

Zum Zerkleinern von Hackfrüchten durch Schneiden¹⁾

Dr.-Ing. D. Ehlert, KDT, Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR
Dozent Dr.-Ing. K. Plötner, KDT, Universität Rostock, Sektion Landtechnik

1. Problemstellung

Der Hauptanteil der jährlich in der DDR produzierten Zuckerrüben und Kartoffeln wird als Futtermittel in der Tierproduktion und als Rohstoff für die Zucker- und Stärkegewinnung verwendet. Für diese Verwendungszwecke müssen die Zuckerrüben und Kartoffeln in der Aufbereitungsphase zerkleinert werden. Zur Zuckergewinnung, Trocknung und Silierung werden die Zuckerrüben und Kartoffeln durch Schneiden zerkleinert.

Aus dem Stand der Erkenntnisse zum Zerkleinern fester Stoffe [1][2] ist bekannt, daß Zerkleinerungsmaschinen nur sehr geringe Wirkungsgrade erreichen. Aus den jährlich zu zerkleinernden Massen von Zuckerrüben und Kartoffeln und den geringen Wirkungsgraden der Zerkleinerungsmaschinen ist die Forderung nach Erhöhen des Wirkungsgrades von Zerkleinerungsmaschinen abzuleiten.

Ehlert [3] formulierte die allgemeine Zielstellung für das Zerkleinern von Hackfrüchten:

„Das für Hackfrüchte geforderte Zerkleinerungsergebnis muß mit ausreichendem Massendurchsatz, geringem Energieaufwand, hoher Arbeitsproduktivität und Verfügbarkeit bei einem Minimum an Kosten erreicht werden.“

Aus dieser Zielstellung geht hervor, daß bei Erfüllung der Anforderungen an das Zerkleinerungsergebnis und an den Massendurchsatz die für das Zerkleinern von Hackfrüchten entstehenden Kosten zur Optimierung von Zerkleinerungsmaschinen entscheidend sind.

Allgemein betrachtet bestehen Zerkleinerungsmaschinen aus Arbeitselementen, Antriebselementen, Trägerelementen, Steuerungs- und Regelungselementen [4]. Alle diese Strukturelemente üben im Zusammenwirken einen direkten Einfluß auf die Höhe der Zusammenwirken einen direkten Einfluß auf die Höhe der Herstellungs-, Betriebs- und Instandhaltungskosten der Zerkleinerungsmaschinen aus [3]. Eine Schlüsselstellung für die Erfüllung der formulierten Zielstellung nehmen die Arbeitselemente ein, da sie unmittelbar auf den Arbeitsgegenstand einwirken und ihn zielgerichtet verändern. Deshalb sind Untersuchungen zur Optimierung der Konstruktions- und Betriebsparameter der Arbeitselemente zum Schneiden von Zuckerrüben entsprechend der dargelegten Zielstellung eine Schwerpunktaufgabe der landtechnischen Forschung.

2. Versuchsmethodik

Der Stand der Erkenntnisse zum Schneiden von Zuckerrüben und zur Weichzerkleinerung allgemein weist aus, daß noch keine optimierten Konstruktions- und Betriebsparameter für Arbeitselemente vorliegen und eine Optimierung auf der Basis theoretischer Untersuchungen nicht zum Erfolg führt [3][5]. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden die Untersuchungen auf experimenteller Basis mit theoretischen Teilbetrachtungen durchgeführt. Als Versuchsbedingungen wurde die Einzelkornzerkleinerung mit definierten Bedingungen gewählt, da sie für Grundlagenuntersuchungen am aussagefähigsten ist.

Auf der Grundlage der Einzelkornzerkleinerung erfolgt die Untersuchung der Schnittvorgänge, die prinzipiell in Trommel- und Scheibenrad-schneidwerken auftreten (Bild 1). Charakteristisch für derartige Schnittvorgänge ist, daß von einem eingespannten Körper Späne mit definierten Abmessungen unter gleichbleibenden Bedingungen abgetrennt werden.

Bei den experimentellen Untersuchungen wurden die beim Schnitt entstehenden Kräfte mit Dehnungsmeßstreifen gemessen. Über einen Gleichstrommotor, der die Drehzahlregelung ermöglichte, wurde der Rotor mit den Arbeitselementen angetrieben. Durch die Zuführeinrichtung, die mit einer Halterung für die verwendeten Zuckerrübenmodellkörper der Abmessungen 80 × 60 × 40 mm

versehen war, erfolgte die kontinuierliche Zuführung des Zuckerrübenmodellkörpers zum Arbeitselement. Die Darstellung der Schnittkraftdiagramme wurde mit einem Universalsichtgerät realisiert, von dem die Schnittkraftdiagramme fotografisch registriert wurden. Die Schnittkraftdiagramme bildeten die Grundlage für die Ermittlung der mittleren Schnittkraft F_{Sm} , der maximalen Schnittkraft F_{Smax} und des Zerkleinerungserfolges κ . Der Zerkleinerungserfolg κ wurde nach Regge [6] als Quotient aus neugeschaffener Oberfläche und Zerkleinerungsenergie definiert:

$$\kappa = \frac{\Delta A_0}{W_z}$$

Die mittlere und maximale Schnittkraft und der Zerkleinerungserfolg wurden bei den experimentellen Untersuchungen in Abhängigkeit von folgenden Konstruktions- und Betriebsparametern ermittelt (Bild 1):

Schnittwinkel δ

Freiwinkel α

Keilwinkel β

Schneidenradius r_s

Abstand Schneide — Gegenhalter a_s

Züggigkeitswinkel τ_z

Zerkleinerungsgeschwindigkeit $v_z = |v_z|$

Spandicke d_s

Zur Charakterisierung der Zuckerrübenmodellkörper wurden der E-Modul E und der Trockenmassegehalt TM gemessen.

3. Versuchsergebnisse

Von den insgesamt ermittelten Versuchsergebnissen sollen in diesem Beitrag nur charakteristische Parameterkombinationen diskutiert werden. Aus den ermittelten Einflüssen der verschiedenen Konstruktions- und Betriebsparameter der Arbeitselemente auf die mittlere und maximale Schnittkraft sowie auf den Zerkleinerungserfolg werden die Konstruktions- und Betriebsparameter der Arbeitselemente zum Schneiden von Zuckerrüben optimiert.

Der Schnittwinkel δ ist im Gegensatz zum Frei- und Keilwinkel von großer Bedeutung für die Größe der entstehenden Schnittkräfte und somit ebenfalls für den Zerkleinerungserfolg (Bild 2). Durch das Vergrößern des Schnittwinkels von 40° auf 90° ist ein Verdreifachen der mittleren Schnittkraft bei einer Spandicke von $d_s = 2,8$ mm zu verzeichnen. Das gleiche Ergebnis war bei einer Spandicke von $d_s = 1,8$ mm festzustellen. Die Ursachen für diese Tendenzen sind in den Verformungs- und Beschleunigungskräften zu suchen. Aus diesen Erkenntnissen leitet sich die Forderung ab, schneidende Arbeitselemente mit möglichst geringen Schnittwin-

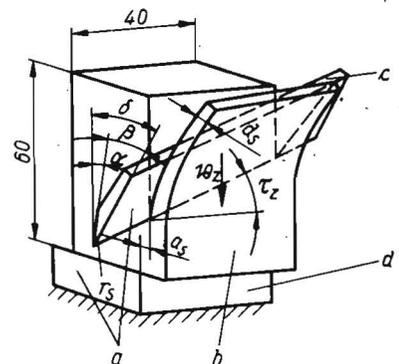


Bild 1
Modell für den Schnittvorgang in Trommel- und Scheibenrad-schneidwerken mit Konstruktions- und Betriebsparametern des Arbeitselementes; a Arbeitselement, b Zuckerrübenmodellkörper, c Schneide, d Gegenhalter (weitere Erläuterungen im Text)

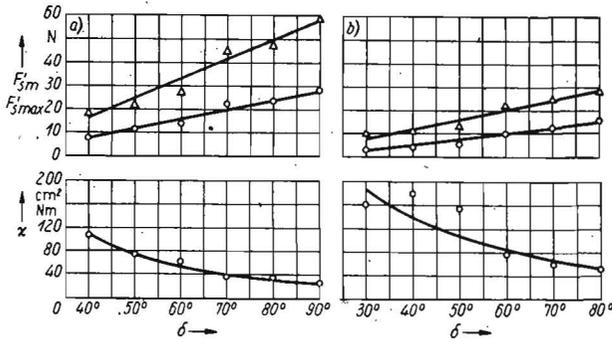


Bild 2. Einfluß des Schnittwinkels δ auf die mittlere (F'_{sm}) und maximale Schnittkraft (F'_{smmax}) sowie auf den Zerkleinerungserfolg κ ; Versuchsbedingungen:

- | | | |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| a) E = 62,0 kp/cm ² | $\beta = 40^\circ$ | $\tau_z = 0^\circ$ |
| TM = 22,36 % | $a_s = 3$ mm | $d_s = 2,8$ mm |
| | $r_s = 0,025$ mm | $v_z = 4,7$ m/s |
| b) E = 62,0 kp/cm ² | $\beta = 26^\circ$ | $\tau_z = 0^\circ$ |
| TM = 22,36 % | $a_s = 3$ mm | $d_s = 1,8$ mm |
| | $r_s = 0,025$ mm | $v_z = 7,2$ m/s |

keln bei Gewährleistung eines Freiwinkels von $\alpha = 5^\circ$ einzusetzen. Der Freiwinkel von $\alpha = 5^\circ$ ist unbedingt erforderlich, um die Einzugsbedingungen für die zu zerkleinernden Stoffe in einer Maschine zu garantieren. Das Minimum für den Schnittwinkel muß unter Berücksichtigung dieser Bedingungen nach der erforderlichen Schneidenfestigkeit und Standzeit der Schneiden festgelegt werden.

Ein wichtiges Kriterium für die Standzeit und die maximal zulässige Abnutzung der Schneiden ist der Schneidenradius r_s . Der Schneidenradius nimmt durch Abnutzung beim Schnittvorgang ständig zu. Mit größer werdendem Schneidenradius sind ein lineares Ansteigen der Schnittkräfte sowie ein Abfall des Zerkleinerungserfolges verbunden. Das Anwachsen der Schnittkräfte ist darauf zurückzuführen, daß ein bestimmter spezifischer Schnittdruck in der Trennzone vorhanden sein muß, um die molekularen Bindungskräfte zu überwinden. Mit größer werdendem Schneidenradius tritt eine Vergrößerung der Fläche auf, die durch die Schneidkante des Arbeitselementes deformiert wird und ein Anwachsen der Schnittkräfte bewirkt.

Der Abstand Schneide — Gegenhalter wirkt sich nicht wesentlich auf den Schnittvorgang aus. Aus diesem Ergebnis kann gefolgert werden, daß in Zerkleinerungsmaschinen für Hackfrüchte die Gegenhalter nur die Aufgabe des Einspannens erfüllen müssen und nicht als passive Gegenschneiden wirksam werden sollen.

Nach Smirnow [7] ist beim Schneiden von Hackfrüchten ein ziehender Schnitt zu vermeiden, da dabei infolge großer Reibwinkel zwischen Hackfrucht und Metall keine Energieeinsparung möglich ist. Diese Aussage für den ziehenden Schnitt konnte durch die experimentellen Untersuchungen für Trommel- und Scheibenrad-schneidwerke bestätigt werden.

Ein entscheidender Einflußparameter auf den Arbeitserfolg von Trommel- und Scheibenrad-schneidwerken ist die Zerkleinerungsgeschwindigkeit v_z , da sie die konstruktive Gestaltung und den Masedurchsatz der Schneidwerke wesentlich beeinflußt [8] [9]. Mit zunehmender Zerkleinerungsgeschwindigkeit steigen die Schnittkräfte progressiv an (Bild 3). Die Gründe dafür sind im Beschleunigungsverhalten der abgeschnittenen Späne zu suchen. Im Bereich hoher Zerkleinerungsgeschwindigkeiten bestimmen die Beschleunigungskräfte vorrangig die Schnittkräfte. Durch theoretische Betrachtungen konnte nachgewiesen werden, daß die Schnittkräfte quadratisch von der Zerkleinerungsgeschwindigkeit abhängen. Hieraus folgt die Forderung nach geringen Zerkleinerungsgeschwindigkeiten. Da der Masedurchsatz in Zerkleinerungsmaschinen ebenfalls stark von der Zerkleinerungsgeschwindigkeit abhängig ist, muß beim Festlegen der Zerkleinerungsgeschwindigkeit eine Kompromißlösung gewählt werden.

Neben der Zerkleinerungsgeschwindigkeit übt auch die Spandicke

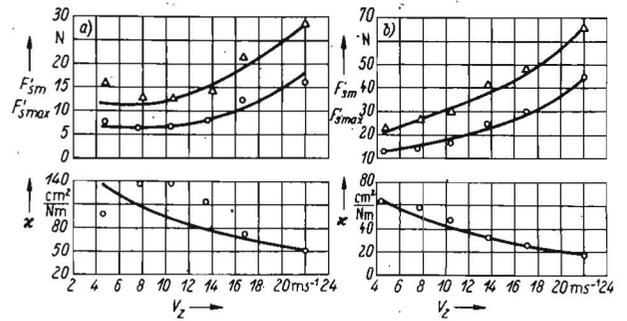


Bild 3. Einfluß der Zerkleinerungsgeschwindigkeit v_z auf die mittlere (F'_{sm}) und maximale Schnittkraft (F'_{smmax}) sowie auf den Zerkleinerungserfolg κ ; Versuchsbedingungen:

- | | | |
|--------------------------------|---------------------|--------------------|
| a) E = 62,0 kp/cm ² | $\beta = 30^\circ$ | $r_s = 0,025$ mm |
| TM = 22,36 % | $\delta = 26^\circ$ | $\tau_z = 0^\circ$ |
| | $a_s = 3$ mm | $d_s = 2,0$ mm |
| b) E = 62,0 kp/cm ² | $\beta = 40^\circ$ | $r_s = 0,025$ mm |
| TM = 22,36 % | $\delta = 50^\circ$ | $\tau_z = 0^\circ$ |
| | $a_s = 3$ mm | $d_s = 4,0$ mm |

d_s einen entscheidenden Einfluß auf die Schnittkräfte und den Zerkleinerungserfolg aus (Bild 4). Im Ergebnis der Untersuchungen konnte eine lineare Abhängigkeit der Schnittkräfte von der Spandicke im untersuchten Bereich nachgewiesen werden. Diese Tendenz ist auf das Anwachsen des Formänderungswiderstands infolge zunehmender Spandicke zurückzuführen. Durch den Formänderungswiderstand der Späne wird auf die Schneide eine Kraft ausgeübt, die durch das Abgleiten auf der Spanfläche der Schneide eine Reibkraft erzeugt und somit ebenfalls die Schnittkraft beeinflußt. Wird bei einem bestimmten Schnittwinkel die Spandicke so groß, daß durch die auftretenden Verformungen die Bruchspannungen überschritten werden, so tritt beim Schneiden von Zuckerrüben eine Bruchspannbildung auf. Die Untersuchungen zur Spanlänge zeigten, daß die Bruchspannbildung bei konstanter Zerkleinerungsgeschwindigkeit vor allem durch den Schnittwinkel und die Spandicke beeinflußt wird. Danach kann durch die Wahl dieser Parameter eine geforderte Spanlänge in Zerkleinerungsmaschinen ohne den Einsatz zusätzlicher Arbeitselemente erreicht werden.

Aus den insgesamt durchgeführten experimentellen Untersuchungen können folgende Konstruktions- und Betriebsparameter für Arbeitselemente zum Schneiden von Zuckerrüben abgeleitet werden:

- | | |
|--------------------------------|--|
| Schnittwinkel | $\delta = 20 \dots 30^\circ$ |
| Freiwinkel | $\alpha = 5^\circ$ |
| Keilwinkel | $\beta = 15 \dots 20^\circ$ |
| Schneidenradius | $r_s \leq 0,1$ mm |
| Zerkleinerungsgeschwindigkeit | $v_z = 5 \dots 8$ m/s |
| Abstand Schneide — Gegenhalter | a_s ohne Einfluß |
| Spandicke | d_s muß nach agrotechnischen Forderungen festgelegt werden |
| Zügeligkeitswinkel | $\tau_z = 0^\circ$ |

Aufgrund der ähnlichen mechanischen Eigenschaften von Zuckerrüben und Kartoffeln ist zu erwarten, daß die optimierten Konstruktions- und Betriebsparameter für Arbeitselemente zum Schneiden von Zuckerrüben auch zum Schneiden von Kartoffeln erfolgreich angewendet werden können. Bei den weiteren Untersuchungen werden Arbeitselemente mit den optimierten Konstruktions- und Betriebsparametern in Zerkleinerungsmaschinen eingesetzt und deren Eignung bei der Zerkleinerung von Hackfruchthaufwerken untersucht.

4. Zusammenfassung

Ausgehend von der allgemeinen Bedeutung der Zerkleinerung von Hackfrüchten wird die Notwendigkeit weiterer theoretischer und

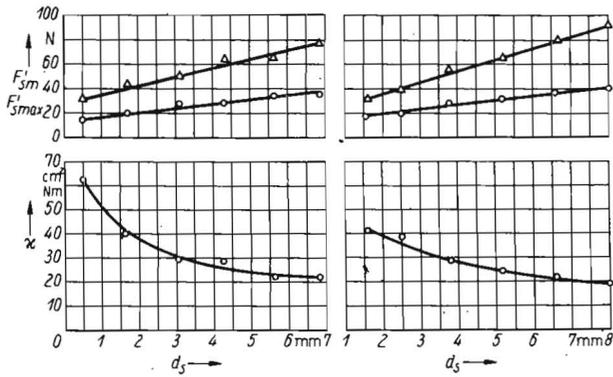


Bild 4. Einfluß der Spandicke d_s auf die mittlere (F'_{sm}) und maximale Schnittkraft (F'_{smax}) sowie auf den Zerkleinerungserfolg κ ; Versuchsbedingungen:

a) E	= 62,0 kp/cm ²	β	= 26°	r_s	= 0,015 mm
TM	= 22,36 %	δ	= 31°	τ_z	= 0°
		a_s	= 3 mm	v_z	= 4,7 m/s
b) E	= 62,0 kp/cm ²	β	= 26°	r_s	= 0,015 mm
TM	= 22,36 %	δ	= 41°	τ_z	= 0°
		a_s	= 3 mm	v_z	= 8,4 m/s

experimenteller Untersuchungen zur Optimierung der Konstruktions- und Betriebsparameter der Arbeitselemente in Zerkleinerungsmaschinen abgeleitet. Auf der Grundlage der Einzelkornzerkleinerung von Zuckerrübenmodellkörpern werden die Einflüsse der Konstruktions- und Betriebsparameter der Arbeitselemente auf die Schnittkräfte und den Zerkleinerungserfolg beim Schneiden ermittelt.

Durch experimentelle Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß der Schnittwinkel, die Spandicke und die Zerkleinerungsgeschwindigkeit den Zerkleinerungserfolg entscheidend

beeinflussen. Alle übrigen Konstruktions- und Betriebsparameter der Arbeitselemente, wie Schneidenradius, Zügigkeitswinkel, Abstand Schneide — Gegenhalter und Keilwinkel wirken sich nicht oder nur unwesentlich auf den Zerkleinerungserfolg aus. Aus den insgesamt durchgeführten experimentellen Untersuchungen werden konkrete Konstruktions- und Betriebsparameter für Arbeitselemente zum Schneiden von Hackfrüchten abgeleitet.

Literatur

- [1] Vauck, R. W. A.: Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik. 3. Auflage. Dresden: Verlag Theodor Steinkopf 1969.
- [2] Vauck, R. W. A.; Müller, H. A.: Mechanische Grundoperationen. in: Taschenbuch Maschinenbau, Band 2, 2. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik 1967, S. 789—845.
- [3] Ehlert, D.: Untersuchungen zum Zerkleinern von Hackfrüchten durch Schneiden und Reißen. Universität Rostock, Dissertation 1975.
- [4] Plötner, K.: Methodische Grundlagen für die Entwicklung von Landmaschinen und Anlagen. Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock, mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe 22 (1973) H. 1, S. 41—53.
- [5] Ehlert, D.: Zerkleinern von Hackfrüchten. Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Studie 1972 (unveröffentlicht).
- [6] Regge, H.: Der Zerkleinerungserfolg als Bewertungsmaßstab für Bodenbearbeitungsgeräte und -maschinen. Dt. Agrartechnik 15 (1965) H. 8, S. 375—378.
- [7] Smirnow, I. I.: Futterbereiungsmaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1958.
- [8] Plötner, K.; Goldhan, J.; Ehlert, D.; Pakura, F.: Zerkleinerung von Hackfrüchten. Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Forschungsbericht 1974 (unveröffentlicht).
- [9] Plötner, K.; Groth, H.-J.; Goldhan, J.; Ehlert, D.; Pakura, F.: Untersuchungen am Hackfruchtzerkleinerer F 120. agrartechnik 24 (1974) H. 7, S. 347—350. A 9979

¹⁾ an der Universität Rostock, Sektion Landtechnik, erarbeitet

3. Kolloquium „Zuverlässigkeit und ökonomischer Materialeinsatz bei Landmaschinen“

In der Zeit vom 8. bis 13. Juni 1975 führten das Fachgebiet Betriebsfestigkeit im Institut für Landmaschinentechnik Leipzig des VEB Weimar Kombinat und die KDT-Betriebssektion des ILT im Schulungszentrum für Marktbearbeitung des Ministeriums für allgemeinen Maschinen-, Landmaschinen- und Fahrzeugbau in Brielow das 3. Kolloquium „Zuverlässigkeit und ökonomischer Materialeinsatz bei Landmaschinen“ durch.

An der Veranstaltung, die inzwischen zu einer guten Tradition geworden ist, nahmen Spezialisten aus den Industriezweigen Landmaschinenbau und Automobilbau, der TU Dresden, dem IfL Dresden, dem ZIS Halle sowie aus weiteren Forschungseinrichtungen teil. In 34 Vorträgen wurde ein breites Spektrum von Fragen des Haltbarkeitsnachweises, der Zuverlässigkeit und des Leichtbaus behandelt.

Einen großen Raum nahmen Probleme der experimentellen und analytischen Ermittlung der Belastungen von Landmaschinen ein. Bei den experimentellen Methoden wurden Wege zur weiteren Erhöhung der Aussagefähigkeit und Genauigkeit der Ergebnisse sowie die gerätetechnische Realisierung herausgearbeitet. Zu den analytischen Methoden wurden dynamische Modelle für Landmaschinen vorgestellt.

Die Fragen des experimentellen und analytischen Haltbarkeitsnachweises wurden ebenfalls umfassend behandelt. Dabei konnte festgestellt werden, daß die experimentellen Methoden einen

gewissen Abschluß erreicht haben. Erfreulich war, daß dem analytischen Nachweis breiter Raum gewidmet wurde. Es ist deutlich erkennbar, daß an vielen Stellen daran gearbeitet wird, die zeit- und kostenaufwendigen experimentellen Nachweise zumindest teilweise zu ersetzen.

Zur Thematik Leichtbau wurde an Beispielen aufgezeigt, welche Fortschritte dazu in den Werken des Industriezweigs Landmaschinenbau erreicht wurden. Interessant waren Vorschläge zur Ausnutzung des Traglastverhaltens der Konstruktionen bei der Dimensionierung statisch belasteter Konstruktionen.

Die Veranstaltung brachte die wissenschaftliche Durchdringung der praktischen Tätigkeit in der Industrie verbunden mit den Bemühungen zur Rationalisierung zum Ausdruck und wies Wege zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verbesserung der Materialökonomie der Erzeugnisse. Sie förderte in hervorragender Weise den Erfahrungsaustausch der auf diesem Gebiet in der DDR tätigen Spezialisten.

Alle Vorträge erscheinen als Manuskript in einem Sammelband des ILT für die Teilnehmer am 3. Kolloquium „Zuverlässigkeit und ökonomischer Materialeinsatz bei Landmaschinen“.

AK 1030

Dr.-Ing. D. Cottin, KDT
Dr.-Ing. H. Tersch, KDT