

6. Zusammenfassung

Aufbauend auf einer Methode von Zoz [4] und Stroppe [6] werden die für die Berechnung der Verfahrenskosten verwendeten Funktionen vorgestellt. Damit ist es möglich, für Allradschlepper und Geräte der Bodenbearbeitung die Verfahrenskosten unter verschiedenen Bedingungen zu ermitteln. Anhand zweier Beispiele wurden die Verfahrenskosten in Abhängigkeit von Arbeitszeit- und Leistungsbedarf graphisch dargestellt. Diagramme, die Linien gleicher Kosten, Linien gleicher Leistung und Linien gleichen Arbeitszeitbedarfs enthalten, ermöglichen die graphische Bestimmung der Verfahrenskosten für verschiedene Kriterien.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] Rosegger, S. u. K. Hell: Einsatz von Anbaubeetpflügen und Schleppern mit Regelhydraulik aus betriebstechnischer Sicht. *Grundl. Landtechnik* Bd. 17 (1967) Nr. 4, S. 125/31.
- [2] Rosegger, S., H.-C. Olfe, F.-P. Sörgel u. H. Steinkampf: Voraussetzungen für die optimale Nutzung leistungsstarker Schlepper bei der Bodenbearbeitung. *Landbauforschung Völknerode* Bd. 26 (1976) H. 1, S. 40/48.
- [3] Hartmann, W. u. J.-P. Ratschow: Kosten schwerer Schlepper beim Einsatz in der Bodenbearbeitung. *Landtechnik* Bd. 32 (1977) H. 9, S. 347/51.
- [4] Zoz, F.: Optimum width and speed for least cost tillage. *Transaction of ASAE* Bd. 17 (1974) Nr. 5, S. 845/50.
- [5] • Schäfer, W.: Verfahrensvergleich gezogener und zapfwel-lengetriebener Bodenbearbeitungsgeräte hinsichtlich des Leistungs- und Arbeitszeitbedarfs sowie der Verfahrenskosten. *Tutkimustiedote* Nr. 25 (1978) 79 S., Helsinki: Maatalousteknologian laitoksen Helsingin yliopisto.
- [6] Stroppe, A.: Eine Methode zur Beurteilung von Bodenbearbeitungsverfahren im Hinblick auf die Schlagkraft. *Grundl. Landtechnik* Bd. 27 (1977) Nr. 4, S. 108/14.
- [7] Schaefer-Kehnert, W.: Kostenberechnung von Landmaschinen. *Agrarwirtschaft* Bd. 4 (1955) H. 1, S. 72/80.
- [8] • Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.: KTBL-Taschenbuch für Arbeits- und Betriebswirtschaft, Münster-Hiltrup, 8. Auflage, 1976, 310 S.
- [9] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.: Liste der Planungselemente. Unveröffentlichter Ausdruck der Datenbank, Darmstadt 1977.
- [10] • Rosegger, S. u. F.-P. Sörgel: Ermittlung von technischen und arbeitswirtschaftlichen Planungsdaten für die pflanzliche Produktion. *Landbauforschung Völknerode Sonderheft* 32 (1976) 135 S.
- [11] • Steinkampf, H.: Ermittlungen von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. *Landbauforschung Völknerode Sonderheft* 7 (1975) 105 S.
- [12] • Schäfer, W.: Zur Ermittlung der optimalen Kombination von Allradschleppern und Geräten der Bodenbearbeitung anhand von b,v-Diagrammen. *Symposium der Sektion V der CIGR* v. 28.–30. März 1979, Planungsunterlagen für die Landwirtschaft, Dokumentation Bd. 2, S. 39/49, Darmstadt 1979.

Möglichkeiten der Nachzerkleinerung bei Exaktfeldhäckslern

Von Karl-Hans Kromer, Weihenstephan*)

DK 631.363

Konventionelle Schneidwerke von Exaktfeldhäckslern genügen den verschiedenen Anforderungen für einen universellen Einsatz nicht mehr. Eine Nachzerkleinerung des Häckselgutes löst dieses Problem jedoch nur, wenn sie die biotechnischen Eigenschaften des Futters berücksichtigt. Aufgrund dessen gibt es eine Vielfalt technischer Lösungen, für deren Auswahl die Kenntnis der theoretischen Zusammenhänge, der Zerkleinerungsqualität, des Energiebedarfes und des technischen Aufwandes unerlässlich ist.

Inhalt

1. Einleitung
2. Aufgabenstellung
3. Theoretische Betrachtung der Nachzerkleinerung
4. Versuchsaufbau
5. Versuchsdurchführung
6. Versuchsergebnisse
 - 6.1 Prüfstandsversuche
 - 6.1.1 Projizierte Schnittkantenlänge
 - 6.1.2 Zerkleinerung und Leistungsbedarf
 - 6.1.2.1 Stroh
 - 6.1.2.2 Luzerne
 - 6.1.2.3 Mais
 - 6.2 Feldversuche
7. Zusammenfassung

*) Dr.-Ing. K.-H. Kromer ist Obering. und Leiter der Abt. Landtechnische Grundlagen am Institut für Landtechnik (Direktor: Prof. Dr. H.-L. Wenner) der TU München-Weihenstephan.

1. Einleitung

Die technische Entwicklung im Exaktfeldhäckslerbau wurde im wesentlichen durch die Forderungen nach gleichmäßigem Kurzhäcksel, hoher Betriebssicherheit und großer technischer Leistung bestimmt. Die Bedeutung von Kurzhäcksel für die Lagerungsdichte, den Konservierungsvorgang und die Arbeitsverfahren der Einlagerung, der Auslagerung, der Futtervorlage und der Mischung ist hinreichend bekannt [1 bis 6]. Zusätzliche Anforderungen an die Art und den Umfang der Zerkleinerung stellt die Tierernährung. Diese können für einzelne Gutarten bei konventionellen Häcksler-schneidwerken nur durch ein Nachschneiden oder durch ein Nachschroten des Häckselgutes erfüllt werden. Daher war die Feldhäckslerentwicklung neben dem Bau von Häckslern für hohe Gutdurchsätze durch die maschinentechnische Integration von Einrichtungen zur Nachzerkleinerung gekennzeichnet, wie sie auch aus Mulchgeräten, Müsern, Hammermühlen und anderen Zerkleinerungsgeräten bekannt sind.

Voraussetzung für die Auswahl derartiger Einrichtungen ist die Definition der erforderlichen Zerkleinerung. Dabei genügen die derzeit gebräuchlichen Faustzahlen der theoretischen Häcksellänge, **Tafel 1**, nur dann, wenn sie die Verwertungsarten des Erntegutes und die Ansprüche der Tiere angemessen berücksichtigen, **Bild 1**, d.h. die Zusammensetzung des Häckselgutes bzw. Schrotes nach einer Siebanalyse als prozentuale Verteilung der Größenfraktionen erfassen. Diese wird als Verteilungskurve der Teilchengröße (relative Häufigkeit) bzw. deren Anteil in bestimmten Teilchengrößenbereichen (Rückstandssummenkurve) angegeben [9 bis 12]. Sofern nicht eine Aufteilung des Erntegutes in Fraktionen z.B. durch eine Absiebung vorgesehen ist, wird eine gleichmäßige Häcksel- bzw. Schrotqualität verlangt, also eine steile Verteilungskurve. Bei Anwelkgut soll der Anteil der Häcksellänge > 40 mm unter 10 % und bei Silomais der Anteil > 25 mm unter 5 % betragen [4, 13].

Ist auch die Struktur von Bedeutung [13, 14], dann sind die Angaben der gewünschten Teilchengrößenverteilung durch Angaben über den Anteil bestimmter Pflanzenteile in den Größenklassen zu ergänzen.

Die eingangs genannte Forderung nach hoher Betriebssicherheit wird durch verschiedene Arten der Fremdkörpersicherung erreicht [5]. In Trommelschneidwerken stellen mehrere einzeln austauschbare Messer über der Schnittbreite eine einfache Lösung für die schnelle und preiswerte Reparatur dar.

2. Aufgabenstellung

Durch eine theoretische Betrachtung des Materialflusses in Exaktfeldhäckslern mit Nachzerkleinerungseinrichtungen und experimentelle Untersuchungen waren die Zusammenhänge zwischen den technischen Parametern und der Zerkleinerung für verschiedene Gutarten zu ermitteln. Weitere Kriterien für die Auswahl der geeigneten technischen Einrichtungen sind die gewünschte Struktur des Häckselgutes und der Leistungs- bzw. spezifische Energiebedarf. Infolge methodischer Probleme bei der Erfassung der Struktur und bei der Beurteilung des technischen Aufwandes für die verschiedenen konstruktiven Lösungen erfolgte die Versuchsauswertung nur nach der Zerkleinerung und dem Leistungsbedarf. Der Zusammenhang von Zerkleinerung bzw. Häcksellänge und Dichte ist hinreichend bekannt [7, 15 bis 17].

3. Theoretische Betrachtung der Nachzerkleinerung

Ziel der Zerkleinerung ist die Verringerung der Teilchengröße bei Vergrößerung der Oberfläche und Veränderung der Struktur. Sie erfolgt im Feldhäcksler in unterschiedlichem Ausmaß während der Aufnahme- (Beschleunigungsstoß und Schnitt), der Schleppphase (Guttransport) und der Abwurfphase ("Nach"schnitt). Dabei ist die Zerkleinerung während der beiden letzten Phasen als Nachzerkleinerung definiert, die bei ausreichend

Gutart	theor. Häcksellänge
Grüngut	12–20 mm
Leguminosen (in der Blüte)	unter 6 mm
Anwelkgut (unter 30 % TM)	6–9 mm
Silomais	4–6 mm
Maiskolben Kornspindelgemisch Körnermais	(3)6–9 mm und Nachzerkleinerung

Tafel 1. Faustzahlen für die erforderliche theoretische Häcksellänge von Exaktfeldhäckslern in Abhängigkeit von der Gutart [4, 7, 8].

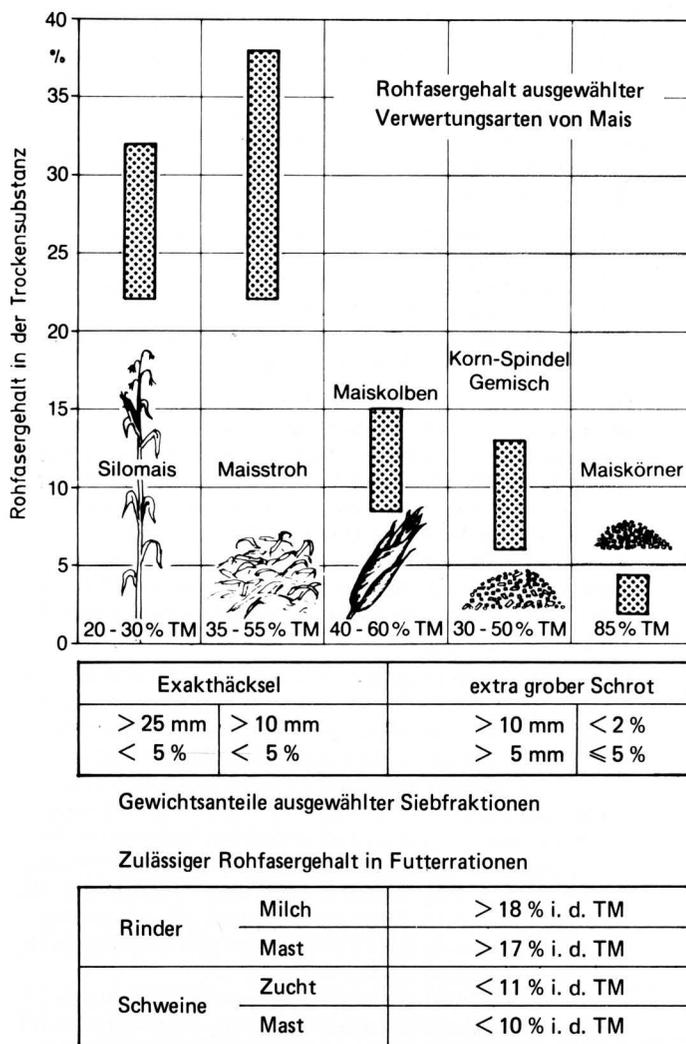


Bild 1. Erforderliche Zerkleinerung und Bereiche der Rohfasergehalte ausgewählter Verwertungsarten von Mais [2, 4, 9, DLG-Futterwerttabellen].

hoher Materialgeschwindigkeit auch noch während des Auswurfs möglich ist. Grundsätzlich sind zwei Nachzerkleinerungssysteme zu unterscheiden:

- Nachschneidesieb
- Reibboden.

4. Versuchsaufbau

In Prüfstands- und Feldversuchen wurde die Zerkleinerung und der Leistungsbedarf in Abhängigkeit von den Einflußgrößen:

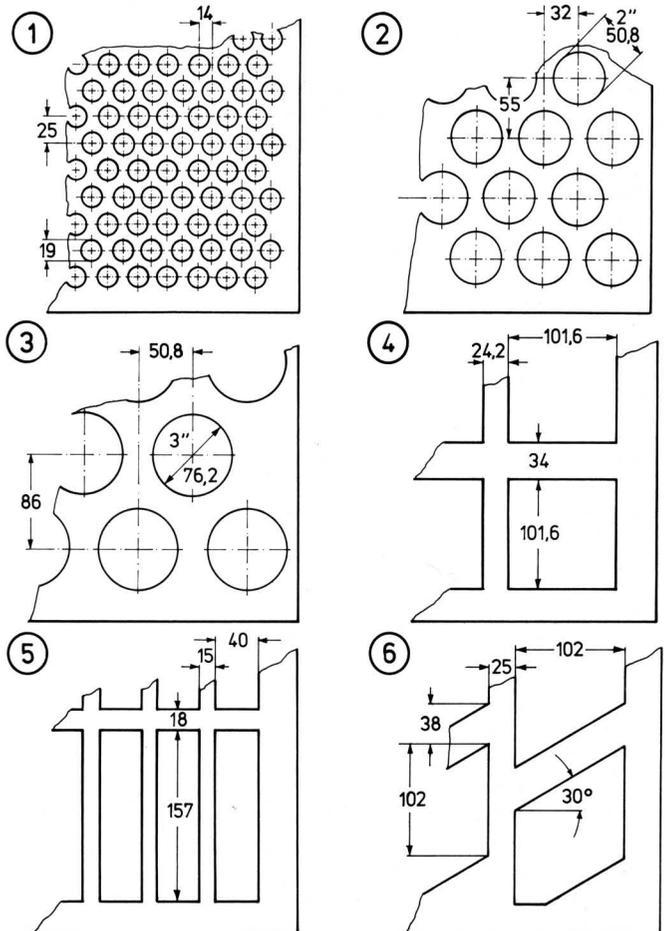
- theoretische Häcksellänge
- konstruktive Parameter (z.B. Nachzerkleinerungsvarianten)
- Gutart und TM-Gehalt
- Gutdurchsatz

ermittelt. Hierzu wurden die folgenden Exakthäcksler eingesetzt:

- Stationärer Häcksler mit Nachschneidesieben
9 Messer, $l_{th} = 3,4$ bis $5,2$ mm oder
3 Messer, $l_{th} = 10,2$ bis $15,6$ mm
 $u_{Tro} = 31,9$ m/s, $u_{Wurfgebläse} = 36,7$ m/s
Nachzerkleinerungsvarianten nach Bild 3.
- Einreihiger Anbau-Pflückhäcksler mit Reibboden
12 Messer, $l_{th} = 3$ mm
 $u_{Tro} = 34$ m/s
Reibboden mit 12 Leisten, Teilung $t = 15$ mm, φ_R ca. 300° .
- Exaktfeldhäcksler mit 2reihigem Pflückvorsatz, Nachschneidesiebe
6 Messer, $l_{th} = 7,2$ mm, $u_{Tro} = 24,1$ m/s
6 Messer, $l_{th} = 9,5$ mm, $u_{Tro} = 23,5$ m/s.
- Universal-Schrothäcksler, Nachschneidesieb
6 Messer, $l_{th} = 5$ mm, $u_{Tro} = 22,9$ m/s.

Die verschiedenen konstruktiven Ausführungen von Nachschneidesieben und Reibböden, Bild 3, wurden in Prüfstandsversuchen mit dem Häcksler 1 untersucht, so daß bei weitgehend konstanten Randbedingungen die Ergebnisse untereinander vergleichbar sind. Die Auswahl der Siebvarianten, Tafel 2, erfolgte in Anlehnung an gebräuchliche Konstruktionen, ergänzt durch ein Sieb mit geringer projizierter Schnittkantenlänge (Nr. 5). Durch Verwendung nur eines Siebes wurde φ_S halbiert. Der Abstand vom Messer zum Sieb lag im Bereich $0,4-1,5$ mm ($\varphi_S = 230^\circ$). Die Reibbodenvarianten, s. Tafel 2, wurden so gewählt, daß der Einfluß der Teilung und des Reibbodenwinkels ermittelt werden konnte.

Nachschneidesiebe



Var. Nr.	Lochabmessungen bzw. Teilung mm	Siebwinkel φ_S		projizierte Schnittkantenlänge als Vielfaches d. Gegenschneide		relativ %
		Reibbodenwinkel effektiv Grad	konstr.* Grad			
1	19 ϕ	202	230	26,8	100	
		97	115	13,4	50	
2	50,8 ϕ	212	230	14,8	55,1	
		102	115	7,4	27,6	
3	76,2 ϕ	199	230	8,3	31	
		94	115	4,2	15,5	
4	106,1 φ	200	230	5,9	22	
		95	115	3,0	11	
5	157 x 40	199	230	3,9	14,7	
		94	115	2,0	7,3	
6	102/30	199	230	5,9	22	
		94	115	3,0	11	
7	50	82	90	8,9	33,3	
8	50	54	60	6,0	22,2	
9	50	26	30	3,0	11,1	
10	25	82	90	17,9	66,7	
11	25	54	60	11,9	44,4	
12	25	26	30	6,0	22,2	

* im Text wird zur besseren Übersichtlichkeit nur der konstruktive Nachschneidesieb- bzw. Reibbodenwinkel angegeben.

Tafel 2. Daten der im Häcksler 1 verwendeten Nachzerkleinerungsvarianten.

Reibböden

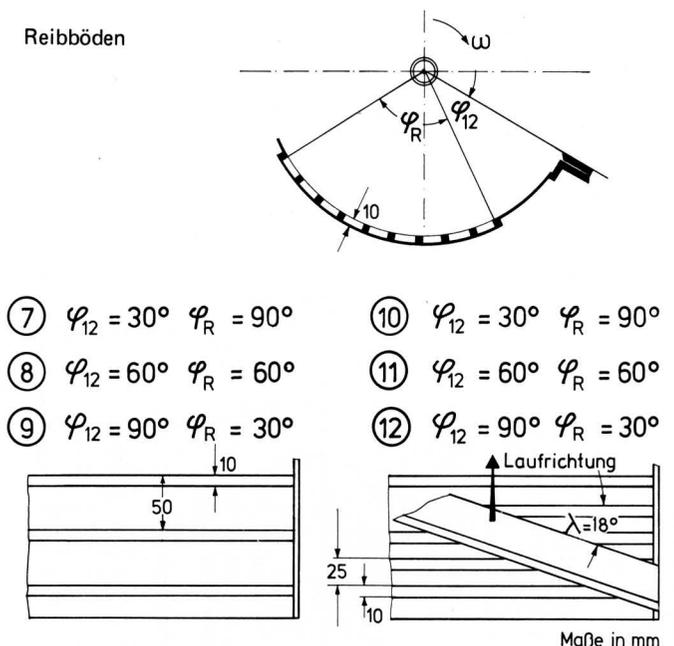


Bild 3. Abmessungen der untersuchten Nachzerkleinerungseinrichtungen; Schneidtrommel 550 mm breit, 610 mm ϕ , $\alpha_0 = 64^\circ$, $\lambda = 18^\circ$.

5. Versuchsdurchführung

Die Zerkleinerung wird, wie eingangs erläutert, als Verteilungskurve der vorgegebenen Häcksellängenfraktionen angegeben. Diese wurde durch Absiebung als Rückstandsmenge auf Sieben der Lochung 2, 3, 6, 10, 15, 25 und 40 mm ϕ ermittelt [11]; Probengröße 1000 g (90–95 % TM), Absiebung intermittierend (3 s Sieben, 1 s Ruhe), Siebzeit 5 min, Frequenz 6 Hz, Amplitude 9 mm. Wegen der besseren Anschaulichkeit im Feinbereich wurden die Gewichtsanteile der Größenfraktionen als relative Häufigkeit und nicht als Rückstandssumme aufgetragen.

Der Leistungsbedarf wurde als Zapfwellenleistungsbedarf über die Messung des Drehmoments und der Drehzahl ermittelt. Die Antriebsdrehzahl betrug maschinenbedingt 540 min^{-1} oder 1000 min^{-1} . Nachdem in Vorversuchen der Leistungsbedarf getrennt für den Antrieb von Trommel und Wurfgebläse ermittelt war, wurden die hier kommentierten Versuche auf die Messung des Gesamtleistungsbedarfes vereinfacht.

Der Durchsatz wurde bei den Prüfstandsversuchen durch eine unterschiedliche Belegungsdichte auf einem Zuführband mit konstanter Einzugs geschwindigkeit, sowie bei den Feldversuchen durch eine unterschiedliche Fahrgeschwindigkeit variiert. Beim Schroten von Körnermais mit Häcksler 1 errechnete sich der Durchsatz entweder aus der Gewichtszunahme des Selbstentladewagens in der Versuchszeit oder er wurde mittels Bandwaage [3] gemessen.

6. Versuchsergebnisse

6.1 Prüfstandsversuche

Die untersuchten Gutarten waren Stroh, Luzerne, Maiskolben, Korn-Spindel-Gemisch und Körnermais.

Der Zapfwellen-Leerlaufleistungsbedarf des Häckslers 1 betrug 5,3 kW (9 Messer, ohne Nachschneidesiebe), davon der Leistungsbedarf des Fördergebläses 2,6 kW.

Der Einfluß der Lochverteilung bei Nachschneidesieben mit etwa gleicher projizierter Schnittkantenlänge wurde mit Häcksler 4 untersucht.

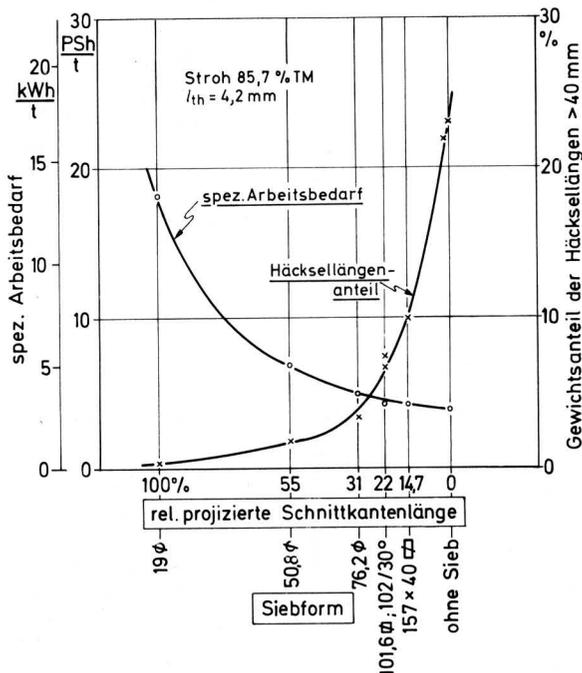


Bild 4. Spezifischer Arbeitsbedarf und Gewichtsanteil der Häckselüberlängen in Abhängigkeit von der relativen projizierten Schnittkantenlänge bei der Nachzerkleinerung von Stroh.

6.1.1 Projizierte Schnittkantenlänge

Zur Überprüfung der theoretischen Betrachtung und der Definition der projizierten Schnittkantenlänge sowie zur energetischen Wertung der Nachzerkleinerung wurde für Weizenstroh (86 % TM) der spezifische Arbeitsbedarf (durchsatzbezogener Leistungsbedarf) in Abhängigkeit von der projizierten Schnittkantenlänge ermittelt. Für die Versuchsreihen wurde Stroh als Gutart gewählt, da sich damit die Randbedingung Material einfach konstant halten läßt. Zur Kennzeichnung der Zerkleinerung wurde die Rückstandsmenge auf dem Sieb mit 40 mm Lochdurchmesser gewählt. Das Ergebnis ist in **Bild 4** aufgetragen und bestätigt den erwarteten Zusammenhang. Es erklärt auch, warum Nachschneidesiebe in der Praxis bei Halmgut zur Senkung des Überlängenanteiles, d.h. zum Erzielen eines möglichst homogenen Häckselgutes, verwendet werden und nicht als Ersatz für eine geringere theoretische Häcksellänge. Der spezifische Arbeitsbedarf steigt nur in einem begrenzten Bereich proportional zur projizierten Schnittkantenlänge an, was sich auch bei Versuchen von *Dernedde* und *Peters* bestätigte [16]. Für die gegebenen Bedingungen hat die Siebausführung keinen Einfluß auf den spezifischen Arbeitsbedarf und den Anteil der Häcksellängen $> 40 \text{ mm}$. Die Versuchsergebnisse der Nachzerkleinerung von Stroh mit Sieben und Reibböden bei den theoretischen Häcksellängen von 12,6 und 15,6 mm (siehe 6.1.2.1) zeigen erwartungsgemäß, daß die Verwendung der projizierten Schnittkantenlänge auf den wirksamen Bereich von Nachschneidesieben zu beschränken ist.

6.1.2 Zerkleinerung und Leistungsbedarf

6.1.2.1 Stroh

Für Stroh ist die Zerkleinerung für verschiedene theoretische Häcksellängen und Arten der Nachzerkleinerung in **Bild 5** und

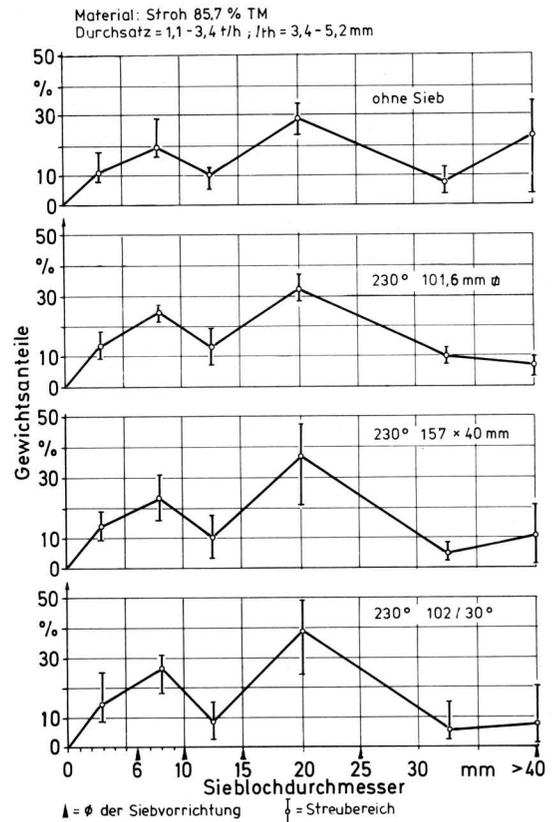


Bild 5. Ergebnis der Siebanalyse (Mittelwert und Streuung) bei der Zerkleinerung von Stroh mit verschiedenen Nachzerkleinerungsvarianten.

Tafel 3 dargestellt. Für die Versuchsreihe nach Tafel 3 betrug l_{th} praxisnah 12,6 bzw. 15,6 mm. Die Beurteilung erfolgt über den Massenanteil der Häcksellängen > 40 mm ("Überlängen") und < 6 mm ("Feinteile").

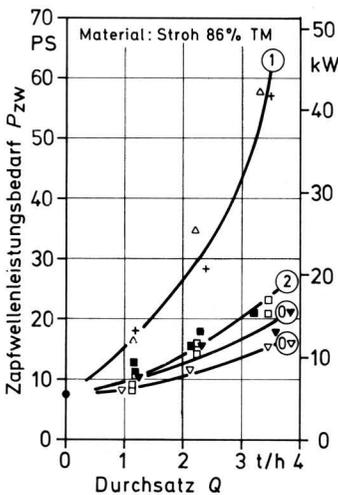
Unterschiede der Anteile > 40 mm für $l_{th} = 3,4$ bis 15,6 mm wurden durch die Streubereiche der Absiebung überdeckt. Damit ist der Schluß zulässig, daß eine Herabsetzung der theoretischen Häcksellänge zur Senkung des Überlängenanteiles nur begrenzt geeignet ist (abhängig von Gutart, Durchsatz, Vorpreßfeinrichtung u.a.). Alle Nachzerkleinerungseinrichtungen senken den Überlängenanteil. Aus Tafel 3 geht hervor, daß für Nachschneidesiebe der Lochung $a \geq 50,8$ mm (Variante 2) ein Siebwinkel φ_S von 115° (bzw. 102° , s. Tafel 2) ausreicht, d.h. der Materialfluß durch das Sieb (Abscheidung) ist dann bereits abgeschlossen. Nachschneidesiebe mit einer quadratischen Lochung $a \geq 101,6$ mm (Variante 4) haben den gleichen Effekt wie Reibböden. Teilung und Reibbodenlänge ist von geringem Einfluß, der Überlängenanteil nimmt jedoch tendenziell mit der projizierten Schnittkantenlänge, d.h. der Kontakthäufigkeit, ab. Mit dem Sieb 19 mm ϕ , $\varphi_S = 230^\circ$ (Variante 1) wird für die Fraktionen < 6 mm ein Anteil bis zu 50 % erreicht. Mit Ausnahme dieses Siebes liegt die Zerkleinerung aller Nachzerkleinerungseinrichtungen im Feinbereich (< 6 mm), gemessen am Gut ohne Nachzerkleinerung, in der gleichen Größenordnung (Zunahme der Anteile < 6 mm zwischen 3,9 und 10,9 %) und ist vergleichsweise gering, zum Teil im Bereich der Streuung des Absiebergergebnisses. Bei etwa gleicher Feinzerkleinerung erzielt Variante 2 (50,8 mm ϕ) die stärkste Senkung des Anteils an Überlängen und stellt daher mit $\varphi_S = 115^\circ$ auch unter Berücksichtigung des Leistungsbedarfes hierfür die beste Lösung dar. Ein Einfluß des Durchsatzes auf die Häcksellängenverteilung konnte gesichert nicht nachgewiesen werden.

In den Bildern 6 bis 8 ist der Leistungsbedarf für unterschiedliche theoretische Häcksellängen und Nachzerkleinerungsvarianten in Abhängigkeit vom Durchsatz aufgetragen. Dabei bestätigen sich

Var. Nr.	a; t mm	$\varphi_S; \varphi_R$ Grad	Gewichtsanteil	
			< 6 mm %	> 40 mm %
	—	—	30,9	36,9
1	19	115 230	38,2 50,0	16,9 0
2	50,8	115 230	40,8 40,8	7,5 7,0
4	101,6	115 230	41,8 37,4	13,6 14,1
7	50	90	41,1	15,4
9	50	30	39,3	17,9
10	25	90	34,8	12,7
11	25	60	38,2	15,6

Tafel 3. Gewichtsanteile der Fraktionen < 6 mm und > 40 mm für verschiedene Nachzerkleinerungsvarianten; Stroh 86 % TM; theor. Häcksellänge: 12,6 oder 15,6 mm; Durchsatz: 1,1 bis 4,6 t/h.

die nahezu gleichen Ergebnisse in der Zerkleinerung durch geringe Leistungsbedarfsunterschiede zwischen Variante 4 (101,6 mm ϕ , 115° oder 230°) und den Reibböden (Var. 7, 9, 10, 11). Für geringe Differenzen von l_{th} liegen die Unterschiede im Leistungsbedarf bei gleichzeitiger Nachzerkleinerung im Streubereich der Versuchsergebnisse, d.h. geringeres l_{th} erfordert eine geringere Nachzerkleinerung [16]. Eine Verringerung von l_{th} von 15,6 auf 5,2 mm (Bild 8) erhöht den Leistungsbedarf bei Nachzerkleinerung in der Größenordnung einer Senkung von $l_{th} = 15,6$ auf 12,6 mm ohne Nachzerkleinerung (Bild 6).



	Lochung mm	φ_S	l_{th} mm
①	19 ϕ	230°	15,6 12,6
②	50,8 ϕ	230° 115°	15,6 12,6
⑦	ohne Sieb		15,6
⑨	ohne Sieb		12,6

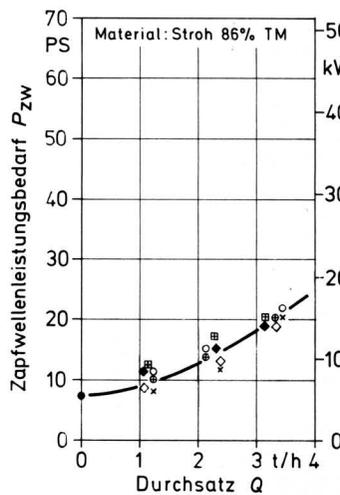


Bild 7.

	Lochung oder Teilung mm	φ_S	l_{th} mm
x	101,6 ϕ	230°	15,6 12,6
o	101,6 ϕ	115°	15,6 12,6
◇	50	30°	15,6 12,6

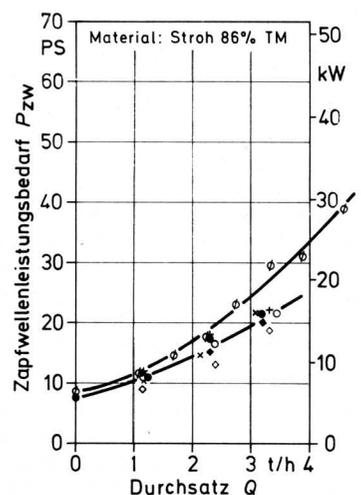


Bild 8.

	Teilung mm	φ_S	l_{th} mm
◇	50	30°	15,6 12,6
◆	50	90°	15,6 12,6
o	50	90°	5,2
φ	25	60°	12,6

Bild 6 bis 8. Zapfwellenleistungsbedarf für die Nachzerkleinerung von Stroh in Abhängigkeit vom Durchsatz für verschiedene Nachzerkleinerungsvarianten und unterschiedliche theoretische Häcksellänge.

6.1.2.2 Luzerne

Für Luzerne hatten Vorversuche ergeben, daß der Leistungsmehrbedarf bei Nachzerkleinerung bis zu 51 % betragen kann [5] und die Siebausführung und der Abstand Messer/Sieb wesentliche Einflußgrößen sind. Letzteres war aufgrund der gegenüber Stroh verschiedenen biotechnischen Eigenschaften von Anwelkgut (u.a. μ) zu erwarten. Für angewelkte Luzerne (33,4 % TM) und $l_{th} = 5,2$ mm beträgt der spez. Arbeitsmehrbedarf bei den Varianten 5 und 6 ($\varphi_S = 230^\circ$; 157 x 40 und 102/30 $^\circ$) ohne signifikante Unterschiede im Mittel 18,1 %, bei Variante 4 (101,6 mm) über 55,2 %. Demnach weist die Variante 6 (102/30 $^\circ$) bei gleicher projizierter Schnittkantenlänge und damit vergleichbarer Senkung der Überlängen einen wesentlich geringeren spezifischen Arbeitsbedarf auf.

6.1.2.3 Mais

Für die Verwertungsarten von Mais ist die Feinzerkleinerung gegenüber der Verringerung des Überlängenanteiles das wichtigere Beurteilungskriterium. Gemäß Bild 1 gilt dies insbesondere für die Nachzerkleinerung bei Maiskolben, Korn-Spindel-Gemischen und Körnermais. In Bild 9 und 10 ist die erzielte Zerkleinerung für diese Arten der Maisverwertung angegeben, in Bild 11 und 12 der zugehörige Zapfwellenleistungsbedarf.

Danach erfüllt bei Maiskolben nur die Variante 1 (19 mm ϕ , $\varphi_S = 230^\circ$) annähernd die Forderung nach grobem Schrot, die Abscheidung erfolgt über $\varphi_S = 230^\circ$. Demgegenüber ist bei Variante 2 (50,8 mm ϕ) nur eine geringe und bei Variante 3 (76,2 mm ϕ) keine weitere Zerkleinerung bei $\varphi_S = 230^\circ$ gegenüber $\varphi_S = 115^\circ$ nachweisbar, d.h. für diese Varianten ist $\varphi_S = 115^\circ$ (bzw. 94 $^\circ$ nach Tafel 2) ausreichend. Der Anteil an Schrot < 3 mm ist bei den Sieben der projizierten Schnittkantenlänge proportional, dies gilt für Reibböden für die Fraktion 3 bis 6 mm. Während Siebe auch den Anteil der Fraktionen > 10 mm unterschiedlich senken, sind die Unterschiede bei den Reibböden gering, Bild 9 unten, nur der Reibboden mit $\varphi_R = 30^\circ$ weist einen signifikant höheren Anteil an Überlängen > 40 mm aus. Mit der Sieb-Variante 2 (50,8 mm ϕ , $\varphi_R = 115/230^\circ$) wird eine der Reibboden-Variante 7 ($t = 50$ mm, $\varphi_R = 90^\circ$) vergleichbare Zerkleinerung bezüglich der Fraktionen > 10 mm erreicht. Die Absiebung eines Pflückschrotes, Bild 10 oben, weist aus, daß in diesem Fall φ_R für die gleiche Feinzerkleinerung so gewählt ist, daß der Anteil der Fraktionen > 10 mm und insbesondere > 40 mm (5,5 %) ansteigt. Dies entspricht der Forderung, den Rohfaseranteil evtl. durch einen Siebvorgang [22, 23] senken zu können.

Die Bilder 11 und 12 fassen die Ergebnisse der Leistungsbedarfsmessungen bei unterschiedlicher Nachzerkleinerung unter Angabe von Regressionsgeraden zusammen. Unterschiedliche TM-Gehalte sind ohne signifikanten Einfluß, Einzelwerte für nur 32,6 % TM liegen bei der Sieb-Variante 1 ebenfalls innerhalb des Streubereiches. Der Leistungsbedarf dieser Variante (19 mm ϕ , $\varphi_S = 230^\circ$) bestätigt die Feststellung, daß bei starker Nachzerkleinerung unterschiedliche theoretische Häcksellängen im angegebenen Bereich den Gesamtleistungsbedarf für Häckseln und Nachzerkleinerung nicht beeinflussen. Die Variante 1' (19 mm ϕ , $\varphi_S = 115^\circ$) weist bei einer stärkeren Feinzerkleinerung einen geringeren Leistungsbedarf als die Variante 2 (50,8 mm ϕ , $\varphi_S = 230^\circ$) auf. Der analoge Zusammenhang gilt für den Vergleich der Variante 2' (50,8 mm ϕ , $\varphi_S = 115^\circ$) und der Variante 3 (76,2 mm ϕ , $\varphi_S = 230^\circ$) bei vergleichbaren Anteilen der Fraktionen > 10 mm. Dies stimmt mit der theoretischen Betrachtung überein, daß die Nachzerkleinerung infolge der Geschwindigkeit in Schaufelrichtung v_s der Ausgangslänge proportional ist, weshalb die Feinzerkleinerung im ersten Bereich des wirksamen Siebwinkels erfolgt. Eine verbesserte Schrotung wird demnach nicht über eine Vergrößerung von φ_S , sondern nur über eine geringere Lochgröße a im Bereich 23 (Bild 2) erreicht.

Material: Maiskolben 47,9-51,2 %, Sorte Inra

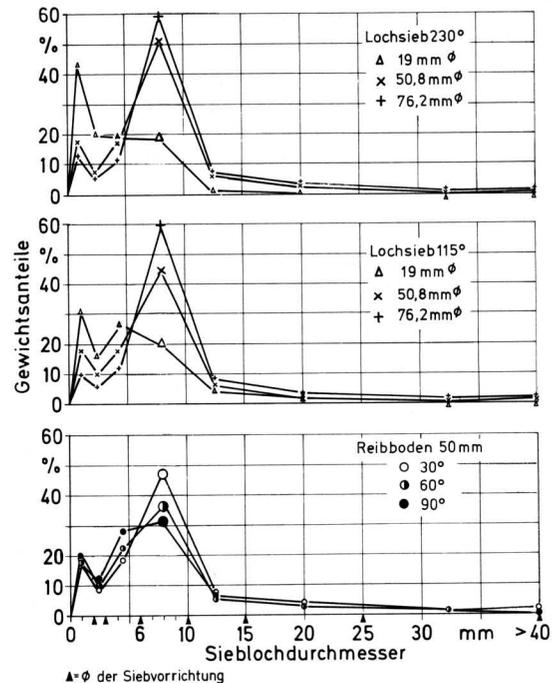


Bild 9. Ergebnis der Siebanalyse von Maiskolbenschrot verschiedener Nachzerkleinerungsvarianten (Sorte Inra).

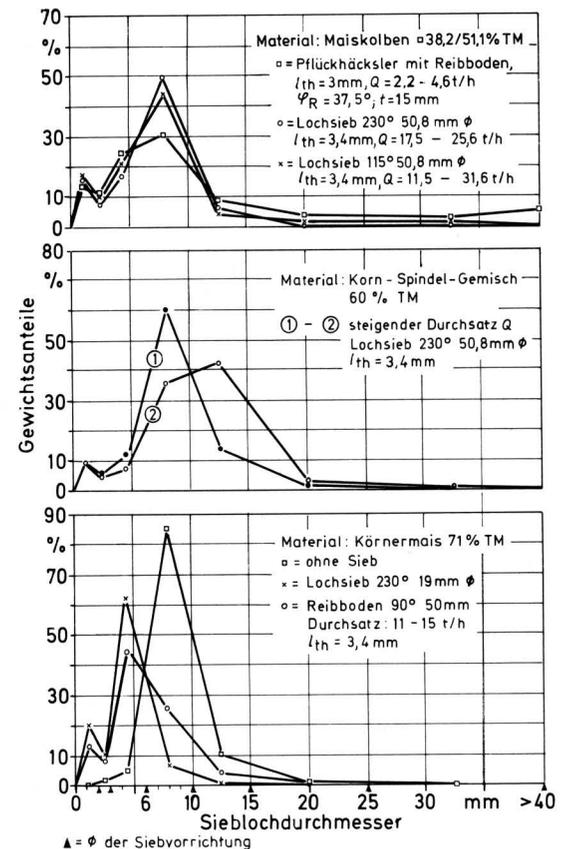


Bild 10. Ergebnis der Siebanalyse nach der Zerkleinerung von Maiskolben, Korn-Spindel-Gemisch und Körnermais mit verschiedenen Nachzerkleinerungsvarianten.

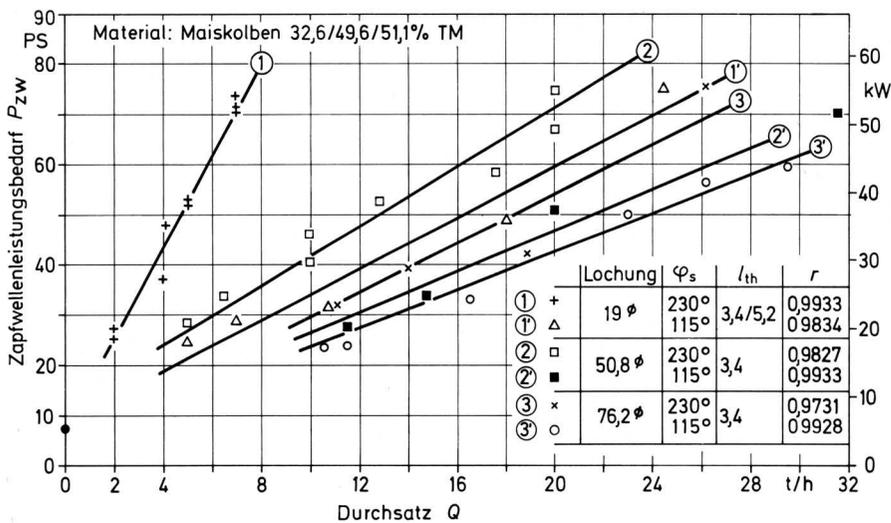


Bild 11. Zapfwellenleistungsbedarf für das Häckseln mit Nachzerkleinerung von Maiskolben in Abhängigkeit vom Durchsatz; verschiedene Siebvarianten und theoretische Häcksellängen (r ist der Korrelationskoeffizient der linearen Regression).

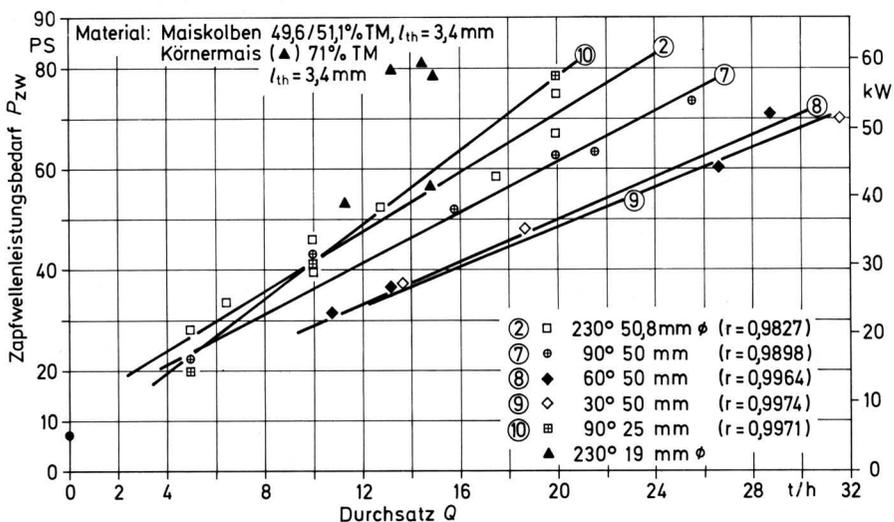


Bild 12. Zapfwellenleistungsbedarf für das Häckseln mit Nachzerkleinerung von Maiskolben in Abhängigkeit vom Durchsatz; verschiedene Nachzerkleinerungsvarianten und theoretische Häcksellängen; Nachzerkleinerung von Körnermais mit der Siebvariante 1 (19 mm ϕ , $\varphi_s = 230^\circ$).

Alle Reibbodenvarianten ergeben eine bessere Feinzerkleinerung als die Variante 3 (76,2 mm ϕ , $\varphi_s = 230^\circ$), obwohl der Reibbodenwinkel $\varphi_R \leq 90^\circ$ (Bild 9, Mitte und unten). Bei vergleichbarer Zerkleinerung (Bild 9, unten und Bild 10, oben) entsprechen sich auch die Werte des Leistungsbedarfs für Variante 2' (50,8 mm ϕ , $\varphi_s = 115^\circ$) und die Variante 8 ($t = 50$ mm, $\varphi_R = 60^\circ$). Die Zerkleinerung in der Fraktion < 6 mm (Bild 9, unten) und der Zapfwellenleistungsbedarf (Kurven 7, 8, 9 in Bild 12) nehmen mit wachsendem φ_R und damit größer werdender projizierter Schnittkantlänge ab. Der Anteil der Fraktion > 10 mm wird nur gering beeinflusst.

Für eine energiesparende Zerkleinerung bieten sich somit je nach Aufgabenstellung diese Möglichkeiten an:

1. Folge von Sieben unterschiedlicher Lochung bzw. mit über dem Siebwinkel φ_s zunehmender Lochgröße a .
2. Kombination von Reibboden im Anfangsbereich mit daran anschließendem Nachschneidesieb im Endbereich der Nachzerkleinerung.

Die erste Lösung wurde mit einem Sieb mit zunehmender Lochgröße (Bild 13, links) untersucht. Hierfür wurde Häckselr 4 verwendet ($\varphi_{12} = 72^\circ$). Das zum Vergleich herangezogene Sieb mit konstanter Lochgröße hatte 6 Lochreihen mit $a = 36$ mm ϕ (projizierte Schnittkantlänge 1180 mm, $\varphi_s = 55^\circ$), das mit unterschiedlicher Lochung 1 Reihe mit 54×54 mm und 5 Reihen mit $a = 20$ mm ϕ (projizierte Schnittkantlänge 1188 mm). Bei gleicher Feinzerkleinerung der Maiskolben konnte durch die angepasste Lochung der Leistungsbedarf bei 9 t/h (57,1–61,9 % TM) um 15 % gesenkt werden (r der Leistungsbedarfsgeraden $\geq 0,98$), Bild 14. Eine Schneidtrommel mit 20 Messern und Reibboden [22] erzielt nicht ganz dieselbe Feinzerkleinerung. Das Häckselgut ist durch den beabsichtigt hohen "Langgut"-Anteil gekennzeichnet, vergleiche hiermit auch die Bilder 9, 10 und Bild 15.

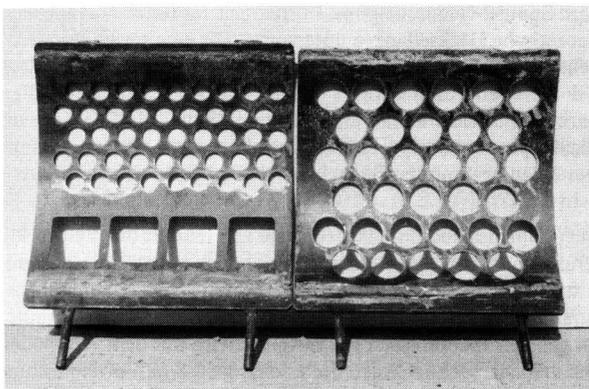


Bild 13. Nachschneidesiebe mit etwa gleicher projizierter Schnittkantlänge zur unterschiedlichen Nachzerkleinerung von Körnern und Lieschen.

Für Korn-Spindel-Gemische veranschaulicht Bild 10, Mitte, den Durchsatzeinfluss, ohne Berücksichtigung des Streubereiches der Ergebnisse.

Für einen Durchsatz von < 15 t/h wird mit der Variante 2 (50,8 mm ϕ , $\varphi_s = 230^\circ$) eine den Maiskolben vergleichbare Zerkleinerung, Bild 9, erzielt, und es ist die Annahme zulässig, daß hinsichtlich der Nachzerkleinerungsvarianten die gleichen Aussagen gelten. Die Lochung war demnach zu groß gewählt.

In Bild 10, unten, und Bild 12 sind für Körnermais die erzielte Zerkleinerung und der Leistungsbedarf (großer Streubereich) aufgetragen. Der Grund für die geringe Feinzerkleinerung der Variante 1 (19 mm ϕ , $\varphi_s = 230^\circ$) bei Körnermais gegenüber Maiskolben ist in dem höheren TM-Gehalt von Körnermais und der damit schnelleren Abscheidung (größeres v_s) zu sehen.

Die enge Verteilungskurve belegt eine dem groben Schrot noch vergleichbare Zerkleinerung. Reicht diese aus, stellt der Häckselr mit Nachzerkleinerungseinrichtungen eine Ergänzung konventioneller Schrotmühlen für größere Durchsätze und für geringe TM-Gehalte dar.

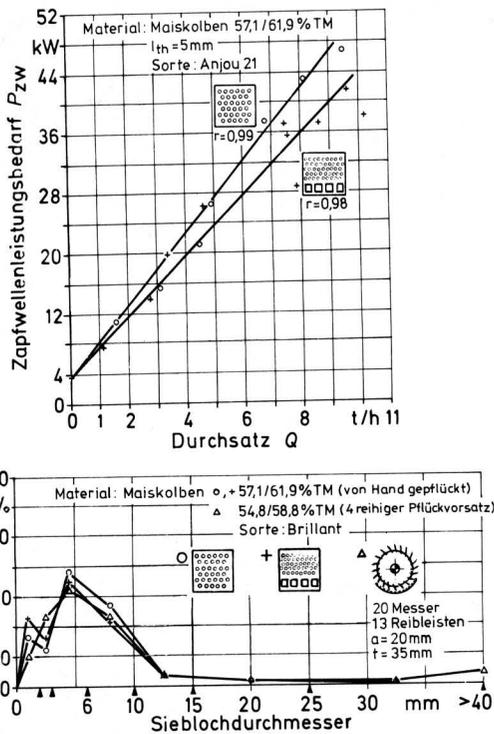


Bild 14. Leistungsbedarf und Größenverteilung bei der Zerkleinerung von Maiskolben mit Sieben unterschiedlicher Lochung und mit einer Vielmessertrommel.

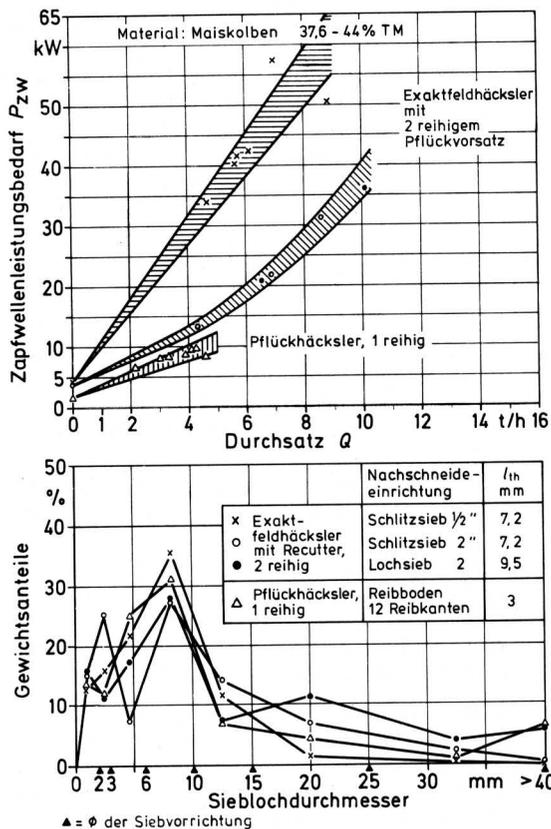


Bild 15. Zapfwellenleistungsbedarf von Exaktfeldhäckslern mit Nachzerkleinerung für die Maiskolbenernte in Abhängigkeit vom Durchsatz (oben) für unterschiedliche theoretische Häcksellänge und Nachschneideeinrichtungen; unten: zugehörige Teilchengrößenverteilungen.

6.2 Feldversuche

In den Feldversuchen waren die Prüfstandsversuche mit Maiskolben zu überprüfen und die erreichbaren Durchsätze der Häckslern mit 1- und 2-reihigen Pflückvorsätzen zu ermitteln. In Bild 15 sind der Zapfwellenleistungsbedarf und die erzielte Zerkleinerung aufgetragen, der Durchsatz hatte auf die Zerkleinerung keinen signifikanten Einfluß. Die theoretischen Häcksellängen wurden entsprechend den Einsatzempfehlungen gewählt. Der TM-Gehalt lag in der Erntesaison 1972 unter dem mehrjährigen Mittel. Der Rohfaseranteil betrug 11,9 bis 16,4 % der Trockenmasse.

Die Ergebnisse bestätigen die Prüfstandsversuche, wonach für Reibböden und Nachschneidesiebe bei gleicher Zerkleinerung die gleiche Leistung erforderlich ist. Der Durchsatz ist bei ausreichender Schlepperleistung auf ca. 5 t je Stunde und Reihe begrenzt. Bei den gegebenen Bedingungen hat die theoretische Häcksellänge einen Einfluß auf den Anteil der Fraktion > 6 mm, nach den Kurven der Größenverteilung (Bild 15, unten) wurde für $l_{th} = 9,5 \text{ mm}$ nicht die geforderte Zerkleinerung erreicht. Bei praxisgerechter Wahl der theoretischen Häcksellänge und der geeigneten Siebvariante erzeugen Exaktfeldhäckslern mit Nachschneidesieben (Recutter) ein homogeneres Material als Pflückhäckslern mit Reibböden. Ist eine nachträgliche Senkung des Rohfaseranteiles z.B. durch Absieben der Lieschen und damit des Längenanteiles > 40 mm erforderlich [23], stellt der Reibboden die geeignetere technische Lösung dar. Beim Exaktfeldhäckslern mit Nachschneidesieb ist zur Halbierung des Fraktionsanteiles > 10 mm etwa die doppelte Antriebsleistung erforderlich.

7. Zusammenfassung

Konventionelle Häckslerschneidwerke genügen den vielfältigen Anforderungen insbesondere hinsichtlich Feinzerkleinerung einzelner Häckselgutbestandteile nur, wenn Nachzerkleinerungseinrichtungen wie Nachschneidesiebe und Reibböden vorgesehen werden. In einer theoretischen Betrachtung des Materialflusses bei der Nachzerkleinerung durch Siebe (Recutter) und Reibböden wurden die Einflußgrößen definiert und die technischen Möglichkeiten abgeleitet. Eine Nachzerkleinerung erfolgt erst während der Material-Schleppphase, davor angeordnete Einrichtungen sind wirkungslos. In umfangreichen Prüfstandsversuchen wurde die Gültigkeit der theoretischen Betrachtungen untersucht. Beurteilungskriterien waren die erzielte Zerkleinerung und der zugehörige Leistungsbedarf in Abhängigkeit vom Durchsatz.

Die Nachschneidewirkung kann für Siebe durch eine projizierte Schnittkantenlänge bestimmt werden, einschränkende Bedingungen werden angegeben. Gerätetechnische Varianten der Reihenversuche waren Größe und Form der Lochung und die Sieblänge (Bogenmaß) sowie Teilung und Länge (Bogenmaß) der Reibböden. Es wurde die Nachzerkleinerung von Stroh, Luzerne, Maiskolben, Korn-Spindel-Gemischen und Körnermais für unterschiedliche theoretische Häcksellängen untersucht. Für eine starke Nachzerkleinerung durch Siebe mit einer projizierten Schnittkantenlänge in der Größenordnung vom 25fachen der Gegenschnitte ist die Stärke der Nachzerkleinerung der theoretischen Häcksellänge umgekehrt proportional, so daß sich der Leistungsbedarf insgesamt über einen bestimmten Bereich der theoretischen Häcksellänge nicht ändert.

Nachschneidesiebe sind die geeignete Einrichtung zur Feinzerkleinerung und Überlängensenkung, Reibböden hingegen insbesondere zur Feinzerkleinerung. Die untersuchten Nachzerkleinerungsvarianten wurden besonders auf ihre Eignung für Mais überprüft. Bei gleicher theoretischer Häcksellänge wird mit dem Reibboden eine dem Nachschneidesieb der Lochung 50,8 mm ϕ vergleichbare Feinzerkleinerung erzielt. Die Feinzerkleinerung erfolgt zu Beginn des Nachzerkleinerungsvorganges, so daß zur Optimierung derartiger Einrichtungen eine über dem Siebwinkel zunehmende Lochgröße oder die Kombination von Reibböden für die Feinzerkleinerung und Sieb zur Senkung des Überlängenteiles vorgeschlagen wird.

Die Versuchsergebnisse ermöglichen eine Auswahl der Sieb- und Reibbodenausführung in Abhängigkeit vom Durchsatz und der angestrebten Zerkleinerung.

Verwendete Formelzeichen

a	mm	Durchmesser bzw. Kantenlänge eines Sieb Loches
b	mm	Breite einer Reibleiste
l_{th}	mm	theoretische Häcksellänge
l_{thn}	mm	theoretische Häcksellänge der Nachschneideeinrichtung
P_{ZW}	kW	Zapfwellenleistungsbedarf
Q	t/h	Gutdurchsatz
r	—	Korrelationskoeffizient
r_{Tro}	mm	Trommelradius
s	—	Richtung auf der Wurfschaufelfläche
t	mm	Teilung der Reibboden-Leisten
TM	%	Trockenmasseanteil des Gutes
u_{Tro}	m/s	Umfangsgeschwindigkeit der Trommel
v	m/s	Geschwindigkeit eines Gutteilchens
v_s	m/s	Geschwindigkeit in Richtung der Schaufelfläche
v_M	m/s	Abwurfgeschwindigkeit eines Gutteilchens
α	Grad	Winkel zwischen Wurfschaufelfläche und Tangentialebene an den Trommelzylinder
α_0	Grad	Watenwinkel des Messers in r_{Tro} (in der Radialebene)
φ	Grad	Gehäusewinkel
φ_R	Grad	konstruktiver Reibbodenwinkel
φ_{Rw}	Grad	wirksamer Reibbodenwinkel
φ_S	Grad	konstruktiver Siebwinkel
φ_{Sw}	Grad	wirksamer Siebwinkel
φ_L	Grad	Freiwinkel der Reibleiste
φ'_R	Grad	Winkel über (t - b)
φ'_S	Grad	Winkel über a
λ	Grad	Neigungswinkel zwischen Messer und Gegenschneide (Schnittwinkel)
μ	—	Reibungsbeiwert Gut-Messerfläche
ω	1/s	Winkelgeschwindigkeit der Trommel

Schrifttum

- [1] Brenner, W.G. u. K. Grimm: Schneid- und Wurfvorgänge in Trommelfeldhäckslern. Landt. Forschung Bd. 13 (1963) Nr. 5, S. 142/50.
- [2] Baader, W.: Die Beurteilung der Funktion von Halmgut-zerkleinerungsmaschinen. Landt. Forschung Bd. 18 (1970) Nr. 6, S. 164/69.
- [3] Weidinger, A.: Technische und funktionelle Untersuchungen an ausgewählten mechanischen Fütterungsanlagen für Rinder. Diss. TU München 1967.
- [4] Kromer, K.-H.: Mechanisierung der Futterwirtschaft in den USA. Grüne Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan Nr. 13, 1971.
- [5] Kromer, K.-H.: Tendenzen im Exaktfeldhäckslerbau in den USA und in Deutschland. Grundl. Landtechnik Bd. 21 (1971) Nr. 4, S. 110/14.
- [6] Maier, L. u. M. Wagner: Herstellung und Verteilung von Futtermischungen. Landtechnik Bd. 34 (1979) Nr. 2, S. 72/76.
- [7] Anonym: Coop. Extension Programs, University of Wisconsin, Madison, A 1178, July 1978, S. 6.
- [8] Schneider, A.: Das Arbeitsverfahren Maiskolbensilage in der Schweinemast. KTBL-Berichte über Landtechnik Nr. 148. Hilstrup: KTBL-Schriften-Vertrieb 1972.
- [9] Bernhard, M.: Experimentelle Untersuchungen über die Zerkleinerung von Gersten- und Maissilage mit Walzenmühlen. KTBL-Berichte über Landtechnik Nr. 110. München-Wolfratshausen: Helmut Neureuter Verlag 1967, 89 S.
- [10] Orth, H.W. u. H. Peters: Ein Verfahren zur Bestimmung der Halmlänge mit Hilfe eines Schwingsiebes. Grundl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 6, S. 187/88.
- [11] Kromer, K.-H. u. J. Dallinger: Schnellmethode zur Bestimmung der Häcksellängenverteilung. Bedienungsanleitung Landtechnik Weihenstephan 1972.
- [12] Finner, M.F., J.E. Hardzinski u. L.L. Pagel jr.: Evaluating particle length of chopped forages. ASAE Technical Paper No. 78-1047, St. Joseph, Mich. 1978.
- [13] Warner, R.G.: The impact of diet on milk fat percentage. Dept. of Animal Husbandry, Cornell University, Ithaca, N.J.
- [14] Roth-Maier, D.A., J. Kirchgessner, K. Grimm u. F.X. Roth: Zur Verfütterung verschiedener Maiskolbenschrotsilagen in der Schweinemast. Das Wirtschaftseigene Futter Bd. 19 (1973) H. 2, S. 73/79.
- [15] Barrington, G.P., O.I. Berge u. M.F. Finner: Effect of using a re-cutter in a cylinder cut forage harvester for chopping low moisture grass silage. ASAE-Paper No. 69-145, St. Joseph, Mich. 1969.
- [16] Dervedde, W. u. H. Peters: Wirkung und Leistungsbedarf von Nachschneidesystemen für Exakthäcksler. Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 1, S. 23/30.
- [17] Dervedde, W. u. H. Honig: Auswirkungen der Häcksellänge auf das Silomaisverfahren. Landbauforschung Völkenrode Bd. 27 (1977) Nr. 1, S. 60/66.
- [18] Kromer, K.-H.: Ein Beitrag über die Häckselgutförderung durch die Schneid-Wurf-Trommeln der Exaktfeldhäcksler. Grundl. Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 3, S. 95/103.
- [19] Orth, H.W.: Die Beschleunigung des Gutes durch das Werkzeug bei Halmgut-Zerkleinerungsmaschinen. Landt. Forschung Bd. 18 (1970) H. 6, S. 169/74.
- [20] Ige, M.T. u. M.F. Finner: Particle movement through the cutterhead of a cylindrical type forage harvester. Transactions ASAE Bd. 18 (1975) Nr. 6, S. 1017/20.
- [21] Chowdhury, M.H. u. W.F. Buchele: The nature of corn kernel damage inflicted in the shelling crescent of grain combines. Transactions ASAE Bd. 21 (1978) Nr. 4, S. 610/14.
- [22] Grimm, K.: Körnermaisernteverfahren mit dem Pflückhäcksler. Vortrag VDI-Tagung Landtechnik, 1977.
- [23] Grimm, K.: Lieschkolbenschrot — Das Produkt eines neuen Körnermais-Ernteverfahrens in Lieschkolbenschrot, 2. Folge. Grüne Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan Nr. 3, 1978, S. 3/30.
- [24] Futterwerttabellen der DLG für Wiederkäuer. Arbeiten der DLG Bd. 17, Frankfurt a.M. 1968.
- [25] Futterwerttabellen der DLG für Schweine. Arbeiten der DLG, Bd. 50, Frankfurt a.M. 1965.