rodeverluste der beiden Scharausführungen bei den zur Zeit üblichen Winkleinstellungen (Rodeverluste nach Evers [6]).

	Zugkraftspitze beim Roden i. M. kp	Rodeverluste %
Zinkenschar (nach Bild 11) $\alpha = 15^\circ, \beta = 15^\circ$	150	0,1
Polderschar (nach Bild 17) $\alpha = 50^\circ, \beta = 15^\circ$	400	5

auf 600 bzw. 800 kp, Bild 17. Es liegt daher nahe, beim Polderschar zu Werkzeuganstellwinkeln um 0° überzugehen. Dieser Übergang ist aus Zugkraftgründen nur dann zu verantworten, wenn gleichzeitig die Rodetiefe verringert werden kann. Ob und in welchem Umfang sich durch solche Maßnahmen die Verluste in der Zuckerrübenenernte senken lassen, müssen weitere Untersuchungen zeigen. Ebenso ist die Frage zu klären, wie sich die untersuchten Scharkörper in harten und trockenen Böden verhalten.

Zusammenfassung

Es wird über Kräftermessungen an Rodewerkzeugen von Rübenerntemaschinen berichtet. Ferner wurde die Frage, ob und in welchem Umfang Zusammenhänge zwischen Zugkraftbedarf und Rodeverlusten bestehen, untersucht. Die Messung der Kräfte erfolgte mit einer elektronischen Meßeinrichtung an Zinken- und Polderscharen mit veränderlichen Anstell- und Spreizwinkeln bei verschiedenen Betriebs- und Bodenständen. Außerdem wurde der Einfluß der Rodetiefe festgestellt.

Es zeigt sich, daß sich bei Zinken- und Polderscharen optimale Einstellwerte finden lassen, die im allgemeinen mit den empirisch gefundenen, an ausgeführten Rodewerkzeugen üblichen Einstellwerten übereinstimmen. Beim Polderschar empfiehlt sich allerdings im Hinblick auf die Rodeverluste eine Verringerung des derzeit üblichen Werkzeuganstellwinkels. Überraschend ist, daß die Zugkräfte beim Polderschar etwa doppelt so hoch sind wie beim derzeitigen Zinkenschar. Auch die Rodeverluste sind beim Polderschar höher als beim Zinkenschar. Einen Ausgleich bringt möglicherweise eine „schwimmende“ Anordnung des Polderschares.

Schrifttum

- [1] Göhlich, H., und H. von Hülst: Untersuchungen an Rodewerkzeugen für Zuckerrüben. Zucker **11** (1958) S. 154/56.
- [2] Heller, C.: Sichtbare Verluste in der Zuckerrübenenernte durch die Rodeorgane. Landtechn. Forsch. **10** (1960) H. 5.
- [3] Heller, C.: Sichtbare Verluste in der Zuckerrübenenernte. Landtechn. Forsch. **9** (1959) H. 2.
- [4] Hingst, K.: Untersuchung von Zuckerrüben-Rodescharen in einem Bodenkanal. Landtechn. Forsch. **12** (1962) H. 3.
- [5] Hülst, H. von, H. Göhlich und B. Söchting: Untersuchungen an Rodewerkzeugen für Zuckerrüben. Zucker **10** (1957) S. 535/38.
- [6] Evers, P.-N.: Aus den Arbeiten des Institutes für Landtechnik, Bonn. Veröffentlichung demnächst in Landtechn. Forsch.
- [7] Eggenmüller, A.: Schwingende Bodenbearbeitungswerkzeuge. Kinematik und Versuche mit einzelnen Modellwerkzeugen. Grundl. d. Landtechn. Heft 10. Düsseldorf 1958. S. 55/69.