

deren Größe ein Maß für die auf den Rübenkörper ausgeübten Kräfte ist. Im Umkehrbereich besitzt die Kurve nur zwei Meßpunkte, ist also mathematisch unbestimmt. Deshalb wurde eine konstante Beschleunigung während einer Zeit von mindestens $\frac{1}{14}$ s und höchstens $\frac{1}{10}$ s angenommen. Daraus läßt sich eine Beschleunigung von etwa 5,9 bis 8,2 m/s^2 errechnen. Dies entspricht der bei der Filmaufnahme gefahrenen Geschwindigkeit von 2,5 km/h. Wenn für die beim Rübenroden übliche Fahrgeschwindigkeit von 5 km/h der gleiche Bewegungsverlauf angenommen wird, dann errechnet sich die Beschleunigung zu etwa 23,6 bis 32,8 m/s^2 .

Bei der Berechnung der Kräfte muß berücksichtigt werden, daß die Filmaufnahmen an einem schwenkbar angeordneten Köpfer gemacht sind, dessen Aufbau schematisch in **Bild 24** dargestellt ist. Die Tastwalze, die mit der Fördereinrichtung starr verbunden ist, liegt mit etwa 100 kp auf dem Boden auf, wovon aber 80 kp über ein Hebelsystem durch eine Feder ausgeglichen werden. Das dynamische Ersatzgebilde besteht aus dem in **Bild 24** dargestellten Körper mit nach außen zunehmender Masse. Mit den aus den vertikalen Beschleunigungen errechneten Winkelbeschleunigungen lassen sich nach dem Prinzip von *d'Alembert* nach der Formel

$$P = \frac{\varepsilon \int r^2 dm}{l} + (100 - 80) \text{ kp}$$

die auf den Rübenkörper ausgeübten Kräfte errechnen, **Bild 25**. Die Erfahrung lehrt, daß die Vertikalkräfte, die bei einer Fahrgeschwindigkeit von 5 km/h zwischen 180 und 230 kp liegen können, von der Rübe hingenommen werden.

Die an der mit der Tastwalze im Übersetzungsverhältnis 1 : 1 verbundenen Vorgelegewelle auftretenden Drehmomente wurden elektronisch gemessen. Das in **Bild 26** auszugsweise wiedergegebene Oszillogramm zeigt eine Frequenz, die keinen Zusammenhang mit von außen kommenden Einflüssen erkennen läßt. Es handelt sich um Eigenschwingungen im Antriebssystem der Tastwalze. Das am häufigsten auftretende Spitzendrehmoment beträgt 25 kpm, was einer Umfangskraft an der Tastwalze von 100 kp gleichkommt. Wenn man diese gemessenen Werte mit den Vertikalkräften in **Bild 25** vergleicht, dann erkennt man eine ungefähre Übereinstimmung in der Größenordnung zwischen Vertikalkraft P und Umfangskraft U . Dabei ergibt sich ein Kraftschlußbeiwert zwischen Tastwalzenoberfläche und Rübenkopf von $\kappa = U/P \approx 0,5$, der der Größe nach eine grobe Bestätigung für die Richtigkeit der nach **Bild 23** und **25** gefundenen Werte ist.

Schrifttum

- [1] Heller, C.: Sichtbare Verluste in der Zuckerrübenerte. Landtechn. Forsch. **9** (1959) S. 44/49.
- [2] Heller, C.: Sichtbare Verluste in der Zuckerrübenerte durch die Rodeorgane. Landtechn. Forsch. **10** (1959) S. 117/21.
- [3] Hartfiel, W., und C. Heller: Verluste durch starkes Köpfen der Zuckerrüben. Landtechn. **14** (1959) S. 670/73.
- [4] Heller, C., und P.-N. Evers: Das Ernten von Zuckerrüben. Landtechn. **16** (1961) S. 145/51.
- [5] Schünke, U.: Schlepper-Triebradbauart und Zuckerrübenpflege. Landtechn. **14** (1959) S. 714/15.

Experimentelle Ermittlungen an Köpfmechanismen für Zuckerrüben

Von Konrad Riedel und Heinz Tischler, Halle/Saale

Wenn man die Köpfmechanismen für Zuckerrüben konstruktiv in Richtung einer besseren Köpfqualität weiterentwickeln will, so ist es zweckmäßig, zunächst einmal die Arbeitsqualität bekannter Konstruktionen experimentell möglichst genau zu fixieren. Für die hier mitgeteilten Versuchsergebnisse standen zwei industrielle Bauarten zur Verfügung, die konstruktiv erheblich voneinander abweichen.

Bei der einen Bauart in **Bild 1** handelt es sich um einen dreireihigen Köpfschlitten mit rotierenden, jedoch nicht angetriebenen Tastscheiben und schräg stehenden Messern. Die Tastscheiben haben über die Spitzen gemessen einen Durchmesser von 480 mm. In der Tastscheibenebene gemessen beträgt der horizontale Abstand zwischen Scheibenmitte und Messerschneide 70 mm (Messernacheilung). Die Messerschneide ist in einem Winkel von 138° gegen die Fahrtrichtung geneigt. Die Vertikalkraft an der Tastscheibe aus der Tastermasse (kein Federausgleich) beträgt 20 kp.

Diesem Köpfschlitten ist ein ebenfalls dreireihiger Köpfschwader nach **Bild 2** gegenübergestellt. Auf dem Umfang der angetriebenen Tastscheiben laufen Ketten, die das Rübenblatt

zu einem Querförderband transportieren. Die Spitzen der auf den Ketten sitzenden Finger beschreiben über den Tastscheiben einen Kreisbogen von 605 mm Durchmesser. Die Umfangsgeschwindigkeit der Fingerspitzen beträgt normalerweise das 1,15fache der Fahrgeschwindigkeit. Die Messer sind bei dieser Bauart in Fahrtrichtung konvex gekrümmt; der Krümmungsradius beträgt 170 mm. Der horizontale Abstand des vordersten Punktes der Messerschneide von der Tastscheibenmitte beträgt rund 65 mm; er schwankt geringfügig mit dem vertikalen Abstand zwischen

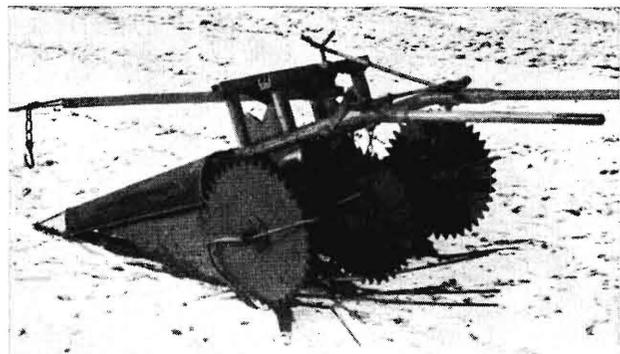


Bild 1. Dreireihiger Köpfschlitten.

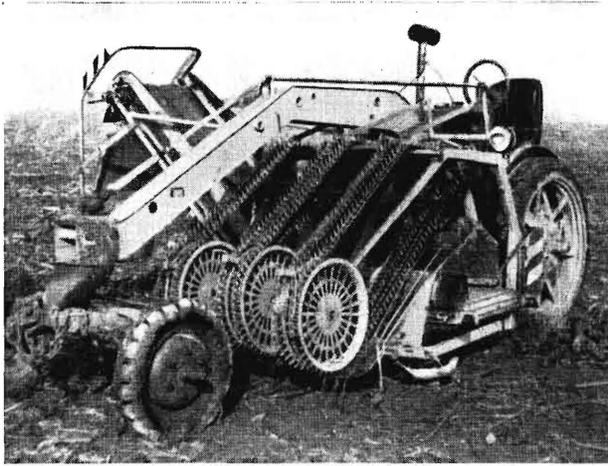


Bild 2. Dreireihige Köpfmaschine (Köpfswader).

Taster und Messer. Die Vertikalkraft am Taster als Differenz aus Tastergewicht und der Kraft des Federausgleiches ist veränderlich und betrug während der Untersuchungen 30 kp.

Bei der Untersuchung sollte insbesondere die Frage geklärt werden, inwieweit die effektive Höhe der bei den Versuchen gewonnenen Köpfabschnitte der Rüben mit dem vertikalen Abstand, der jeweils zwischen Taster und Messer eingestellt war, übereinstimmt. Der Köpfabschnitt stellt im Sinne des üblichen Sprachgebrauches den „Rübenkopf“ dar. Biologisch gesehen ist die Kopfhöhe ein bestimmtes morphologisches Merkmal jeder einzelnen Rübe; sie wird als vertikale Entfernung zwischen der untersten Blattanlage (Knospe) und dem Scheitel der Rübe gemessen. Der Scheitel der Rübe tritt dann in Erscheinung, wenn sämtliche Blattstiele von der Rübe entfernt sind.

Vor Beginn der eigentlichen Köpfversuche wurde zunächst die Häufigkeit der morphologischen Kopfhöhen auf dem Versuchsfeld ermittelt. Unter den herrschenden Witterungsbedingungen (Merbitz/Saalkreis 1957) streuten bei der untersuchten Rübensorte die Kopfhöhen in erheblichem Maße zwischen knapp 10 mm und über 60 mm, Bild 3. Etwa 60% sämtlicher Rüben weisen eine Kopfhöhe von weniger als 30 mm auf. Nebenbei bemerkt betrug die Entfernungen von Rübe zu Rübe in dem untersuchten Bestand zwischen 0 und 50 cm (im Mittel 17 cm), wobei gelegentlich auch Lücken von 80 cm und darüber auftraten.

In einem gleichen Bestand wurden sodann die Höhen der Köpfabschnitte nach dem Einsatz der Versuchsgeräte für eine Einstellung des vertikalen Abstandes zwischen Taster und Messer von 55 mm an jeweils rund 2000 Rüben ermittelt. Das Ergebnis für den Köpfschlitten zeigt Bild 4, das für den Köpf-

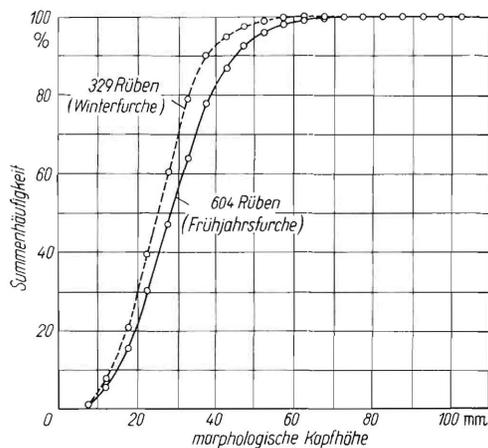


Bild 3. Häufigkeitsverteilung der morphologischen Kopfhöhen, d. i. die Höhe zwischen der untersten Blattanlage (Knospe) und dem Scheitel der Rübe.

schwader Bild 5. In den Diagrammen ist der Häufigkeitsverteilung der effektiven Höhe der Köpfabschnitte die Häufigkeitsverteilung der morphologischen Kopfhöhen gegenübergestellt. Würde die Höhe der Köpfabschnitte weitgehend mit dem vertikalen Abstand zwischen Taster und Messer übereinstimmen, dann wäre eine Häufigkeitsverteilung ähnlich der, wie sie in Bild 4 und 5 als gestrichelte Kurven angedeutet sind, zu erwarten. Da 60% aller (morphologischen) Kopfhöhen der Rüben kleiner als 30 mm sind, müßte sich bei der Einstellung von 55 mm zwischen Messer und Taster ein Überwiegen der zu großen Köpfabschnitte ergeben. Im Gegensatz dazu wird jedoch beim Köpfschlitten eine Häufung zu kleiner Köpfabschnitte festgestellt, Bild 4.

Ehe der Versuch unternommen wird, die Ursachen für die Diskrepanz zwischen erwarteter und ermittelter Köpfhöhe, die für Köpfschlitten und Köpfmaschine gewisse Unterschiede aufweisen, auszudeuten, sei auf die Zusammenhänge zwischen den effektiven Köpfabschnitten und den morphologischen Kopfhöhen eingegangen. Bei einem optimal arbeitenden Köpf-

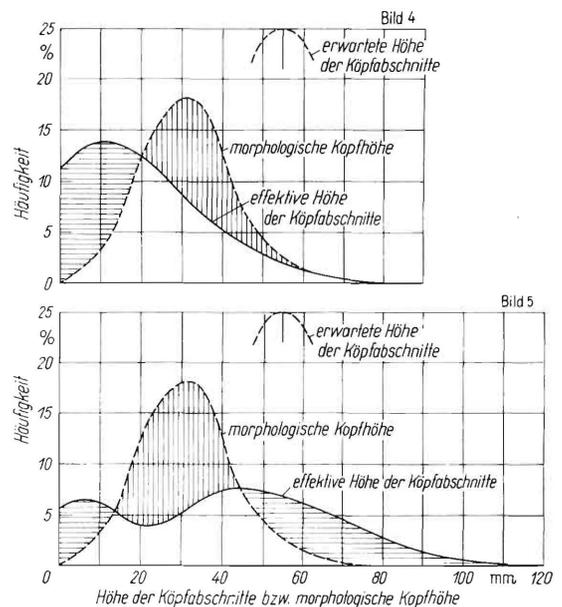


Bild 4 und 5. Häufigkeit der effektiven Höhe der Köpfabschnitte bei Köpfschlitten und Köpfmaschine im Vergleich zu der bei dem eingestellten vertikalen Abstand von 55 mm zwischen Taster und Messer erwarteten Häufigkeit sowie im Vergleich zu der morphologischen Kopfhöhe der geernteten Rüben.

mechanismus müßte sich die Häufigkeitskurve der Höhen der Köpfabschnitte mit derjenigen der morphologischen Kopfhöhen decken. Diese Forderung wird jedoch kaum zu verwirklichen sein. Aber selbst bei gegebener Kongruenz der Kurven können durch wechselseitigen Ausgleich von Rüben kleiner Kopfhöhen mit zu großem Köpfabschnitt mit Rüben mit großem morphologischem Kopf und zu flachem Köpfabschnitt optimale Verhältnisse vorgetauscht werden.

Wenn für einen bis auf den letzten Einwand als optimal anzusehenden Köpfmechanismus (optimal hinsichtlich der Köpfqualität, nicht landtechnisch schlechthin) eine Deckung der Häufigkeitskurven zu fordern ist, so liegt es nahe, die „Nichtdeckung“ als Maß für die Qualität heranzuziehen. Ein solches Maß wäre beispielsweise das Verhältnis des von einer Häufigkeitskurve umschlossenen Flächeninhaltes, vermindert um den Inhalt der schraffierten Fläche, zum gesamten Flächeninhalt der Häufigkeitskurve. Die senkrecht und die waagrecht schraffierten Flächen müssen entsprechend dem Aufbau der Kurven inhaltsgleich sein. Das Optimum läge bei 1, wobei man sich diesem Wert von Null her nähert.

Obwohl gleichartige Untersuchungen bei 11 verschiedenen Tastereinstellungen am Schlitten und bei 5 verschiedenen Einstellungen an der Köpfmaschine durchgeführt wurden, haben

sich für die Häufigkeitsverteilung der Köpfabschnittshöhen innerhalb des einzelnen Köpfmechanismus keine erheblichen Unterschiede ergeben. Wendet man das soeben abgeleitete Qualitätsmaß an, so ergeben sich folgende Werte:

	vertikaler Abstand zwischen Tastwalze und Messer mm	Köpfqualität
Köpfschlitten	30	0,48
	55	0,62
	70	0,75 (optimal)
Köpfmaschine	30	0,70 (optimal)
	55	0,52

Die landwirtschaftliche Praxis richtet ihr Urteil allerdings mehr nach der Häufigkeit, mit der Köpfabschnitte mit der Höhe Null, d. h. ungeköpfte Rüben, zu beobachten sind. Sie neigt dazu, das Köpfergebnis der Köpfmaschine (Bild 5) dem des Köpfschlittens (Bild 4) vorzuziehen, zumal Verluste durch „zu große Köpfabchnitte“ lediglich gegenüber der Lieferung an die Zuckerfabrik, in Erscheinung treten, aber Gewinn gegenüber der Lieferung an den Futterstock darstellen.

Die Gründe für die erheblichen Abweichungen zwischen der Höhe der Köpfabchnitte und dem eingestellten Abstand zwischen Taster und Messer können zu einem Teil ihre Erklärung in den Zusammenhängen finden, die *Albrecht* [2] aufgezeigt hat. Eine erhebliche Rolle spielt der Umstand, daß der Taster durch recht unterschiedliche Polster von Rübenblatt und namentlich von Blattstielen an der Berührung mit dem Rübenkopf verhindert wird. Ferner stehen die Rüben durchaus nicht alle in einer Geraden; sie weichen vielmehr bis zu 10 cm nach beiden Seiten von einer geraden oder auch leicht gekrümmten Drillreihe ab, so daß die für Tastscheibenmittelebene geltenden Taster-Messer-Abstände nicht mehr wirksam werden. Bei dem Köpfschwader war zudem der eingestellte Abstand nicht

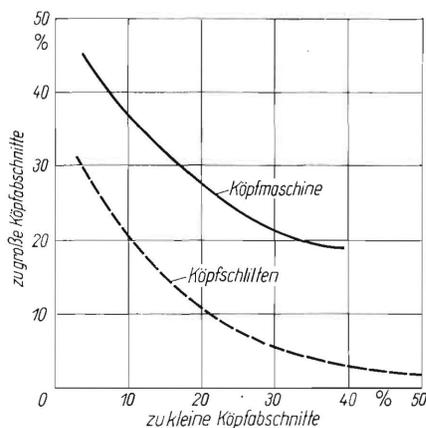


Bild 6. Korrelation der beiden Köpffehler „zu klein“ und „zu groß“ bei verschiedenen Taster-Messer-Einstellungen.

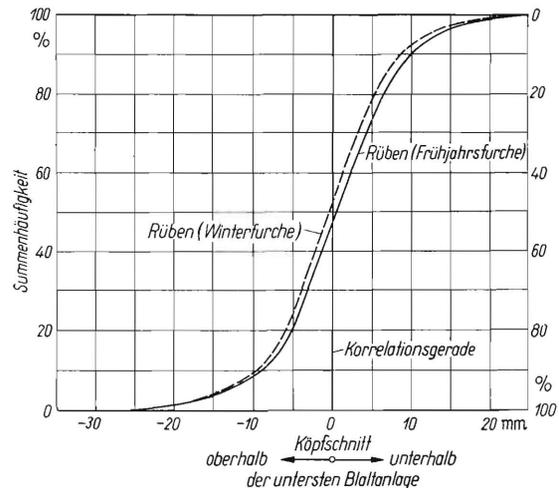


Bild 7. Größe und Häufigkeit der Streuung für die Korrelation zwischen Köpfhöhe und Scheitelhöhe der Rüben.

völlig starr fixiert. Vertikalkräfte von 25 kp zwischen Messer und Taster führten bei einer Überprüfung im Labor zu einer elastischen Aufweitung des Abstandes von 55 auf 64 mm.

Bild 6 zeigt für die beiden Köpfmechanismen die Zusammenhänge zwischen den „zu großen“ und den „zu kleinen“ Köpfabchnitten bei verschiedenen Tastereinstellungen, wobei die beiden Kurven die varianz-analytisch aus dem großen Streubereich der Beobachtungswerte gewonnenen Mittelwerte wiedergeben. Als zu groß und zu klein galt dabei alles, was um mehr als ± 5 mm von der idealen Lage des Köpfabchnittes abgewichen war. Als idealer Köpfschnitt galt dabei die Schnittführung durch die unterste Blattanlage hindurch. Über die Lage dieses idealen Köpfschnittes besteht bei der Zuckerindustrie in den verschiedenen Ländern Übereinstimmung, nicht jedoch bezüglich der Toleranz, die mit ± 5 mm als recht eng anzusehen ist.

Eine objektive Begründung für eine bestimmte Toleranz ist allerdings kaum zu geben. Was *Zödler* im Jahre 1935 [3] an kleinem Material erkennen konnte, daß nämlich Korrelationen zwischen der morphologischen Köpfhöhe und der Scheitelhöhe über Boden bestehen, hat sich an umfangreichem Material bestätigt. Ein idealer Köpfmechanismus müßte daher den vertikalen Abstand zwischen Taster und Messer automatisch der Scheitelhöhe der jeweils abgetasteten Rübe anpassen, wie dies bereits von *Olsson* 1902 [4] und seither von vielen Nachahmern angestrebt worden ist. Selbst aber in einem solchen Falle bewirkt die Streubreite innerhalb dieser Korrelation — sie ist der Größe und Häufigkeit nach **Bild 7** zu entnehmen —, daß bei ± 5 mm Toleranz etwa 25% zu große und etwa 22% zu kleine Köpfabchnitte anfallen. Eine Erweiterung der Toleranz auf ± 10 mm läßt den Anteil der zu kleinen wie auch der zu großen Köpfabchnitte auf je 8 bis 10% etwa absinken. Möglicherweise werden sich innerhalb dieses biologisch bedingten Fehlerbereiches zugleich auch die Köpffehler halten lassen, die auf technische Ursachen zurückzuführen sind.

Schrifttum

- [1] *Tischler, H.*: Beiträge zur Technologie der maschinellen Ernte von Zuckerrüben. Diss. Univ. Halle/S. 1961.
- [2] *Albrecht, H. E.*: Beitrag zur konstruktiven Auslegung von Rübenköpfelementen (In diesem Heft).
- [3] *Zödler, Hans*: Rübenköpfmechanismen. Schriften der MEG Heft 2. Berlin 1935.
- [4] *Olsson, A. J.*: Köpfvorrichtung für Rübenerntemaschinen mit einem über den Kopf der Rübe hinstreichenden Führungsbügel. DRP 151023 vom 27. 4. 1902.