

Maschineneinstellung und Verbesserung der Köpfqualität der Zuckerrübenköpflader 6-OŘCS/SC 1-03 und SC 1-04

Dr.-Ing. Annemarie Olbrich, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion
Prof. Dr. sc. techn. P. Jakob, KDT, Humboldt-Universität Berlin, Sektion Nahrungsgüterwirtschaft und Lebensmitteltechnologie

Verwendete Formelzeichen

a_T	m/s ²	Tasterabwärtsbeschleunigung
D_3	mm	Rübindurchmesser in der idealen Köpfschnittebene
D_4	mm	maximaler Rübindurchmesser
d_k	mm	Köpfdicke
F_T	kN	Tastkraft
H_1	mm	Blatthöhe über dem Rübenscheitel
H_2	mm	Blattansatzhöhe
H_3	mm	geforderte Köpfschnitthöhe
H_4	mm	Scheitelhöhe der Rübe
ΔH_4	mm	Scheitelhöhendifferenz aufeinanderfolgender Rüben
H_K	mm	Kopfhöhe der Rübe
h_s	mm	tatsächliche Köpfschnitthöhe
L_f	mm	Rübenfreibstand
L_p	mm	minimaler Reaktionsweg
l_M	mm	Messerhalterlänge
l_{M_2}	mm	Horizontalprojektion des Leitstabes
L_R	mm	Rübenabstand
n_p	Pflanzen/ha	Bestandsdichte
R	mm	Leitstabbrümmungsradius
s_M	mm	Köpfmessernachlauf
t	s	verfügbare Reaktionszeit
v_f	m/s	Fahrtgeschwindigkeit
v_U	m/s	Tastradumfangsgeschwindigkeit

α_M	°	Messerneigungswinkel
ω	s ⁻¹	Winkelgeschwindigkeit des Tastrades
φ	°	Neigungswinkel des Tastradhalters zur Horizontalen
$\Delta\varphi$	°	Differenzbetrag des Neigungswinkels φ

1. Problem- und Zielstellung

Beim Einsatz moderner Rübenköpfeinrichtungen ist sowohl in der DDR als auch international der Anteil der Fehlköpfungen mit Werten zwischen 20 % und 30 % bis teilweise über 50 % außerordentlich hoch. Die agrotechnischen Forderungen (ATF) in der DDR lassen zur Sicherung des steigenden Zucker- und Futterbedarfs aus eigenem Aufkommen maximal 5 % zu hoch bzw. zu tief geköpfte Rüben zu.

Die Frage nach den Verlustursachen und nach Möglichkeiten der Verbesserung der Köpfqualität konnte bisher nicht zufriedenstellend geklärt werden, weil einerseits die technischen Möglichkeiten der verwendeten Köpfeinrichtungen nicht genügend bekannt sind und andererseits vorliegende Anforderungen an Köpfmechanismen keine ausrei-

chende Grundlage für die Einschätzung der mit diesen Einrichtungen erreichbaren Köpfqualität bieten. Bei der Erarbeitung grundlegender theoretischer Voraussetzungen zur Klärung des Zusammenhangs zwischen der Wahl der Betriebsparameter und der Arbeitsqualität beim Rübenköpfen ergeben sich folgende Teilaufgaben:

- Ableitung präzisierter Anforderungen an die Einstellbarkeit von Köpfeinrichtungen aus möglichst umfangreichen Kennwertuntersuchungen in Zuckerrübenbeständen der DDR
- Vergleich der Anforderungen mit den durch eine getriebetechnische Analyse [1, 2] ermittelten technischen Möglichkeiten der verwendeten Köpfeinrichtungen einschließlich der Ableitung von Schlußfolgerungen zum Zusammenhang von Betriebsparameterwahl und Köpfqualität.

2. Ableitung präzisierter Anforderungen an Rübenköpfmechanismen

Erforderliche Kennwertuntersuchungen wurden in den Jahren 1981 bis 1984 in 7 Bezirken der DDR auf 25 Standorten an insgesamt 2600 Rüben vorgenommen. Erfasst wurden u. a. die Scheitelhöhe und die Blattansatzhöhe als Grundlage für die Erarbeitung von Anforderungen an die tatsächliche Köpfschnitthöhe und die Köpfdicke, der Rübindurchmesser in der idealen Köpfschnittebene für Anforderungen an den Köpfmessernachlauf, der Rübenfreibstand und die Scheitelhöhendifferenz aufeinanderfolgender Rüben für Anforderungen an das Reaktionsvermögen von Rübenköpfeinrichtungen (Bilder 1 und 2).

Tafel 1. Ergebnisse der Analyse von Zuckerrübenkennwerten aus Untersuchungen in den Jahren 1981 bis 1984

Kenngröße	Variationsbreite mm	Mittelwert/Vertrauensbereich mm	Standardabweichung mm
H_4	0...150	54,3 ± 1,0	25,7
H_2	0...120	35,1 ± 0,9	23,3
H_K	0...90	29,3 ± 0,4	9,4
D_3	30...160	76,5 ± 1,1	29,0

$$H_2 = 0,841 H_4 - 10,63, r = 0,93$$

$$H_K = 0,159 H_4 - 20,63, r = 0,62$$

$$D_3 = 0,615 H_4 - 43,08, r = 0,55$$

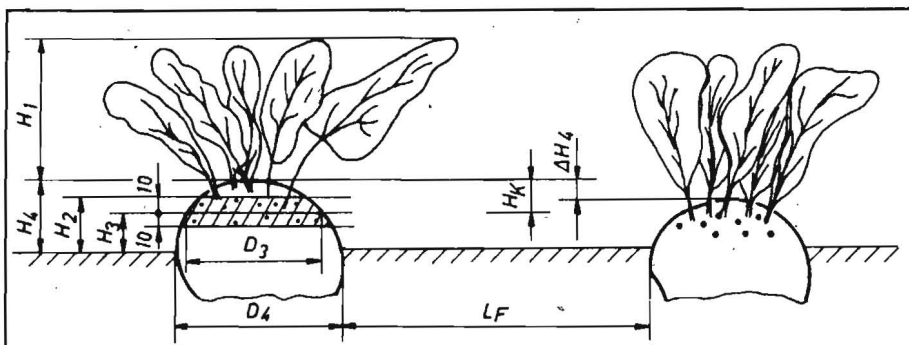
Tafel 2. Erforderliche Kennwertbereiche und Parameterzunahmen

Kenngröße	Wertebereich mm	Mittelwertbereich mm	Parameterzunahmen ¹⁾ mm
Köpfschnitthöhe	0...70	0...50	5,5...9,5
Köpfdicke	0...50	30...50	0,5...4,5
Köpfmessernachlauf ($\alpha = 48^\circ$)	20...100	30...50	0...9

1) je 10 mm Scheitelhöhendifferenz

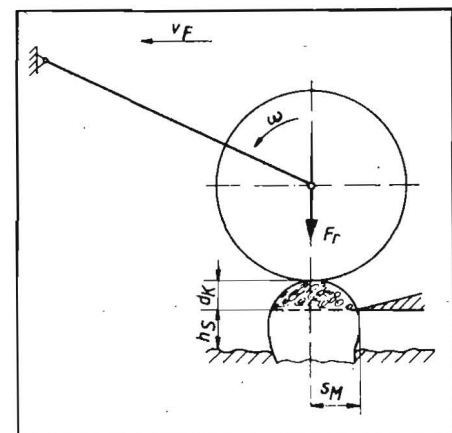
Bild 2. Betriebsparameter der Köpfeinrichtung

Bild 1. Kenngrößen der Zuckerrübe (Stoffparameter); Bereich standardgerechten Köpfschnitts schraffiert



Tafel 3. Erforderliche Tasterabwärtsbeschleunigung in Abhängigkeit von zu überwindender Scheitelhöhendifferenz

Scheitelhöhendifferenz mm	Tasterabwärtsbeschleunigung m/s ²
20	6,25...11,2
40	12,50...22,2
60	18,75...33,3



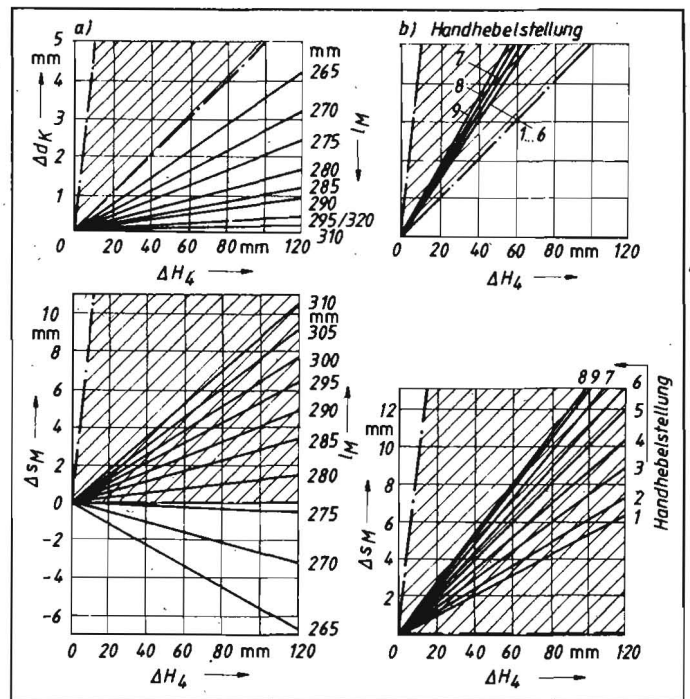
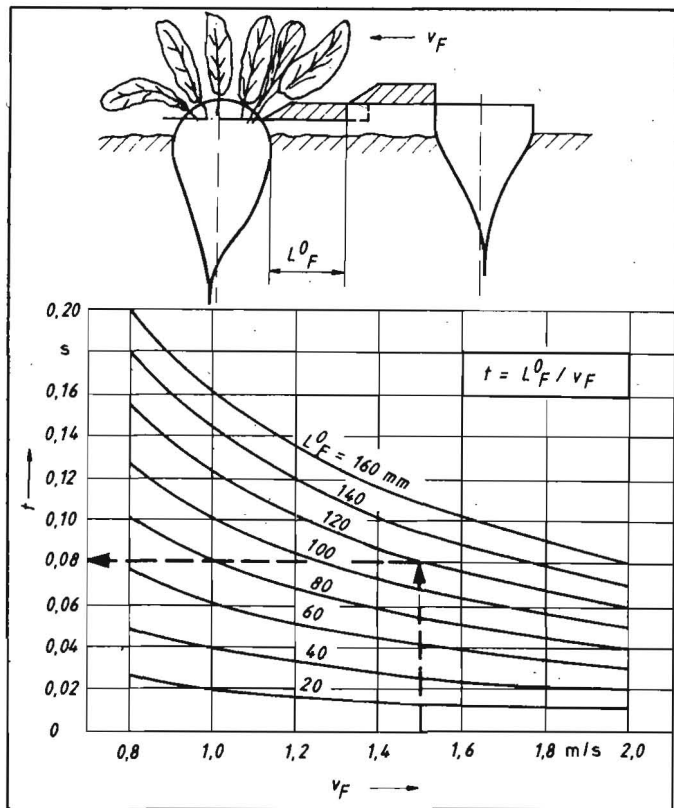


Bild 6. Vergleich der Veränderungen von Köpfdicke und Köpfmessernachlauf mit den Anforderungen
a) 6-OÖCS, b) SC-1-04

◀ Bild 3. Verfügbare Reaktionszeit

Die statistische Aufbereitung der Daten [3] ergab u. a. die in Tafel 1 zusammengestellten Ergebnisse als Grundlage für die Erarbeitung nachfolgender präzisierter Anforderungen an Konstruktion und Einstellung von Rübenköpfeinrichtungen:

- zu berücksichtigende Kennwertbereiche
- erforderliche Parameterzunahmen der

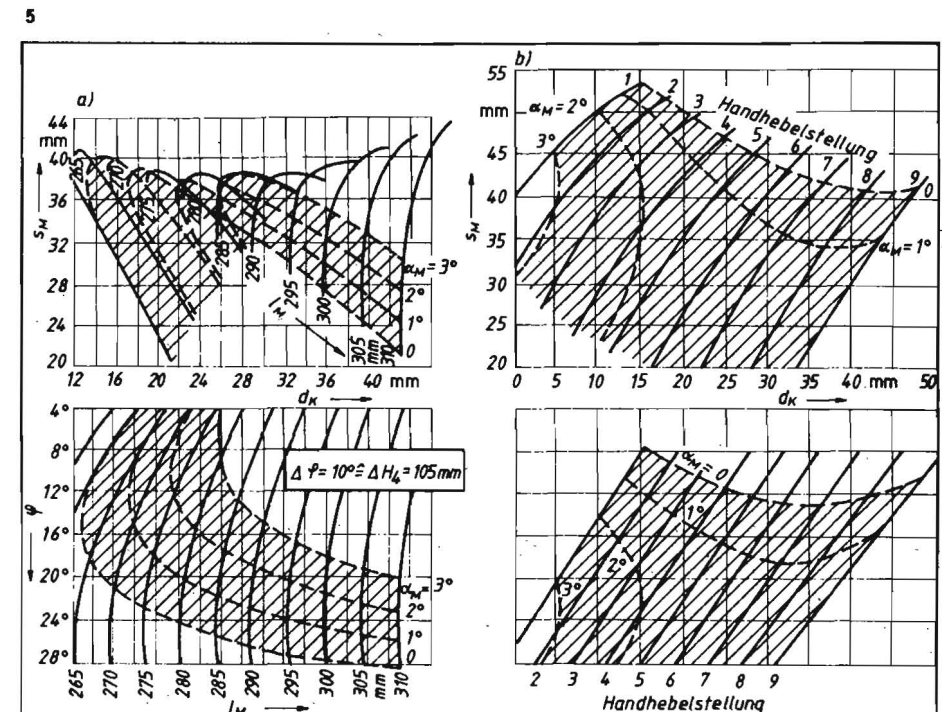
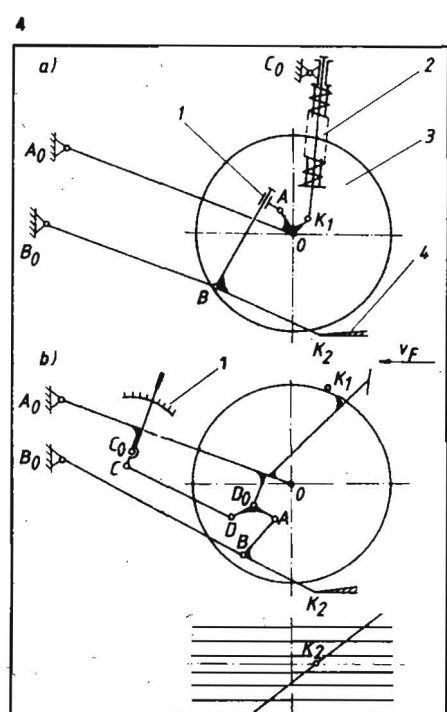
Köpfschnitthöhe, der Köpfdicke und des Köpfmessernachlaufs in Abhängigkeit von der Scheitelhöhenzunahme

- erforderliche Reaktionszeiten zur Überwindung des Rübenfreibands bei gegebener Scheitelhöhendifferenz und geforderter Fahrgeschwindigkeit, daraus abgeleitet die erforderliche Abwärtsbeschleunigung der Köpfeinheit.

legen, die jedoch mindestens 95% aller vorkommenden Rübenkennwerte umfassen sollten. In Tafel 2 sind die aus entsprechend eingegrenzten Kennwertbereichen abgeleiteten erforderlichen Wertebereiche für Köpfschnitthöhe, Köpfdicke und Köpfmessernachlauf ebenso erfaßt, wie die aus Regressionsanalysen ermittelten erforderlichen Parameterzunahmen. Das Bild 3 verdeutlicht die in Abhängigkeit von Reaktionsweg und Fahrgeschwindigkeit verfügbaren Reaktionszeiten, und Tafel 3 gibt die bei einer Bestandsdichte von 80000 Pflanzen/ha mit einem mittleren Durchmesser von 80 mm bei Fahrgeschwindigkeiten von 1,5 bis 2 m/s zu realisierenden Tasterabwärtsbeschleunigungen an.

Bild 4. Prinzipdarstellung der Köpfeinrichtungen; 1 Köpfdickeneinstellung, 2 Tastkrafteinrichtung, 3 Tastrad, 4 Köpfmesser
a) 6-OÖCS, b) SC-1-04

Bild 5. Optimale Arbeitsbereiche der Köpfeinrichtungen
a) 6-OÖCS, b) SC-1-04



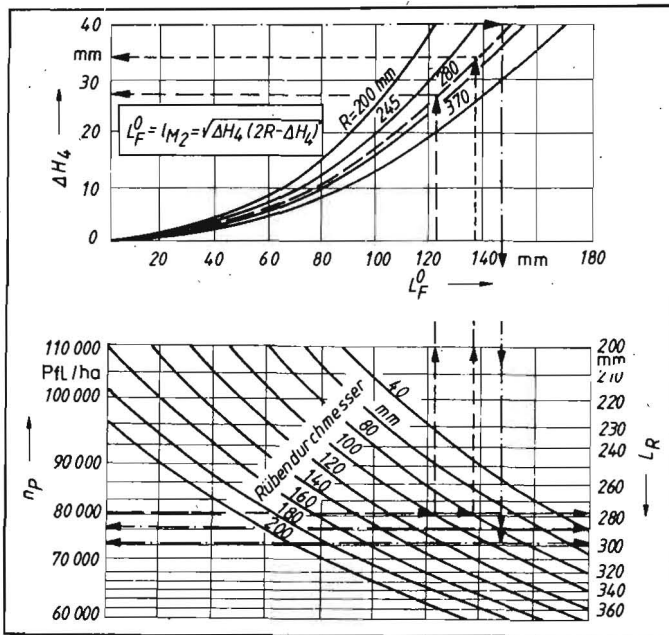
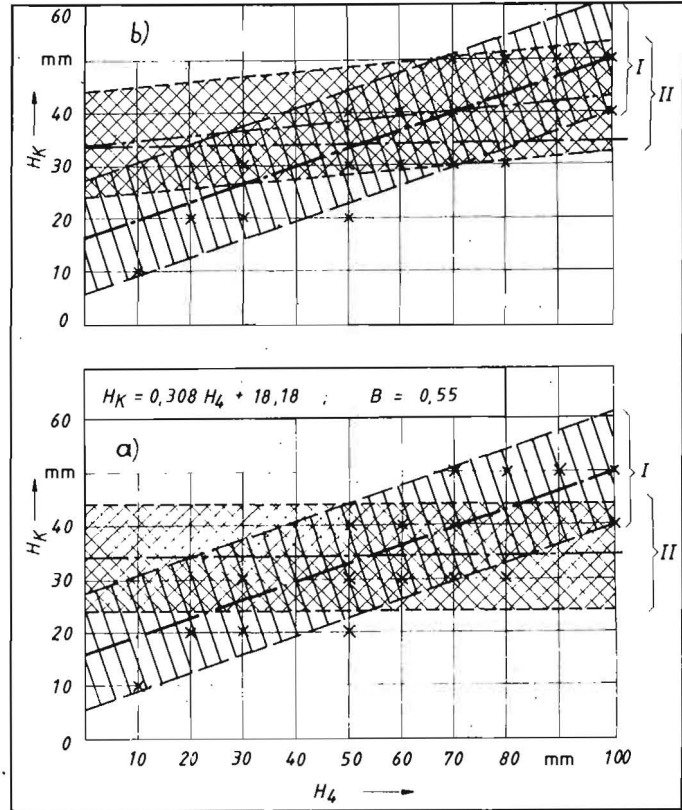


Bild 7. Anforderungen der Leitstabgeometrie an die Bestandskennwerte

Bild 8. Anforderungen des Bestands an die Köpfdickeneinstellung und ihre Realisierung; I Anforderungsbereich, II realisierter Bereich bei Mittelwerteneinstellung

a) 6-ÖRCS, b) SC 1-04



3. Vergleich der getriebetechnischen Möglichkeiten der Köpfeinrichtungen mit den Anforderungen

Beide untersuchten Köpfeinrichtungen der Zuckerrübenköpflader 6-ÖRCS und SC1-04 aus der ČSSR sind Koppelgetriebe der Viergelenkkette (Bild 4), die auf der Basis einer Voreinstellung der Betriebsparameter deren selbsttätige Anpassung an den Bestand bei möglichst konstantem Köpfmesserneigungswinkel zur Bodenebene gewährleisten sollen. Die Darstellung der Köpfdicke in Abhängigkeit vom Neigungswinkel des Tastradhalters und des nicht separat einstellbaren Köpfmessernachlaufs in Abhängigkeit von der Köpfdicke, ergänzt durch Linien gleichen Köpfmesserneigungswinkels im von Karwowski [4] ermittelten zulässigen Bereich von 0 bis 3°, läßt die optimalen Einstellbereiche beider Köpfeinrichtungen erkennen (Bild 5). Der Köpflader SC1-04 zeigt deutlich einen erweiterten Bereich erwünschten geringen Messerneigungswinkels.

Mit Köpfdicken von 14 bis 45 mm am 6-ÖRCS bzw. 5 bis 45 mm am SC1-04 sowie mit Messernachlaufwerten von 20 bis 40 mm bzw. bis über 50 mm entsprechen beide Mechanismen annähernd den Anforderungen, wobei am 6-ÖRCS die Abnahme des Bereichs mit optimalem Messerneigungswinkel mit zunehmender Köpfdicke in Beständen mit größeren Scheitelhöhendifferenzen eine Verschlechterung der Köpfqualität nach sich zieht.

Am Verlauf der Linien mit gleicher Messerhalterlänge bzw. Hebelstellung sind die Parameterzunahmen von Köpfdicke und Messernachlauf mit abnehmendem Neigungswinkel des Tastradhalters – also mit zunehmender Scheitelhöhe – zu erkennen. Ein Vergleich der Parameterzunahmen mit den erarbeiteten Anforderungen (Bild 6) verdeutlicht die Anpassungsmöglichkeiten an den Bestand: – Die selbsttätige Köpfdickenänderung am

6-ÖRCS liegt unterhalb des Anforderungsbereichs und ist damit so gering, daß praktisch nur Mittelwertköpfung realisiert wird. Der Messernachlauf zeigt im Bereich von Köpfdicken unter 25 mm negative Steigung, d. h., er nimmt mit zunehmender Scheitelhöhe ab.

– Der SC1-04 garantiert dagegen in allen Hebelstellungen eine fast übereinstimmende Köpfdickenzunahme von 0,8 mm je 10 mm Scheitelhöhenzunahme und eine kontinuierliche Zunahme der Messernachlaufsteigung mit der Köpfdicke von 0,5 bis 1,3 mm je 10 mm Scheitelhöhenzunahme.

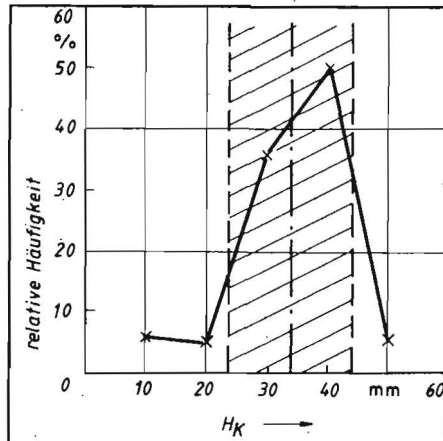
Damit sind mit dem SC1-04 deutlich günstigere geometrische Anpassungsmöglichkeiten an den Bestand gegeben.

Das Reaktionsvermögen der Köpfeinrichtung genügt bei Vernachlässigung des Leitstabeinflusses bei gleichmäßigen Bestandsbedingungen von 80 000 Pflanzen/ha mit

einem mittleren Rübendurchmesser von 80 mm für Scheitelhöhendifferenzen bis 40 mm den Anforderungen bei Fahrgeschwindigkeiten bis max. 1,6 m/s. Zunehmende Scheitelhöhendifferenz, zunehmende Köpfdicke bzw. Messerhalterlänge und abnehmende Federvorspannung bzw. Tastkraft bewirken eine Verlängerung der Reaktionszeit und erfordern eine entsprechende Verringerung der Fahrgeschwindigkeit. Gleiche Auswirkungen hat auch die Verringerung des Rübendurchmessers durch größere Bestandsdichte und/oder größeren Rübendurchmesser.

Die Verwendung von Leitstäben bzw. die gegenwärtige Leitstabgeometrie lassen jedoch in ungleichmäßigen bzw. zu dichten Beständen ein dem Reaktionsvermögen der Köpfeinrichtung entsprechendes Absinken des Tasters nach beendetem Köpfschnitt nicht zu. Bei 40 mm Scheitelhöhendifferenz ist in Abhängigkeit von der Leitstabkrümmung für Rübendurchmesser von 80 bis 100 mm ein Rübendurchmesserabstand von 280 bis 310 mm erforderlich und damit die Bestandsdichte auf 70 000 bis 80 000 Pflanzen/ha begrenzt (Bild 7).

Bild 9. Relative Häufigkeit der Köpfhöhen mit Streubereich ± 10 mm (Beispiel)



4. Schlussfolgerungen zur Köpfqualität

Bei beiden Köpfeinrichtungen ist der Anteil zu tief geköpfter Rüben und damit der Rübemasseverlust in den meisten Beständen wegen der großen Streuung der Köpfhöhenwerte nur durch Köpfdickenvoreinstellung unter dem Mittelwert des Bestands in den zulässigen Grenzen zu halten (Bilder 8 und 9). Der Anteil zu hoch geköpfter Rüben steigt damit umgekehrt proportional mit der selbsttätigen Köpfdickenanpassung an den Bestand.

Der hohe Anteil geringer Rübendurchmesser in ungleichmäßigen Beständen erfordert wegen der entsprechenden Verkürzung der verfügbaren Reaktionszeiten – vor allem bei

größeren Scheitelhöhendifferenzen – ein Herabsetzen der Fahrgeschwindigkeit auf 1 bis 1,2 m/s, um ein Ansteigen des Anteils zu hoch geköpfter Rüben zu vermeiden (mit allen Konsequenzen für den Maschinenbesatz).

Entscheidenden Einfluß auf die Köpfqualität hat die gegenwärtige Leitstabgeometrie:

- zu tiefes Köpfen – bei richtiger Köpfdickenvoreinstellung – erfolgt nur bei entsprechend großen Rübenfreiabständen mit nachfolgend hoher Rube
- hoher Anteil zu flach geköpfter Rüben entspricht der Häufigkeit kleiner Rübenfreiabstände, die bei Verwendung von Leitstäben ein Absinken der Köpfeinheit um die gegebene Scheitelhöhendifferenz im geforderten Toleranzbereich nicht zulassen.

5. Zusammenfassung

Fehlköpfungen beim Einsatz der untersuchten Köpfeinrichtungen ergeben sich vorrangig aus den Einsatzgrenzen der verwendeten mechanischen Wirkprinzipie in ungleichmäßigen Beständen, vor allem aus der gegenwärtigen Leitstabgeometrie. Bei beiden Köpfeinrichtungen kann ihr Anteil durch sorgfältige Wahl der Betriebsparameter auf ein der Konstruktion und der Variabilität der Bestandsbedingungen entsprechendes Minimum reduziert werden. Die geforderte Ertragssteigerung bei Zuckerrüben durch größere Bestandsdichte bei gleichzeitiger Erhöhung der Köpfqualität ist jedoch nur durch eine durchgreifende Verbesserung der Bestandsgleichmäßigkeit oder durch Verwendung neuer Wirkprinzipie zu erzielen.

Literatur

- [1] Olbrich, A.: Beitrag zur Maschineneinstellung am Beispiel der Köpfeinrichtungen der Zuckerrübenköpflader 6-ORCS/SC1-03 und SC1-04. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion, Dissertation 1986.
- [2] Olbrich, A.: Getriebetechnische Analyse eines Viergelenk-Koppelgetriebes am Beispiel der Köpfeinrichtungen der Zuckerrübenköpflader 6-ORCS/SC1-03 und SC1-04. Wissenschaftliche Beiträge der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, 6 (1987) 4.
- [3] Olbrich, A.: Versuchsprotokolle und Analyseergebnisse aus Kennwertuntersuchungen in Zuckerrübenbeständen der DDR in den Jahren 1981–1984. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion.
- [4] Karwowski, T.: Hackfruchterntemaschinen. Lehrbuch der Reihe Landmaschinentechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1974. A 5040

Reinigungsintensitätsregelung an Zuckerrübenerntemaschinen

Dipl.-Agr.-Ing. S. Hofmann/Dipl.-Ing. S. Lungwitz, KDT/Dr.-Ing. C. Leitholdt, KDT
Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Bodenbearbeitungsgeräte „Karl Marx“ Leipzig

1. Problemstellung

Die Entwicklung der Zuckerrübenproduktion in der DDR ist gegenwärtig u. a. durch die Orientierung auf handarbeitsarme Verfahren bei Gewährleistung optimaler Wachstumsbedingungen sowie eine verlustarme Ernte bei geringsten Beschädigungen gekennzeichnet. Die in der Praxis ermittelten Qualitätsparameter z. B. für Rübenverluste, Beschädigungen und Beimengungsanteile sind besonders unter schweren Erntebedingungen unbefriedigend. Als neue agrotechnische Forderungen (ATF) der Landwirtschaft sind für Rübenverluste $\leq 3\%$, Beimengungen $\leq 8\%$ und starke Beschädigungen $\leq 8\%$ vorgesehen. Eine Realisierung dieser Forderungen muß im Komplex betrachtet werden. So haben neben den Maßnahmen der Züchtung geeigneten Saatgutes landwirtschaftliche und agrotechnische Maßnahmen, die entsprechende Erntetechnologie sowie besonders die Entwicklung der Erntetechnik mit Automatisierungseinrichtungen wesentlichen Einfluß. Mit Hilfe einer Reinigungsintensitätsregelung können der Besatz sowie die Beschädigungsanteile der Zuckerrüben erheblich reduziert werden, woraus eine Senkung der Verluste resultiert. Durch Senkung des Besatzes kommt es zur Entlastung der Transportkapazität und damit zur Energieeinsparung im landwirtschaftlichen Verfahren selbst. Weiterhin verbessert sich die Verfügbarkeit der Erntemaschine, da eine Überlastung und Verstopfung der Förderbaugruppe unterbunden wird. Damit vergrößert sich gleichzeitig die Flächenleistung der Erntemaschine. Aufgrund des hohen Beimengungsanteils muß in den Zuckerfabriken bzw. am Einlagerungsort gegenwärtig noch ein großer Teil der angelieferten Rüben mit hohem energetischen Aufwand gesäubert und der anfallende Besatz abtransportiert werden, der der Landwirtschaft überwiegend verlorengeht. Entsprechend den o. g. Forderungen bestand die Aufgabe, eine Beeinflussung der Rübenreinigungsorgane unabhängig von der Arbeitsgeschwindigkeit durch automatisches Einstellen ihrer Reinigungsintensität in Abhängigkeit von der Rübenverschmutzung

vorzunehmen. Dabei sind die zulässigen Beschädigungen entsprechend den ATF einzuhalten. Bei Ausschöpfung des Regelbereichs ist weiterhin eine notwendige Veränderung der Fahrgeschwindigkeit der Erntemaschine dem Mechanisator zu signalisieren. Grundlage der durchzuführenden Untersuchungen waren folgende technische Parameter einer sechsreihigen Rübenerntemaschine:

- Arbeitsgeschwindigkeit 3 bis 9 km/h
- Geschwindigkeit der Fördereinrichtung 1,2 m/s
- Durchsatz bis maximal 45 kg/s.

2. Analyse bekannter Reinigungsorgane

Untersuchungen in [1] zu Einflußgrößen auf die Reinigung der Rüben von Beimengungen ergaben, daß die Bodenart, der Bodenzustand zum Zeitpunkt der Ernte, die Art der Rodewerkzeuge, die Arbeitstiefe sowie die Arbeitsgeschwindigkeit, besonders aber die Reinigungsorgane, Einfluß haben. Von den im Bild 1 dargestellten Reinigungs-

organen wird die *Siebketten* am häufigsten verwendet. Das resultiert aus ihrer relativen Unempfindlichkeit gegen Steine und Verstopfungen, der guten Absiebbarkeit sowie aus der Einsetzbarkeit unter verschiedenen Erntebedingungen. Um die Beschädigungen der Zuckerrüben zu reduzieren, können die Siebstäbe mit Gummi oder Plast ummantelt werden. Die *Siebtrommel* hat häufig die Form eines Zylinders. Ihre Mantelfläche besteht aus axialen und/oder radialen Siebstäben. Auf feuchten, lehmigen und tonigen Böden ist sie weniger geeignet, da es zur „Kloßbildung“ kommen kann. Die Siebtrommel neigt leicht zum Verstopfen durch Krautreste. *Siebwalzen* können längs und quer zur Drehrichtung fördern. Auf adhäsiven Böden kann eine Minderung der Teilchengröße erzielt werden. Wegen ihres begrenzten freien Siebdurchgangs haben die Siebwalzen eine geringe Siebwirkung und kommen deshalb oft als zweite Reinigungseinrichtung in Zuckerrübenerntemaschinen zum Einsatz. Sind jedoch Wendeln auf den Siebwalzen aufgebracht, erfolgen eine intensivere Abscheidung von Hafterde und ein teilweises Abschlagen von Krautresten. Bei zu hohen Wendeln und geringem Erddruck kann es jedoch zu Beschädigungen der Rüben und damit zu Verlusten kommen. Das *Siebrad* scheidet unter mittleren bis leichten Bedingungen die Beimengungen gut ab. Die in den derzeitigen Maschinen eingesetzten Siebräder lassen sich meist in der Drehzahl stufen einstellen, so daß eine Anpassung an den Durchsatz bzw. Beimengungsanteil erfolgen kann. An den Leitstäben des Siebrades können bei zu hoher Umfangsgeschwindigkeit die Wurzelspitzen abbrechen. Mit dem *Schwingsieb* kann eine hohe Absiebbarkeit erzielt werden. Der Antrieb ist allerdings konstruktiv aufwendig. Oft sind die Schwingsiebe mit den Rodeorganen direkt verbunden. Gegenwärtig werden sie kaum verwendet.

Entsprechend der Aufgabenstellung erscheint das Siebrad am geeignetsten für eine Beeinflussung der Intensität der Reinigung.

Bild 1. Reinigungsorgane für Rübenerntemaschinen;
a Siebkette, b Siebtrommel, c Siebwalzen,
d Schneckenwalzen, e Siebrad,
f Schwingsieb

