

k_f	Wasserdurchlässigkeitsbeiwert bei Sättigung
$m_{\bar{a}}, m_{\bar{b}}, m_{\bar{c}}$	mittlere Fehler von $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}$
n	Porenvolumen
n_0	Ausgangsporenvolumen
n_p	Porenvolumen nach Belastung p
p	Belastung
pF	$\log S_{cmWs}$
r	Korrelationskoeffizient
S	Saugspannung
s	Setzung
s'	bezogene Setzung
t	Zeit
w	Wassergehalt
ρ_t	Dichte des trockenen Bodens

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] *Sommer, C.*: Die Verdichtungsempfindlichkeit zweier Ackerböden. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 26 (1975) Diss. TU Braunschweig.
- [2] *Söhne, W.*: Versuch einer Prognose der Leistung und Produktion der Ackerschlepper sowie ihrer konstruktiven Weiterentwicklung. Grundl. Landtechnik Bd. 22 (1972) Nr. 6, S. 161/92.
- [3] *Söhne, W.*: Die Verformbarkeit des Ackerbodens. Grundl. Landtechnik (1952) Nr. 3, S. 51/59.
- [4] *Söhne, W.*: Grundlagen für eine landtechnische Bodenmechanik. Grundl. Landtechnik (1956) Nr. 7, S. 11/27.
- [5] *Krick, G.*: Druck- und Schubverteilung unter Rädern und Reifen auf nachgiebigem Boden unter Berücksichtigung der Reifendeformation. Proc. 3. Int. Konf. I.S.T.V.S. Bd. II (1969) S. 50/75.
- [6] *Holm, I.C.*: Das Verhalten von Reifen beim mehrmaligen Überfahren einer Spur. Proc. 3. Int. Konf. I.S.T.V.S. Bd. II (1969) S. 96/123.
- [7] *Sommer, C., H. Steinkampf, M. Zach u. W. Czeratzki*: Ein Beitrag zum Problem der Bodenverdichtung beim Einsatz leistungsstarker Schlepper. Landbauforschung Völkenrode Bd. 25 (1975) Nr. 2, S. 69/74.
- [8] *Danfors, B.*: Compaction in the subsoil. Swedish Institute of Agricultural Engineering. Spez. Mitt. S. 24 (1974).
- [9] *Hakansson, I.*: The sensitivity of different crops to soil compaction. Proc. 6. Int. Conf. on Soil Tillage, Wageningen.
- [10] *Czeratzki, W.*: Die Ansprüche der Pflanzen an den physikalischen Bodenzustand. Landbauforschung Völkenrode Bd. 22 (1972) Nr. 1, S. 29/36.
- [11] • *Barnes, K.K., W.M. Carleton, H.M. Taylor, R.J. Throckmorton u. G.E. Vanden Berg*: Compaction of agricultural soils. ASAE Monograph 1971.
- [12] *Altemüller, H.J.*: Gedanken zum Aufbau des Bodens und seiner begrifflichen Erfassung. Z. Kulturtechnik Bd. 3 (1962) Nr. 6, S. 323/36.
- [13] *Altemüller, H.J., W. Czeratzki u. C. Sommer*: Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben "Manöverschäden". Interner Bericht der Institute für Pflanzenbau und Biochemie des Bodens FAL 1973.
- [14] *Sitkei, G.*: Das Verhalten von Ackerschlepperreifen auf nachgiebigem Boden. Grundl. Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 2, S. 33/36.
- [15] *Cerny, V.*: Veränderungen des physikalischen Bodenzustandes und die Beeinflussung der Vegetationsfaktoren durch die Bodenbearbeitung. Sammelchrift der Vorträge der Int. Wiss. Tagung Brünn 1966.
- [16] *Söhne, W.*: Druckverteilung und Bodenverformung unter Schlepperreifen. Grundl. Landtechnik (1953) Nr. 5, S. 49/63.
- [17] *Czeratzki, W.*: Eine keramische Platte zur serienmäßigen Untersuchung von Porengrößen im Boden im Spannungsbereich bis ca. 1 Atm. Z. Pflanzenernähr., Düngung, Bodenkd. Bd. 81 (1958) Nr. 1, S. 50/56.
- [18] *Kezdi, A.*: Grundlagen einer allgemeinen Bodenphysik. VDI-Z. Bd. 108 (1966) Nr. 5, S. 161/66.
- [19] *Moreno, F., C. Sommer u. W. Czeratzki*: Einige bodenphysikalische Untersuchungen an der Schleppersohle einer degradierten Schwarzerde. Landbauforschung Völkenrode Bd. 24 (1974) Nr. 2, S. 123/32.
- [20] *Feuerlein, W.*: Zum Einfluß des Schlepperrades auf den Acker. Landbauforschung Völkenrode Bd. 11 (1961) Nr. 3, S. 69/72.
- [21] *Hartge, K.H.*: Die Erfassung der Kontinuität der groben Poren aus ihrem Anteil im Boden und dem Permeabilitätskoeffizienten. Z. Pflanzenernähr., Düngung, Bodenkd. Bd. 94 (1961) Nr. 2/3, S. 147/54.
- [22] *Sommer, C., K.W. Stoinev u. H.J. Altemüller*: Das Verhalten vier verschiedener Modellböden unter vertikaler Belastung. Landbauforschung Völkenrode Bd. 23 (1972) Nr. 1, S. 45/56.

Wirkung und Leistungsbedarf von Nachschneidesystemen für Exakthäcksler

Von Werner Darnedde und Heinrich Peters, Braunschweig-Völkenrode*)

DK 631.353.7:633.004.12

Durch den Einsatz von Nachschneidesystemen soll die Verdichtbarkeit des Häcksels erhöht und seine Handhabung verbessert werden. Bezogen auf die zusätzliche Zerkleinerung ist der Leistungsbedarf relativ hoch. Der Zerkleinerungsgrad läßt sich durch die Wahl der Sieblochgröße beeinflussen. Die Schüttdichte des Häcksels nimmt um 8 - 15 % zu.

*) Dr. sc. agr. Werner Darnedde ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Ing. (grad.) Heinrich Peters Mitarbeiter am Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

1. Einleitung

Über den Wert eines kurzen Exakthäcksels für die Silagebereitung herrscht auch in der Praxis heute allgemein Klarheit. Kurzes Häcksel erhöht die Dichte, begünstigt den Siliervorgang und verbessert die Handhabung bei der Ein- und Auslagerung entscheidend. Die einzelnen Faktoren haben für die verschiedenen Verfahrensketten unterschiedliche Bedeutung. Eine allgemeine Quantifizierung des Einflusses der Häcksellänge bzw. der Häcksellängenverteilung ist daher nur schwer möglich. Dies gilt insbesondere für eine über das heute übliche Maß — theoretische Häcksellänge von 4 ÷ 6 mm bei Silomais und 10 ÷ 20 mm bei Welksilage — hinausgehende Zerkleinerung, wie sie durch den Einsatz von Nachschneidesystemen möglich ist [1 bis 4]. Die Motive zur Einführung der Nachschneidevorrichtungen waren verschiedener Art. Der Übergang in

der Ernte vom Grünmais zu Silomais im Teigreifstadium mit höheren Trockenmassegehalten brachte das Problem der Zerkleinerung der Überlängen des Häcksels. Diese bestehen in erster Linie aus unzerkleinerten Lieschen, die sich in diesem Stadium besonders schlecht häckseln lassen. Ein weiterer Grund bestand in der Einführung des Verfahrens der Kolbenmaissilierung [5], die zum Bau von speziell auf den Einsatz von Nachschneidesystemen abgestimmten Trommelhäckslern führte.

Die Nachschneidesysteme sind in den USA entwickelt worden und werden daher üblicherweise als "Recutter" bezeichnet. Über ihren dortigen Einsatz liegen nur wenige Berichte [6 bis 9] vor. In dem nachfolgenden Beitrag soll daher im wesentlichen über eigene Untersuchungen über den Leistungsbedarf und einige für die Silagebereitung wichtige Eigenschaften des Häcksels berichtet werden. Damit wird versucht, eine Teilantwort zu geben auf die von Zimmer [4] gestellte Frage, "was weitere technische Verbesserungen noch zu bringen vermögen" und welcher Aufwand dafür erforderlich ist. Ein wesentlicher Aspekt dieser Fragestellung ist die Verbesserung der Silierfähigkeit. Hierüber werden zur Zeit gemeinsam mit dem Institut für Grünlandwirtschaft und Futtermittelkonservierung der FAL Versuche durchgeführt. Über diese noch nicht abgeschlossenen Versuche wird zu gegebener Zeit berichtet werden.

2. Konstruktive Gestaltung des Häckslers und der Nachschneidesysteme

Für die Untersuchungen wurde ein stationärer Häcksler eingesetzt, dessen konstruktive Daten aus der in Bild 1 dargestellten Schemazeichnung zu entnehmen sind. Der Neigungswinkel λ der Messer gegenüber der Gegenschneide beträgt $17,5^\circ$, der Schnitt- oder Anstellwinkel 65° ; er ist damit größer als sonst gebräuchliche Winkel von $40 \div 55^\circ$. Der größere Anstellwinkel bewirkt ein schnelleres Abscheiden der Teilchen, hat aber einen höheren spezifischen Leistungsbedarf zur Folge. Der Watenwinkel β beträgt 33° . Bei 610 mm Trommeldurchmesser ist die Trommelbreite mit 550 mm um 100 bis 150 mm breiter als die vergleichbarer Feldhäckslers. Dies führt zu geringerer Pakethöhe, was im allgemeinen mit geringerem spezifischen Leistungsbedarf verbunden ist.

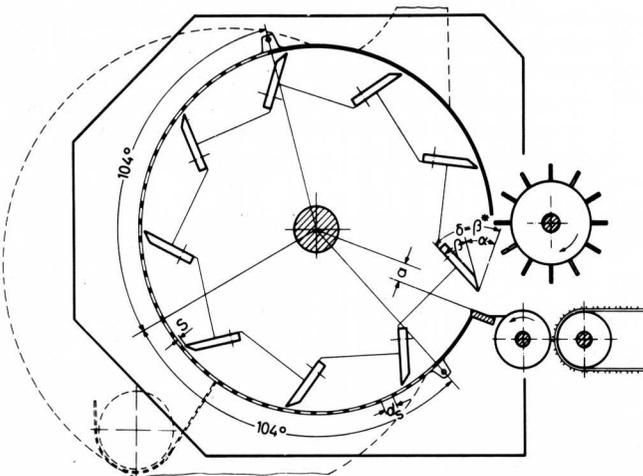


Bild 1. Trommelhäckslers mit Recutter.

Neigungswinkel	$\lambda = 17,5^\circ$ (s. Bild 2 bis 4)
Schnittwinkel	$\delta = 65^\circ$
Watenwinkel	$\beta = 33^\circ$
Trommeldurchmesser	$d = 610$ mm
Trommelbreite	$b = 550$ mm
Messerszahl	$z = 9$

Das Trommelgehäuse besteht im wesentlichen aus 2 Mantelsieben, die kurz unterhalb der Gegenschneide beginnen. Sie umfassen jeweils einen Umfangswinkel von 104° . Der Abstand zwischen Messerkante und Sieb beträgt im Mittel $1,0 \div 1,5$ mm. Die Mantelsiebe unterscheiden sich nach der Art der Lochung. Es werden Siebe

mit runden, quadratischen und schlitzartigen Löchern verwendet. Von der Funktion her lassen sie sich nach der Größe der einzelnen Öffnungen, der Gesamtöffnungsfläche und der projizierten Schnittkantenlänge unterscheiden. Die Schnittkantenlänge ergibt sich dabei als Summe der Projektionen der Löcher auf eine gedachte Mantellinie. Die Daten der einzelnen Siebe sind in Tafel 1 zusammengefaßt.

Siebart	Öffnungsweite mm	Gesamtöffnungsfläche cm ²	Proj. Kantenlänge cm
Rundlochsieb	26	1195	585
Rundlochsieb	31	1320	542
Rundlochsieb	76	1360	228
Vierkantlochsieb	100	1600	160
Schrägschlitzsieb	35*	1113	318

* Schlitzbreite

Tafel 1. Eigenschaften der verwendeten Siebe.

Der Tafel ist zu entnehmen, daß mit der Größe der Einzelöffnungen auch die Gesamtöffnungsfläche zunimmt und die Schnittkantenlänge abnimmt. Hieraus hat Kromer versucht, eine Beziehung zwischen Öffnungsfläche, Schnittkantenlänge, Zerkleinerungsgrad und Leistungsbedarf abzuleiten [9].

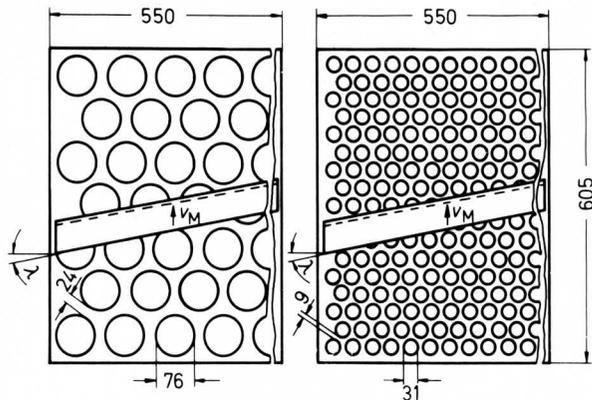
Die Siebe sind in Bild 2 bis 4 schematisch dargestellt. Die Schrägschlitzsiebe in Bild 3 unterscheiden sich bei sonst gleichen Abmessungen nur im Neigungswinkel gegenüber dem Vektor der Messerbewegung. Die Öffnungen des linken Siebes sind gleichsinnig mit dem Messer, nur etwas stärker geneigt. Bei einer Bewegung des Messers entsprechend dem eingezeichneten Vektor v_M wandert der Berührungspunkt zwischen der Messerkante und der Lochkante und damit der Schnittpunkt von links nach rechts. Bei dem im rechten Bild dargestellten Sieb ist dies genau umgekehrt. Im Bild 4 ist als besondere Nachschneidevorrichtung eine Reibplatte gezeigt. Sie besteht aus auf dem Trommelmantel angeordneten Vierkantstäben. Die Platte ist geschlossen und ist daher mit einer freien Öffnung oder einem Sieb zu kombinieren. Ihre Aufgabe besteht darin, die Maiskörner möglichst vollzählig anzuschlagen.

Aus den Erfahrungen der ersten Versuche, die einen relativ hohen, zum großen Teil auf Reibungsverlusten beruhenden Leistungsbedarf der Recutter ergaben, wurde ein weiteres System entwickelt, das in Bild 5 dargestellt ist. Ausgehend von der Überlegung, daß die Wirkung der Recutter auf der Schaffung von zusätzlichen Schnittkanten beruht, wurden diese in größerer Zahl auf rotierenden Walzen am Umfang der Häckseltrommel angeordnet. Zwischen den Schnittkanten befinden sich keine Reibflächen. Neben der Schaffung von Schnittkanten dienen die Walzen zur Förderung des Häcksels aus dem Trommelgehäuse. Die im Bild gezeigten Varianten a und b unterscheiden sich im Walzendurchmesser und der Zahl der Schnittkanten. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse beziehen sich nur auf die Version a.

3. Versuchsdurchführung

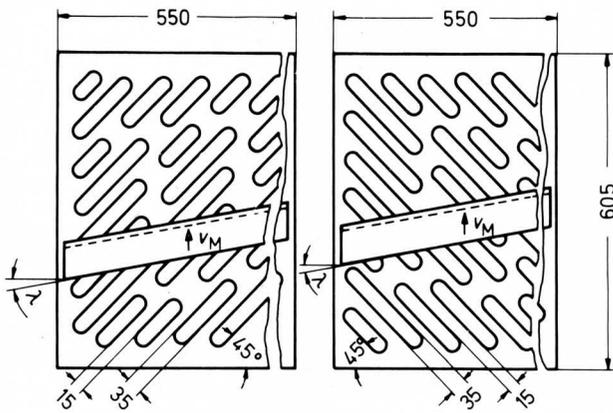
Die Versuche wurden stationär in einer Halle durchgeführt. Die Häckseltrommel wurde durch einen regelbaren Gleichstrommotor mit einer Nennleistung von 100 kW angetrieben. Die Leistungsmessung erfolgte über eine Drehmomentmeßnabe. Die Versuche wurden mit einer konstanten Drehzahl von 1000 1/min gefahren,

was einer Umfangsgeschwindigkeit der Schneidtrommel von 31,4 m/s entspricht. Das Material wurde über ein separat angetriebenes, endloses Förderband mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s zugeführt, der Durchsatz durch Ändern der Belegungsmenge je Meter Förderband verändert.



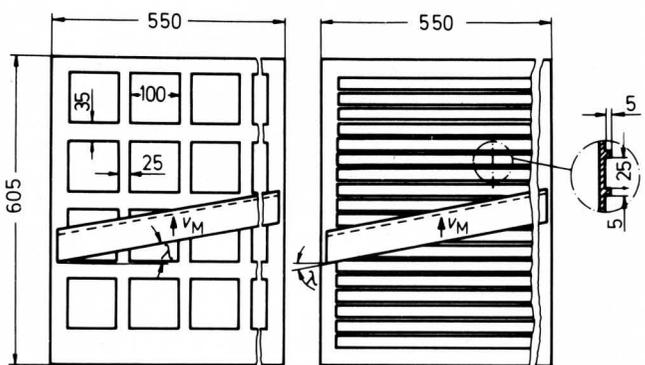
Rundlochsiebe (Abwicklungen)
Variante 4 Variante 3

Bild 2.



Schrägschlitzsiebe (Abwicklungen)
Variante 8 Variante 9

Bild 3.



Vierkantlochsieb Reibplatte (ohne Durchgang)
Variante 5 Variante 6

Bild 4.

Der Zerkleinerungsgrad wurde durch eine Siebanalyse mit konstant gehaltenen Parametern bestimmt. Die Ergebnisse werden in Form von Rückstandssummenkurven dargestellt. Soweit nicht anders beschrieben, wurde eine theoretische Häcksellänge von 5 mm eingestellt.

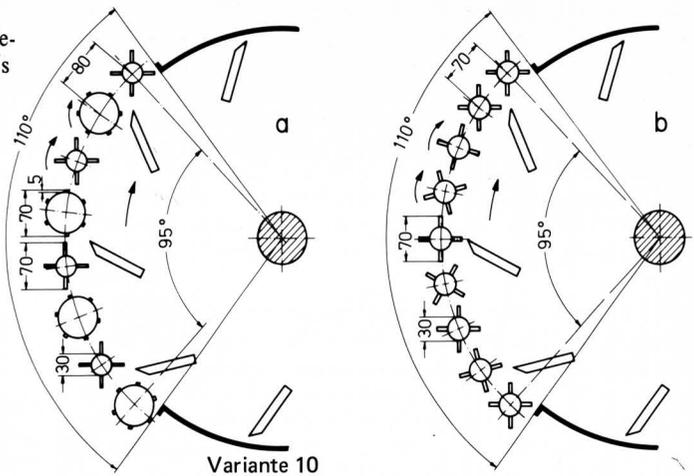


Bild 5.

Bild 2 bis 5. Verschiedene Recuttersysteme.

Da die Materialeigenschaften sich sehr stark auf den Leistungsbedarf auswirken, wurde für jede Versuchsreihe der Leistungsbedarf des Häckslers ohne Nachschneidesystem erneut bestimmt und als Bezugsgröße gewählt. Neben Zerkleinerungsgrad und Leistungsbedarf wurden das Schüttgewicht des Häckslers nach dem ASAE-Standard für Pellets und die Verdichtung bei einer Belastung von 1 bar ermittelt. Der Bedeutung für die Silierung entsprechend wurden in erster Linie Versuche mit Silomais durchgeführt. Soweit sie interessant sind, werden auch Ergebnisse von Versuchen mit Gras erwähnt. Zur Vereinfachung der Darstellung der Versuchsergebnisse werden die einzelnen Kombinationen der Nachschneidesysteme entsprechend der Tafel 2 als Varianten numeriert. Diese Variantennummern werden anschließend zur Bezeichnung der Systeme verwendet.

Variante 1:	Exakthäcksler ohne Nachschneidesystem	
Variante 2:	Exakthäcksler mit 2 Rundlochsieben	25 mm ϕ
Variante 3:	Exakthäcksler mit 2 Rundlochsieben	31 mm ϕ
Variante 4:	Exakthäcksler mit 2 Rundlochsieben	76 mm ϕ
Variante 5:	Exakthäcksler mit 2 Vierkantlochsieben	100 mm
Variante 6:	Exakthäcksler mit 1 Reibplatte	
Variante 7:	Exakthäcksler mit 1 Reibplatte und 1 Rundlochsieb	76 mm ϕ
Variante 8:	Exakthäcksler mit 2 Schrägschlitzsieben	– gleiche Neigung
Variante 9:	Exakthäcksler mit 2 Schrägschlitzsieben	– entgegengesetzte Neigung
Variante 10:	Exakthäcksler mit rotierenden Walzensternen	

Tafel 2. Zusammenstellung der verwendeten Nachschneidesysteme.

4. Versuchsergebnisse

4.1 Leistungsbedarf und Zerkleinerungsarbeit des Häckslers und der Nachschneidesysteme

Zum Verständnis der Wirkungsweise des Recutters soll zunächst ein Versuch zur Ermittlung der Materialabscheidungsfunktion der Häckseltrommel diskutiert werden. Bei offener Häckseltrommel wurden die an den einzelnen Umfangsabschnitten ausgeworfenen Häckselmengen separat aufgefangen und mengenmäßig bestimmt.

Das Ergebnis für Mais zeigt das Diagramm in Bild 6. Danach werden bereits im ersten Abschnitt, der einen Umfangswinkel von 26° erfaßt, nahezu 60 % des Materials abgeschieden. Zusammen mit dem zweiten Abschnitt, also im Bereich von 52° Umfangswinkel, sind es schon fast 90 %. Eine Änderung des Trockenmassegehalts von 27,4 auf 31,0 % zeigte nur einen geringen Einfluß.

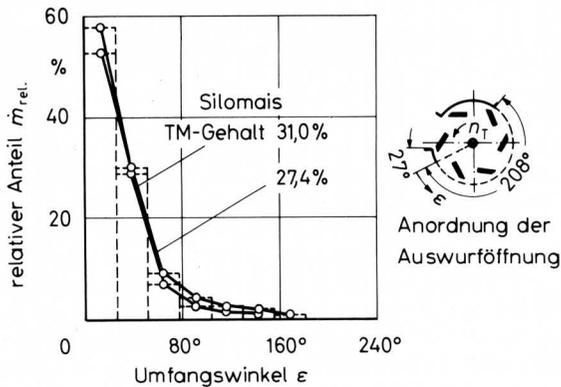


Bild 6. Verteilung des Durchsatzes über der Auswurföffnung. Trommeldrehzahl $n_T = 1000$ 1/min.

Bei Gras war eine etwas gleichmäßigere Verteilung des Auswurfs auf die Trommelöffnung festzustellen. Jedoch waren auch hier in den ersten drei Abschnitten, also im Bereich des Umfangswinkels ϵ von 0 bis 78° bereits 75 % des Materials abgeschieden. Eine Änderung des Trockenmasse (TM)-Gehalts von 23,5 auf 49,5 % ergab, daß das trockene Material etwas später abgeschieden wird. Dies Ergebnis deckt sich mit den Berechnungen von Orth [10].

Beim Einsatz von Recuttersieben wurden bei Mais von 1. Sieb, also im Bereich des Umfangswinkels ϵ von 0 bis 104° nur etwa $55 \div 60$ % und vom 2. Sieb die restlichen $40 \div 45$ % abgeschieden.

Dies Ergebnis zeigt, daß die Materialteilchen im wesentlichen nicht radial auf die Siebe zufliegen und beim Durchgang vom Messer erfaßt werden, wie es für einen günstigen Leistungsbedarf wünschenswert wäre. Die Teilchen treffen vielmehr recht frühzeitig auf das erste Sieb auf. Die dabei nicht abgeschiedenen Teile werden von den Messern erfaßt und tangential an den Siebwänden entlang transportiert und herausgedrückt. Dadurch entstehen große Reibungsverluste. Außerdem wird das Material zum Teil nicht gehäckselt, sondern der Länge nach aufgeschlitzt. Dies ergibt zwar einen besseren Aufschluß und eine wollige Struktur des Häcksels. Die wollige Struktur des Häcksels kann jedoch besonders bei Gras eine schlechtere Verdichtbarkeit bewirken, wie frühere Versuche gezeigt haben [11]. Eine Verminderung des Anstellwinkels δ würde nach den Berechnungen von Orth [10] eine günstigere Verteilung des Häcksels am Umfang ergeben. Ob jedoch die Ausscheidung noch ausreichen würde, kann nach den bisherigen Erkenntnissen nicht gesagt werden.

Der Leistungsbedarf für die drei Varianten mit den Rundlochsieben ist in dem Diagramm auf Bild 7 dargestellt. Danach ist der Leistungsbedarf der Variante 4 (Siebe mit 76 mm ϕ) im unteren Durchsatzbereich sogar geringfügig kleiner als der des Häckslers ohne Recutter (Variante 1). Dies erklärt sich aus den geringeren gemessenen Leerlaufleistungen infolge geringerer Luftförderung bei dem Häckslers mit eingebauten Sieben. Mit zunehmendem Durchsatz nimmt der Leistungsbedarf der Variante 1 nahezu linear zu. Die Variante 4 zeigt einen leicht progressiven, die Varianten 2 und 3 einen stark progressiven Anstieg im Leistungsbedarf. Bei der Berechnung des spezifischen, auf den Durchsatz bezogenen Leistungsbedarfs zeigen die Kurven für den Recutter jeweils ein deutliches Minimum, Bild 8. Es liegt bei kleinen Lochdurchmessern bei geringeren Durchsätzen als bei größeren Lochdurchmessern. Der Häckslers selbst zeigt erwartungsgemäß eine Abnahme des spezifischen Leistungsbedarfs mit wachsendem Durchsatz.

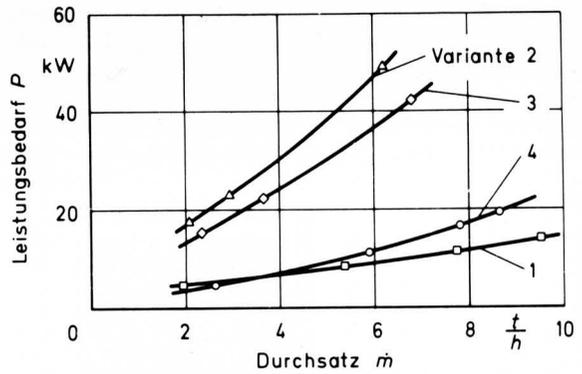


Bild 7. Leistungsbedarf als Funktion des Durchsatzes für verschiedene Recuttervarianten. Silomais TM-Gehalt $27,5 \div 31,0$ %.

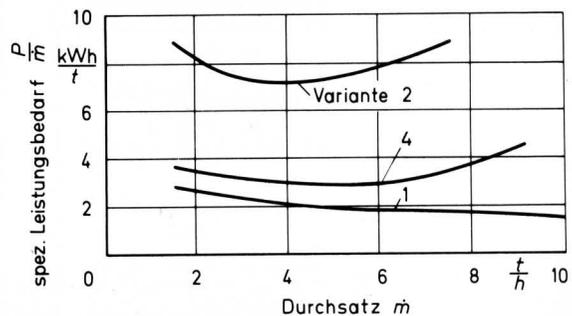


Bild 8. Spezifischer Leistungsbedarf in Abhängigkeit vom Durchsatz für verschiedene Recuttervarianten. Silomais TM-Gehalt $27,5 \div 31,0$ %.

Bei den Varianten 2 und 3 wurde schon bei Durchsätzen zwischen 6 und 7 t/h die Verstopfungsgrenze erreicht. Bei der Variante 4 wurde sie bei den in dieser Versuchsreihe gefahrenen Durchsätzen bis etwa 28 t/h nicht erreicht. Vergleicht man dieses Ergebnis mit den in der vorstehenden Tafel 2 angegebenen Öffnungsflächen, wird sofort deutlich, daß bei geometrisch ähnlichen Öffnungen der Durchsatz und der Leistungsbedarf im wesentlichen nicht von der Gesamtöffnungsfläche des Siebes, sondern von der Größe der Einzelöffnung bestimmt werden. Große Öffnungen erlauben größere Durchsätze, haben einen geringeren Leistungsbedarf bei ebenfalls geringerer Zerkleinerungsarbeit. Dies zeigt Bild 9 mit der Darstellung der Halmlängenverteilung der einzelnen Varianten. In dem Diagramm ist das Ergebnis der Siebanalyse durch Rückstandsummenkurven dargestellt. Die Variante 1 zeigt noch einen Überlängenanteil von ca. 10 % über 25 mm und einen Anteil von etwa 4 % über 40 mm. Da es sich hierbei in erster Linie um die sehr leichten Lieschen handelt, ist die Zerkleinerung derselben noch unbefriedigend. Bei der Variante 4 sind diese Anteile gegenüber der Variante 1 auf $1/3$ reduziert, während im Bereich $0 \div 5$ mm keine wesentliche Änderung erfolgt ist. Ein so großes Sieb erfüllt also in erster Linie die Forderung nach Verminderung der Überlängenanteile. Die beiden übrigen Varianten 2 und 3 weisen einen Anteil von 60 bzw. 75 % ≤ 5 mm auf. Die Halmlängenanteile über 10 mm sind minimal und solche über 25 mm nicht mehr vorhanden. Eine derartige Zerkleinerung dürfte bereits an der unteren Grenze der Strukturanforderungen für die Verdauung bei Wiederkäuern liegen.

Von größerer praktischer Bedeutung sind daher die Ergebnisse der in Bild 10 dargestellten Versuchsreihe. Wiederum im Vergleich zur Variante 1 sind die Kurven des Leistungsbedarfs der Varianten 6, 7 und 10 aufgetragen. Die Variante 6 ist diejenige mit einer Reibplatte an der Stelle des ersten Siebes und einer freien Austrittsöffnung an der Stelle des sonst eingesetzten zweiten Siebes. Diese Reibplatte hat die Aufgabe, die Maiskörner möglichst vollzählig

anzuschlagen. Durch diesen Aufschluß soll die Verdauung im Pansen erleichtert werden. Das Diagramm zeigt, daß durch die Reibplatte der Leistungsbedarf nahezu verdoppelt wird. Eine weitere Steigerung erfährt der Leistungsbedarf, wenn die freie Öffnung mit einer Siebplatte (76 mm ϕ , Variante 7) verschlossen wird, um auch eine Nachzerkleinerung der Lieschen zu erzielen. Als vierte Kurve ist der Leistungsbedarf des Recutters mit den rotierenden Walzensternen (Variante 10) eingezeichnet. Er liegt knapp über dem der Reibplatte.

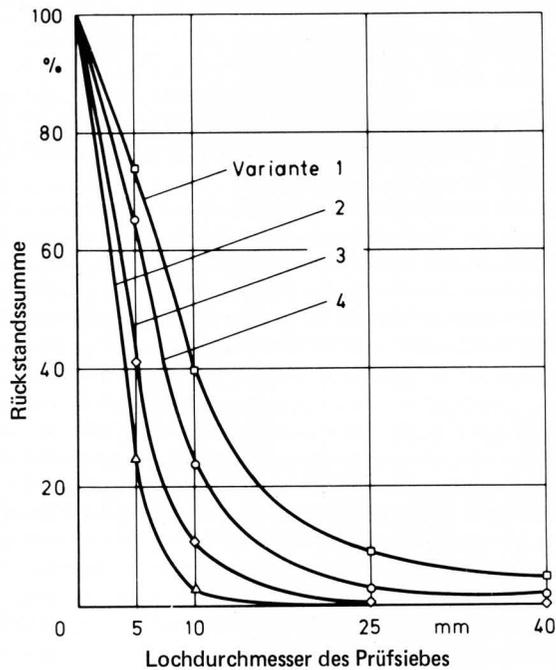


Bild 9. Rückstandssummenkurven zur Kennzeichnung des Zerkleinerungsgrades für Recutter mit Mantelsieben verschiedener Lochdurchmesser. Silomais TM-Gehalt 27,5 ÷ 31,0 %.

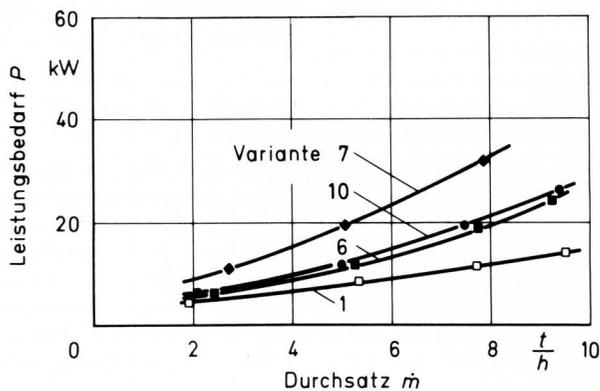


Bild 10. Leistungsbedarf in Abhängigkeit vom Durchsatz für verschiedene Recuttersysteme. Silomais TM-Gehalt 27,5 ÷ 31,0 %.

Interessant ist dieser Vergleich im Hinblick auf den Zerkleinerungsgrad, der in **Bild 11** dargestellt ist. Die Variante 1 weist wiederum noch einen Überlängenanteil von 10 % über 25 mm und 5 ÷ 6 % über 40 mm auf. Die Variante 6 zeigt demgegenüber nur eine deutliche Erhöhung der Anteile, die kleiner als 5 bzw. 10 mm sind. Dies ist auf die nahezu vollständige Zerkleinerung der Maiskörner zurückzuführen. Die Kurve der Variante 7 läßt erkennen, daß durch den Einsatz des zweiten Siebes auch der Überlängenanteil fast vollkommen reduziert wurde. Die Kurve der Variante 10 weist

gegenüber der Variante 7 eine noch weitere Steigerung der Zerkleinerung bei deutlich geringerem Leistungsbedarf aus. Das ist im wesentlichen durch die gegenüber den Mantelsieben geringeren Reibungsverluste dieses Systems begründet. Der Leistungsbedarf dieser Nachschneidevorrichtung ist in gewissem Maße von der Drehzahl der Walzensterne abhängig. Er nimmt mit zunehmender Drehzahl zwischen 100 und 200 1/min stark und darüber hinaus bis 400 1/min nur noch geringfügig ab. Dies ist fast ausschließlich auf die bessere Förderwirkung zurückzuführen. Ein nennenswerter Einfluß der Drehzahl auf den Zerkleinerungsgrad wurde nicht festgestellt.

Über den Einfluß der Nachschneidesysteme auf die Kornbeschädigung wurden noch weitere Versuchsreihen angestellt. Sie zeigten, daß mit zunehmendem Trockenmasse (TM)-Gehalt bzw. Reifestadium auch der Anteil der unbeschädigten Körner zunimmt. Der Einsatz von Recuttersieben reduziert diesen Anteil auf etwa die Hälfte. Bei Verwendung von Reibplatten wird der Anteil gegenüber den Sieben noch einmal halbiert. Der absolute Anteil der unbeschädigten Körner, bezogen auf die Trockenmasse, lag im Mittel der Versuche bei dem Häcksler ohne Nachschneidevorrichtung und einer theoretischen Häcksellänge von 5 mm zwischen 6 und 8 % und bei den Recuttervarianten zwischen 0 und 3,5 %.

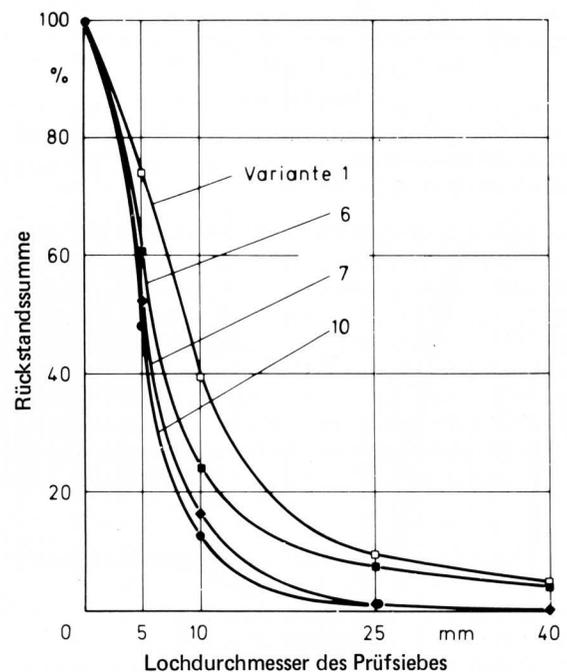


Bild 11. Rückstandssummenkurven zur Kennzeichnung des Zerkleinerungsgrades für verschiedene Recuttersysteme. Silomais TM-Gehalt 27,5 ÷ 31,0 %.

In **Bild 12** ist der Leistungsbedarf derjenigen Recuttervarianten aufgetragen, die nach den bisherigen Erfahrungen die größten Durchsätze zulassen. Bei den im Diagramm verzeichneten Durchsätzen traten noch keinerlei Verstopfungserscheinungen auf. Bei dem vorliegenden TM-Gehalt wurden erst bei Durchsätzen über 35 t/h Verstopfungen beobachtet. — Vergleichsmessungen bei einem Feldeinsatz eines zweireihigen gezogenen Feldhäckslers haben in dem gleichen Maisbestand Durchsätze zwischen 22 und 28 t/h ergeben —.

Der Leistungsbedarf der Variante 10 liegt noch geringfügig unter dem der Variante 8 mit zwei Schrägslitzsieben. Bei anderen Meßreihen war dies teilweise umgekehrt. Der Leistungsbedarf der Recutter muß in Relation zur Zerkleinerung gesehen werden. Die Zerkleinerung ist bei den Varianten 8 und 10 nahezu gleich, **Bild 13**. Beide haben keine Überlängen über 40 mm. Die Anteile über 25 mm sind gering. Im Bereich zwischen 0 und 10 mm sind

die Anteile gegenüber dem Häcksler ohne Recutter etwa verdoppelt. Damit steht der Verdoppelung der Antriebsleistung auch eine solche bei der Zerkleinerung gegenüber. Dies läßt sich anhand einer einfachen Zahlenrechnung bestätigen. Errechnet man aus den Ergebnissen der Siebanalyse eine mittlere Teilchenlänge und setzt diese in Beziehung zum spezifischen Leistungsbedarf, kann man eine Aussage über den Wirkungsgrad der Nachschneidesysteme im Hinblick auf die Zerkleinerung machen. In **Tafel 3** sind die entsprechenden Werte für die Varianten 1, 4, 8 und 10 aufgeführt.

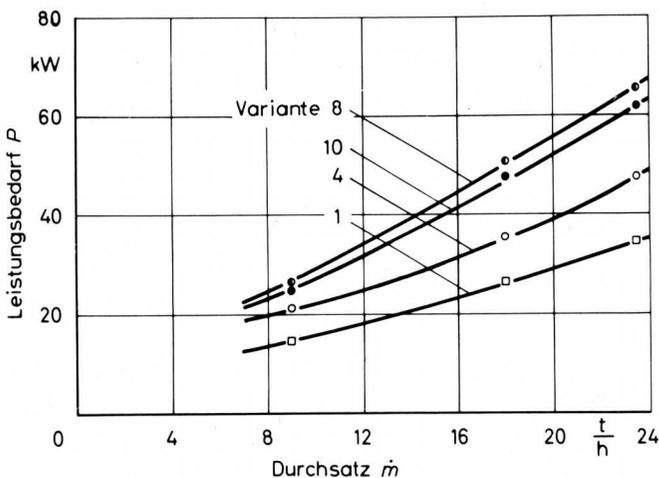


Bild 12. Leistungsbedarf als Funktion des Durchsatzes für verschiedene Recuttersysteme. Silomais TM-Gehalt 30,0 ÷ 34,5 %.

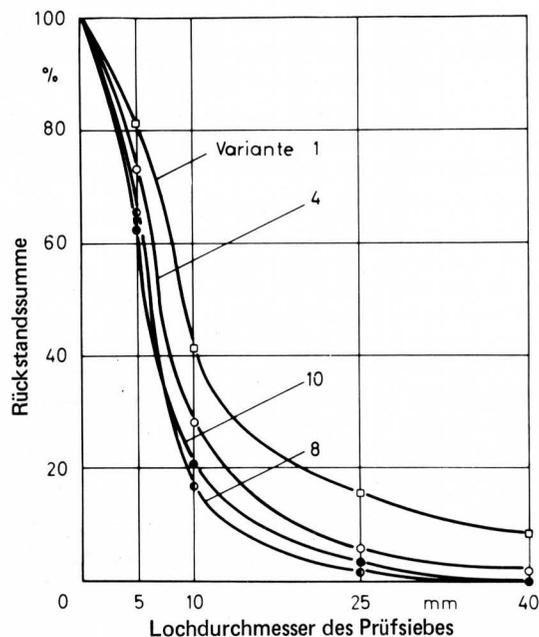


Bild 13. Rückstandsummenkurven zur Kennzeichnung des Zerkleinerungsgrades für verschiedene Recuttersysteme. Silomais TM-Gehalt 30,0 ÷ 34,5 %.

Variante Nr.	mittlere Halmlänge l_m mm	Bez. Leistungsbedarf P_{sp} kWh/t
1	28,7	28,1
4	21,5	38,2
8	15,4	57,1
10	16,5	53,3

Tafel 3. Zerkleinerung und auf den Durchsatz bezogener Leistungsbedarf verschiedener Häckslervarianten.

Mit Hilfe dieser Zahlen läßt sich ein Vergleichswert für den Leistungsbedarf für die Zerkleinerung des Hauptschnittes am Häckslermaul und des Nachschnittes an den Recuttervorrichtungen definieren zu:

$$\eta_{Rec} = \frac{l_m \cdot P_{sp}}{l_{m, Rec} \cdot P_{spRec}}$$

Für die in der Tabelle aufgeführten Recuttervarianten ergeben sich damit folgende Vergleichswerte:

- Variante 1: $\eta_{Rec} = 1,00$
- Variante 4: $\eta_{Rec} = 0,98$
- Variante 8: $\eta_{Rec} = 0,92$
- Variante 10: $\eta_{Rec} = 0,92$.

Der Wirkungsgrad des Recutters im Hinblick auf die Zerkleinerung ist also etwas schlechter als der des eigentlichen Exaktschnittes am Häckslermaul.

Mit zunehmender Zerkleinerung bei kleineren Sieblochdurchmessern nimmt der Vergleichswert noch weiter ab. Da die Zahlen sich jedoch nur auf den augenblicklichen Entwicklungsstand der Recutter beziehen, ist nicht ausgeschlossen, daß auch eine leistungsmäßig günstigere Zerkleinerung – etwa bei gleichmäßigerer Belastung der Siebflächen – durch die Recutter stattfinden könnte.

Die Variante 9 hat gegenüber der Variante 8 einen um 17 ÷ 21 % höheren Leistungsbedarf. Dabei unterscheiden sie sich nur durch den Neigungswinkel der Schlitzte voneinander. Bei der Variante 8 wird hierdurch eine Selbstreinigungswirkung der Schlitzte bewirkt. Die Messer transportieren infolge ihres Neigungswinkels λ unzerkleinerte Lieschen von rechts nach links, was auf dieser Siebseite dann zu Verstopfungen führen kann. Dem wirkt bei der Variante 8 die Neigung der Schlitzte entgegen, was insgesamt zu einer besseren Ausnutzung der Siebfläche führt. Dies Beispiel zeigt, daß durch geeignete konstruktive Maßnahmen der bezogene Leistungsbedarf des Recutters vermindert werden kann.

Abschließend zu den Ausführungen über den Leistungsbedarf soll noch ein Ergebnis über den Einfluß der theoretischen Schnittlänge des Exakthäckslers auf die Leistung des Recutters diskutiert werden. Abweichend von den bisher beschriebenen Versuchen wurde in einer weiteren Versuchsreihe auch die theoretische Häcksellänge l_{th} verändert. Folgende Einstellungen wurden einander gegenübergestellt:

- Exakthäckslers ohne Recutter $l_{th} = 5$ mm
- Exakthäckslers ohne Recutter $l_{th} = 10$ mm
- Exakthäckslers mit 2 Schrägschlitzsieben $l_{th} = 5$ mm
- Exakthäckslers mit 2 Schrägschlitzsieben $l_{th} = 10$ mm.

Hierbei ergab sich folgendes Ergebnis für den Leistungsbedarf: Bei der Vergrößerung der theoretischen Häcksellänge von 5 auf 10 mm ging der Leistungsbedarf um etwa 35 % zurück. Beim Einsatz der Recuttersiebe ergab sich beim Übergang von 5 auf 10 mm Häcksellänge nur eine Verminderung des Leistungsbedarfs um 12 %. Interessant ist der Vergleich zwischen dem Häckslers ohne Recutter und 5 mm Häcksellänge und dem Häckslers mit Recutter bei 10 mm Häcksellänge. Hier ergab sich eine Differenz des Leistungsbedarfs von 23 % zugunsten des Häckslers ohne Recutter. Verständlich werden diese Daten, wenn man auch die Zerkleinerungswirkung vergleicht. Das Ergebnis läßt sich etwa folgendermaßen zusammenfassen:

Die Zerkleinerungswirkung der Recutter ist in erster Linie von der Sieblochgröße abhängig. Bei großer theoretischer Häcksellänge wird daher entsprechend stärker nachzerkleinert als bei kleinen theoretischen Häcksellängen.

4.2 Schüttdichte und Verdichtbarkeit

Die Schüttdichte eines Stoffes hängt von der Teilchenform und der Teilchengrößenverteilung ab. Bei Schüttungen von Teilchen gleicher Form, wie z.B. Kugeln, und einheitlicher Teilchengröße ist die Schüttdichte theoretisch unabhängig von der Teilchengröße.

Eine Erhöhung der Dichte ergibt sich erst bei unterschiedlicher Teilchengröße. Die höchste Dichte wird erzielt, wenn die Abstufung der Teilchengröße derart ist, daß die nächst kleineren Teilchen jeweils in die Lücken zwischen den größeren Teilchen passen. Voraussetzung zur Erzielung dieser optimalen Dichte ist, daß die Teilchen, etwa bei der Füllung des Gefäßes, auch jeweils in diese Lücken gelangen können. Daraus wird klar, daß die Verschiebbarkeit der Teilchen gegeneinander neben der Teilchengrößenverteilung der Haupteinflussfaktor für die Schüttdichte eines Stoffes ist. Ideal sind demnach Stoffe wie Flüssigkeiten, deren Elemente durch geringe Kräfte gegeneinander verschoben werden können. Hieraus ist zu sehen, daß die Häckselung von Halmgut hauptsächlich durch die enorme Steigerung der Verschiebbarkeit der Teilchen untereinander eine Erhöhung der Schüttdichte bewirkt.

Besteht die Schüttung aus elastisch und plastisch verformbaren Stoffen, so wird die jeweilige Haufwerksdichte noch durch die Belastung bestimmt. Eine solche Verformbarkeit liegt bei Halmgut vor. Sie ist gekennzeichnet durch die Steifigkeit der Halme, die in starkem Maße von dem Trockenmassegehalt abhängig ist. Die Steifigkeit ist außerdem verschieden gegenüber Belastungen quer zur Halmachse oder in Richtung der Halmachse. Daher hat die Lage der Halmgutteilchen in einer Schüttung und damit auch die Art der Befüllung einen großen Einfluß auf die Dichte. Dieser Einfluß verschwindet erst, wenn die auf die Schüttung ausgeübte Belastung größer ist als die größte ertragbare Knicklast der Halme.

Nach Voß [12] ist der größte Einfluß der Halmelage im Bereich von Belastungen um 0,1 bar gegeben, während er bei Belastungen von ca. 2 bar ab praktisch aufhört. Somit ist im Bereich der Belastungen in Hochsilos, die bis etwa 1,5 bar reichen, der Einfluß der Verteilung und damit der Befüllung noch vorhanden.

Wie schon aus den bei Zimmer [4] zitierten Untersuchungen von Winkler hervorgeht, nimmt der Einfluß der Häckselänge auf die Dichte in Silobehältern bei kleinen Häckselängen ab. Diese Tendenz hat sich auch bei den vorliegenden Untersuchungen bestätigt. Wie weiter oben gezeigt wurde, wird durch den Einsatz von Recuttern die tatsächliche Halmlänge etwa halbiert. Aus der nachfolgenden Tafel 4 ist zu entnehmen, wie sich diese Reduzierung der Teilchengröße auf die Schüttdichte und die Verdichtbarkeit auswirkt. Die Bestimmung der Schüttdichte erfolgte nach dem ASAE-Standard für Pellets, ein Verfahren, das sich auch bei Halmgut gut bewährt hat. Die Dichtewerte für eine Belastung von 1 bar gelten für 24 Stunden Belastungsdauer.

Variante	Dichte bei p = 1 bar			Schüttdichte		
	ρ kg/m ³	ρ_{TM} kg/m ³	ρ_{rel} %	ρ_S kg/m ³	ρ_{STM} kg/m ³	ρ_{Srel} %
1	943	331	100	209	73	100
6	962	338	102	221	76	106
8	990	347	105	234	82	112
10	1009	354	107	242	85	116

Tafel 4. Dichtewerte für Silomais mit einem Trockenmassegehalt von 35,1 % bei unterschiedlicher Häckselung.

Die Zahlen geben die Ergebnisse des Jahres 1975 wieder, in dem der Silomais sehr trocken geerntet wurde. Im vorausgegangenen Jahr wurden bei feuchtem Mais größere Differenzen gemessen. Die Tafel zeigt, daß durch die starke Reduzierung der Halmlänge die Verdichtbarkeit des Häcksel (Dichte bei p = 1 bar) nur um etwa 5 ÷ 10 % gesteigert werden konnte. Bei längerer Belastungsdauer nehmen die Unterschiede wieder ab. Das heißt, daß das stärker zerkleinerte Häcksel schneller seine Enddichte erreicht. Diese Beobachtung deckt sich auch mit amerikanischen Ergebnissen [6]. Weitere Steigerungen der Verdichtbarkeit sind nur über den Einsatz sehr hoher Leistungen erreichbar, wie Bild 14 zeigt. Dies dürfte jedoch von vornherein unwirtschaftlich sein.

Die Unterschiede in der Schüttdichte sind größer. Für die einzelnen Recuttervarianten ergaben sich im Jahre 1975 im Mittel um 6 ÷ 16 % höhere Schüttdichten. Im vorausgegangenen Jahr wurden bei feuchterem Mais bis zu 20 % höhere Schüttdichten gemessen. Eine höhere Schüttdichte wirkt sich bei Hochsilos in zweifacher Hinsicht günstig aus. Einmal ergibt die höhere Schüttdichte an sich schon eine bessere Ausnutzung des Siloraumes. Mit zunehmender Schütthöhe ergeben sich daraus auch höhere Lagerdrücke, so daß zusätzlich noch eine stärkere Verdichtung erfolgt.

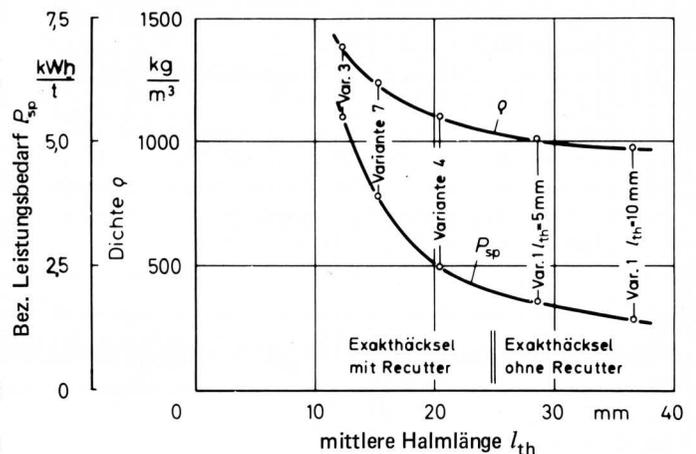


Bild 14. Dichte und auf den Durchsatz bezogener Leistungsbedarf als Funktion der mittleren Halmlänge.

Silomais TM-Gehalt 27,5 ÷ 31,0 %; Dichte bei p = 1 bar.

Abschließend soll kurz auf die Verdichtung von Grashäcksel eingegangen werden. Die Verdichtbarkeit bei Häcksel der Variante 5 (2 Siebe mit quadratischer Lochung) nahm gegenüber dem Häcksel ohne Recutter bei einer theoretischen Häckselänge von 10 mm um rund 10 % zu. Bei weitergehender Zerkleinerung durch die Recuttervariante 8 ging die Erhöhung der Verdichtbarkeit gegenüber der Variante 1 wieder auf nur ca. 6 % zurück. Dies ist damit zu erklären, daß auch die Halmwände, die ursprünglich eine hohe Dichte besitzen, aufgeschlossen werden. Dies führt zu einer wolligen Struktur des Häcksel mit verminderter Verdichtbarkeit.

5. Zusammenfassung

In umfassenden Versuchsreihen wurde der Leistungsbedarf verschiedener Recuttersysteme untersucht. Die Arbeitsqualität wurde über den Zerkleinerungsgrad und die Verdichtbarkeit des Häcksel beurteilt. Es hat sich gezeigt, daß der zusätzliche Leistungsbedarf vergleichsweise hoch ist. Der gegenwärtige Entwicklungsstand läßt jedoch noch konstruktive Verbesserungen zu, die eine Verminderung des Leistungsbedarfs bewirken können. Hier seien insbesondere die in diesen Versuchsreihen nicht berücksichtigten Parameter Umfangsgeschwindigkeit der Trommel, Trommelbreite und Anstellwinkel genannt.

Die Nachzerkleinerung bewirkt eine Erhöhung der Schüttdichte um etwa 15 %, die sich unmittelbar auf die Ausnutzung des Siloraumes bei Hochsilos auswirkt. Die Verdichtbarkeit des Häcksel bei statischer Belastung wird nicht wesentlich erhöht.

Nach den ersten Versuchsergebnissen wirkt sich der starke Aufschluß bei der Silierung von Gras eher positiv aus, während seine Wirkung bei Mais indifferent ist. Erst eine vollständige Übersicht der Ergebnisse der Silierfähigkeitsuntersuchungen wird zeigen, ob eine starke Nachzerkleinerung sinnvoll ist oder ob bereits die Beseitigung der Überlängen genügt, um Schwierigkeiten bei der Handhabung zu vermeiden. Hieraus wird abzuleiten sein, ob weiterführende Arbeiten zur Entwicklung der Recutter erforderlich sind, oder ob vielleicht ein anderer Weg – wie zum Beispiel die separate Nachzerkleinerung der Überlängen nach vorheriger Abscheidung – sinnvoller erscheint.

Schrifttum

- [1] *Baader, W.*: Die Beurteilung der Funktion von Halmgutzerkleinerungsmaschinen. Landt. Forsch. Bd. 18 (1970) Nr. 6, S. 164/69.
- [2] *Pirkelmann, H.*: Technologien zur Aufbereitung standardisierter Futtermischungen in der Rinderhaltung. Institutsbericht Bayer. Landesanst. für Landt. Freising-Weihenstephan 1974.
- [3] *Zimmer, E.*: Der Einfluß der mechanischen Aufbereitung auf die Silierfähigkeit von Halmfutter. Grundl. Landtechnik Bd. 17 (1967) Nr. 6, S. 197/202.
- [4] *Zimmer, E.*: Siliertechnik bei Silomais. Mitteilungen der DLG Bd. 88 (1973) Nr. 17, S. 480/82.
- [5] *Riemann, U.*: Die Verfahren der Kolbenmaisernte. Landtechnik Bd. 27 (1972) Nr. 13, S. 289/93.
- [6] *Barrington, G.P. u.a.*: Effect of using a recutter in a cylinder type forage harvester for chopping low moisture grass silage. Trans. ASAE Bd. 14 (1971) S. 232/33.
- [7] *Diebold, D.H.*: Energy and forage harvesting. Vortrag American Forage and Grassland Council, Omaha-Nebraska 1975.
- [8] *Kromer, K.H.*: Tendenzen im Exaktfeldhäckslerbau in den USA und in Deutschland. Grundl. Landtechnik Bd. 21 (1971) Nr. 4, S. 110/14.
- [9] *Kromer, K.H.*: Möglichkeiten der Nachzerkleinerung bei Exaktfeldhäckslern. Vortrag VDI-Tagung Landtechnik München 1972.
- [10] *Orth, H.W.*: Ein Beitrag zur Analyse der Halmgutbewegung in einem Trommelhäcksler. Diss. TU Braunschweig 1975.
- [11] *Dernedde, W.*: Die technologischen Eigenschaften von Gras und deren Einfluß auf den Schneidvorgang. Landbauforschung Völknerode Sonderheft 8 (1970) S. 53/67.
- [12] *Voß, H.*: Ermittlung von Stoffgesetzen für Halmgut. Diss. TU Braunschweig 1970.

Auszüge aus wichtigen Patent-Auslegeschriften

Int. Cl. A 01 d, 81/00

Kl. 45 c, 81/00

Auslegeschrift 1 482 177

Anmeldetag: 22. 8. 1964

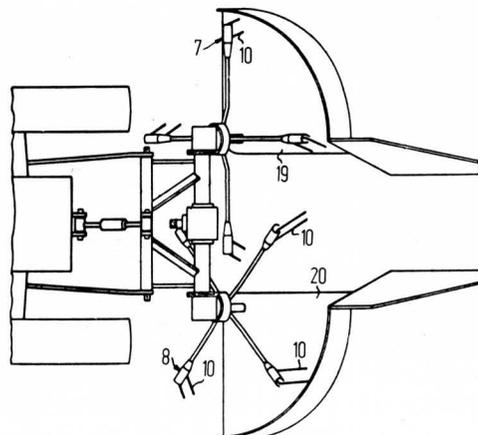
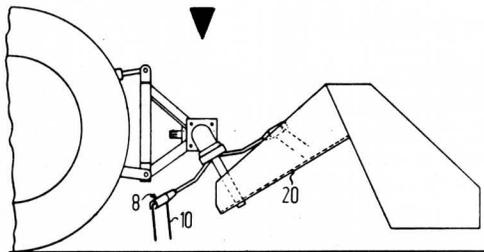
Auslegetag: 19. 10. 1972

Unionspriorität: 29. 8. 1963; 17. 9. 1963 (Niederlande)

Heuwerbungsmaschine

Anmelder: Patent Concern N.V., Willemstad, Curacao (Niederländische Antillen)

Die Erfindung betrifft eine Heuwerbungsmaschine, in deren Gestell mindestens ein umlaufend angetriebenes Rechwerkzeug gelagert ist, dessen Zinken sich auf einem Teil ihrer Umlaufbahn nach hinten bewegen, und das teilweise von einer Führung für das Erntegut umgeben ist, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Führung für das Erntegut (19, 20) bis in den Bereich unterhalb des Rechwerkzeuges (7, 8) und entlang jenes Teiles der Umlaufbahn der Zinken (10) erstreckt, auf der sich diese nach vorn bewegen.



Int. Cl. A 01 c, 23/00

Kl. 45 b, 23/00

Auslegeschrift 1 757 513

Anmeldetag: 16. 5. 1968

Auslegetag: 27. 4. 1972

Vorrichtung zum Ausschleudern von Jauche enthaltendem Stalldung

Anmelder: Fahrzeug- und Landmaschinenfabrik Sebastian Unsinn, 8890 Aichach

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Ausschleudern von Jauche enthaltendem Stalldung aus einem Güllefaß mit Hilfe eines am Faßende drehbar gelagerten und mit einer Rührwelle über ein umschaltbares Getriebe verbundenen Schleuderverteilers, der von einem Gehäuse umgeben ist, das in seiner Mantelfläche durch Schieber od. dgl. überdeckbare Austrittsöffnungen aufweist, die ein Ausschleudern des Düngers nach verschiedenen Richtungen ermöglichen, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse in seiner Mantelfläche auf jeder Seite eine Austrittsöffnung (19, 20) aufweist und daß das Getriebe (12, 13, 15) eine Umkehr des Drehsinnes des Schleuderverteilers (10) gewährleistet und eine drehzahlerhöhende Übersetzung von der Rührwelle (6) zum Schleuderverteiler (10) aufweist.

