

Vibro-pneumatische Trennung von Stroh, Korn und Spreu im Mähdrescher

Von Georg Segler und Theo Freye,
Stuttgart-Hohenheim*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik der Körnerfruchtproduktion"
der Universität Hohenheim

DK 631.354.2:631.361.025

Die aus Kostengründen angestrebte Erhöhung der Arbeitsproduktivität in der Landwirtschaft und die Zunahme der Flächenerträge von Getreide haben zu einem noch nicht abgeschlossenen Trend zu größeren Mähdreschern geführt. Das Erreichen höherer Durchsatzleistungen stößt beim derzeitigen verfahrenstechnischen Entwicklungsstand auf konstruktive Grenzen. Bei gegebenen und möglichst nicht zu überschreitenden Maschinenabmessungen wirken sich zwei Verarbeitungsorgane, der Schüttler und die Reinigungsanlage, leistungsbegrenzend aus. Durch Erforschung vorhandener und neuer wirksamerer Trennprozesse sollen die Grundlagen für die Entwicklung technisch verbesserter Reinigungsanlagen und Schüttler erarbeitet werden. Es wird über erste Ergebnisse berichtet.

1. Einleitung

Der Mähdrescher besteht abgesehen vom Schneidwerk aus Bauelementen, deren Arbeitsprinzip bereits vor hundert Jahren bei stationären Dreschmaschinen anzutreffen war. Im Laufe der Zeit sind sie konstruktiv verbessert und an die Verarbeitung von über 30 verschiedenen Körnerfrüchten, zuletzt an die von Körnermais, erfolgreich angepaßt worden. Weitere gutbedingte Einflüsse auf die konstruktive Gestaltung der Mähdrescherorgane werden auch zukünftig eine entscheidende Rolle spielen und Funktion und Abmessung des Mähdreschers beeinflussen.

*) Prof. em.Dr.-Ing. G. Segler war Inhaber des Lehrstuhls für Grundlagen der Landtechnik der Universität Hohenheim und ist Leiter des SFB-Teilprojekts B 1.2 "Die Kornabtrennung im Mähdrescher mittels der dem Dreschwerk nachgeschalteten Trennelemente", Dipl.-Ing. Th. Freye ist wiss. Mitarbeiter im gleichen Forschungsprojekt.

So haben sich in den letzten Jahren standfeste kurzhalbmige Getreidesorten durchgesetzt. Dadurch hat sich für den Pflanzenbestand das Korn-Stroh-Verhältnis und ebenso der Korn-Spreu-Anteil vergrößert. Neuere Erkenntnisse über die Strohverrottung im Boden und eine mögliche Erhöhung der Belastung des Bodens durch eingearbeitetes Stroh erlauben den Übergang zu größeren Stoppelhöhen, Bild 1 [1,2,3]. Das hat eine weitere Änderung des Korn-Stroh-Verhältnisses im Mähdrescher und damit einen höheren Korn-Spreu-Anteil bei gleichzeitiger Erhöhung des Kurzstrohanteils erbracht, Bild 2. Während noch Anfang der 50er Jahre bei Mähdrescherprüfungen als Standardwert für Weizen ein Korn-Stroh-Massenverhältnis von 1 : 1,35 zugrunde gelegt wurde, liegt dieses 1976 im Durchschnitt etwa bei 1 : 1, im holländischen Poldergebiet bei 1 : 0,9 [3].

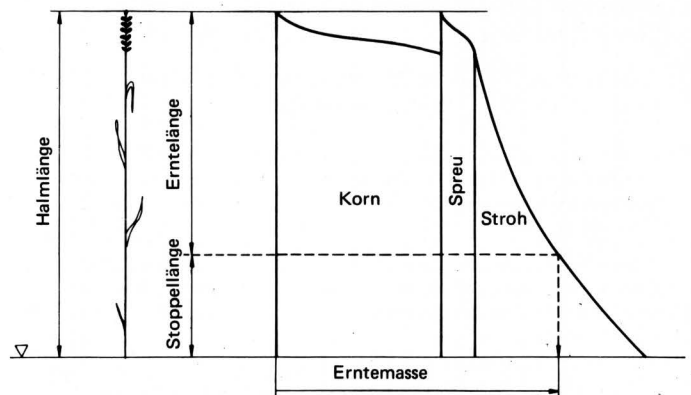


Bild 1. Erntemasse an Korn, Spreu und Stroh (aufgetragen nach rechts) in Abhängigkeit von der Stoppellänge.

Von noch größerem Einfluß auf die zukünftige Entwicklung des Mähdrescherbaus ist die Zunahme des Flächenertrages, Bild 3. Nach unseren Untersuchungen ist mit einem Anstieg im Zeitraum von 1970 bis 1990 in Höhe von 50 % zu rechnen, eine ähnliche

Prognose macht Reiner [4, 5]. In gleichem Maße fällt auch mehr Spreu an, so daß die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Mährescherorgane eine erhebliche Änderung erfahren werden. Abgesehen von der zu erwartenden höheren Gesamtbelastung des Mähreschers verschiebt sich, ausgehend von gleicher Flächenleistung, aus den oben genannten Gründen die Belastung vom Schüttler zu Lasten der Reinigungsanlage. Dies macht die Entwicklung einer entsprechend leistungsfähigen Reinigungsanlage erforderlich. Bei Verwendung des bisherigen Wirkungsprinzips bedeutet dies die Wahl größerer Abmessungen, also vergrößerten Bauraum für die Reinigungsanlage, während die Schüttlerabmessungen etwa gleich bleiben. Die Effizienz der Reinigungsanlage und des Schüttlers zu verbessern ist das Ziel der vorliegenden, im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 140 begonnenen Untersuchungen, über deren erste Ergebnisse hier berichtet wird.

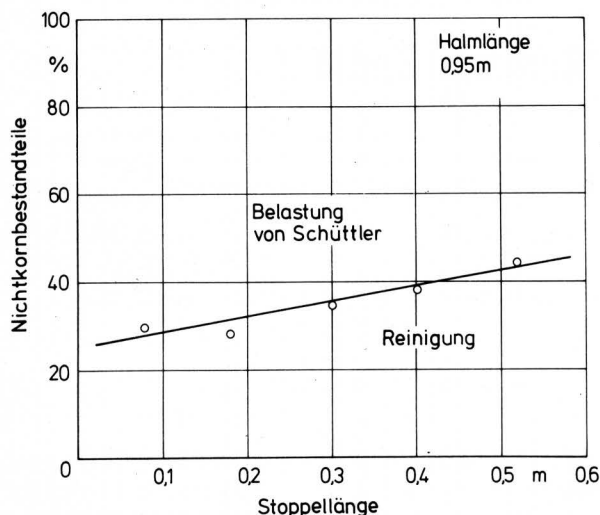


Bild 2. Belastung der Reinigung (Ordinatenwert bis zur Kurve) und des Schüttlers (Ordinatenwert oberhalb der Kurve) mit Nichtkornbestandteilen bei verschiedener Stoppellänge.

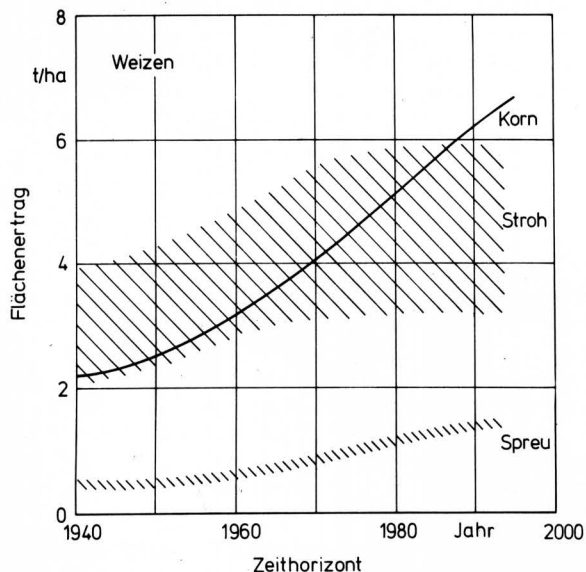


Bild 3. Zeitliche Entwicklung des Flächenertrages an Korn, Spreu und Stroh. Prognose auf der Basis der Entwicklung des mittleren Flächenertrages im Zeitraum von 1948–1976.

2. Bisherige Arbeiten

Der Schüttler wird im Vergleich zur Reinigungsanlage wegen der höheren Körnerverluste als das vorrangig leistungsbegrenzende Trennorgan angesehen. Der Schwerpunkt aller bisherigen Arbeiten und Untersuchungen an Trennorganen, die dem Dreschwerk nachgeordnet sind, lag deshalb beim Schüttler, nach der Einführung des Selbstfahrer-Mähreschers speziell auf dem Gebiet des Hordenschüttlers [6, 7].

Nach allgemein verbreiteter Auffassung haben die Untersuchungen am Hordenschüttler selbst als abgeschlossen zu gelten. In jüngster Zeit konzentriert sich das Interesse auf zusätzliche Trennelemente, die vor, hinter oder über dem Hordenschüttler angeordnet sind [8 bis 11]. Über die Wirkungsweise der mechanischen und pneumatischen Schüttlerhilfen, die zum Auflockern der Strohschicht und damit zur Verbesserung der Sinkgeschwindigkeit der Körner beitragen sollen, besteht teilweise noch Unklarheit.

Die vorliegenden Veröffentlichungen über Reinigungsanlagen erstrecken sich vorwiegend auf ausgeführte Anlagen oder entsprechende Funktionsmodelle [12, 13], einige auf die Ausbildung der Luftströmung und der Luftstromerzeuger. Eine physikalische Deutung des Trennvorganges ist nur in Teilfragen versucht worden. Deshalb wurde bei vorangegangenen Untersuchungen des Lehrstuhls für Landtechnik Hohenheim mit der Erforschung der siebtechnischen Grundlagen begonnen [14, 15].

So konnten bisher im Modellversuch die für die technische Optimierung der Trennung von Korn und Spreu auf luftdurchströmten Schwingsieben maßgebenden Parameter ermittelt und damit die Grundlage für eine neue Betrachtungsweise geschaffen werden. Das Sortieren von Stoffen unterschiedlicher Dichte, wie Korn und Spreu, vollzieht sich nach Art eines vibro-pneumatischen Trennprozesses. Für eine Optimierung des Sortiererfolges sind einerseits die mechanischen Parameter, Siebamplitude und Frequenz, und andererseits die pneumatischen Parameter für die Erzeugung einer Feststoff-Wirbelschicht maßgebend. Letztere stellen sich als Verhältnis der angewandten Luftanströmgeschwindigkeit w zur Anströmgeschwindigkeit w_F am Wirbelpunkt dar. *Damm* fand bei einem vertikal schwingenden Siebmodell einen allgemein gültigen Zusammenhang, der besagt, daß die mechanischen und pneumatischen Parameter, wenn sie in der Froude-Zahl $Fr = a \omega^2/g$ und einer hier als $Pn = w/w_F$ eingeführten pneumatischen Ähnlichkeitszahl zusammengefaßt werden, sich entsprechend einer bestimmten Gesetzmäßigkeit gegenseitig austauschen lassen. Darin ist a die lotrechte Komponente der Amplitude und ω die Winkelgeschwindigkeit des Kurbeltriebs.

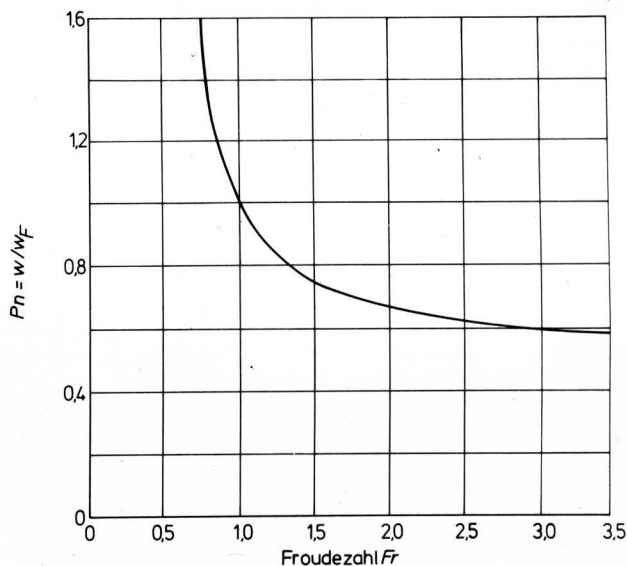


Bild 4. Kurve minimaler Sortierzeit für ein Gemisch von zwei Stoffen unterschiedlicher Dichte auf einem luftdurchströmten Schwingsieb (verändert nach *Damm*).

Die in Bild 4 dargestellte Kurve wurde für Zweistoffgemische verschiedener Dichte ermittelt. Sie gibt die Wertepaare der Kennzahlen Fr und Pn für eine minimale Absiebdauer wieder und geht beispielsweise durch den Punkt 1,1. Das zeigt, daß bei einer Siebbehleunigung in der Größenordnung der Erdbeschleunigung, bei der ohne Luftströmung keine optimale Absiebung möglich ist, sich eine minimale Siebdauer dann ergibt, wenn die auf die Schüttung wirkende Strömungskraft der Luft das Eigengewicht der Partikeln aufhebt. Andererseits können gemäß dem Verlauf der Kurve die mechanischen und die pneumatischen Parameter gegenseitig ausgetauscht werden, d.h. man kann mit größerem mechanischen Impuls den pneumatischen teilweise ersetzen und umgekehrt. Bei der Abstimmung dieser Parameter sind allerdings weitere Fragen, wie die Schwebebeschleunigungen und die Grenzgeschwindigkeit für die pneumatische Förderung von Staub und Spreu, sowie der Energiebedarf für die Erzeugung mechanischer und pneumatischer Kräfte zu beachten. Diese Teilfragen sind Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Das beschriebene vibro-pneumatische Sortierprinzip wurde zunächst im Modellversuch entwickelt. Seine Übertragbarkeit auf die Mährescherreinigung soll hier überprüft werden.

Im Mährescher wird die Reinigungsanlage mit Hilfe einer Fördervorrichtung beschickt, die meist als Schwingförderer, gelegentlich auch als Schneckenförderer ausgebildet ist. Der Schwingförderer übernimmt neben der Aufgabe des Förderns bereits auch ein Entmischen der Korn-Spreu-Schicht und erleichtert, wie wir feststellen konnten, dadurch erheblich den Trennprozeß [15].

3. Möglichkeiten zur Verbesserung der Funktion von Schüttler und Reinigung

Die Trennung von Stroh, Korn und Spreu im Mährescher, Bild 5, erfolgt mit Hilfe von Dreschkorb [17], Schüttler, Schwingförderboden und Reinigungsanlage, neuerdings unterstützt durch Zusatzeinrichtungen, die vor, über oder hinter dem Schüttler angeordnet sind. Bei einigen Lösungen werden an Stelle des Schüttlers eine oder mehrere Trenntrommeln, die ähnlich wie eine Dreschtrommel ausgebildet sind, verwendet, oder der Schüttler wird durch ein Dreschwerk mit vollständiger Kornabscheidung, beispielsweise eine Axialdruschtrommel, ersetzt. Diese Bauformen stellen aufgrund eines größeren Kurzstrohanteils erhöhte Forderungen an die Reinigungsanlage. Ein großer Teil dieser Lösungen hat sich nicht durchsetzen können, da sie baulich meist aufwendiger als der Hordenschüttler sind.

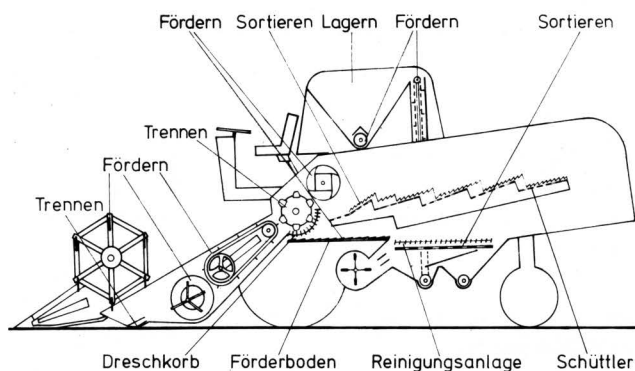


Bild 5. Anordnung der Elemente zur Kornabtrennung im Mährescher [16].

Bei den Bemühungen, die Korn-Stroh-Trennung wirksamer zu gestalten, wurden theoretisch betrachtet folgende Wege beschritten:

1. Trennen im Bereich hoher Gutgeschwindigkeiten an der Peripherie der Dreschtrommel
2. Auflockern der über den Schüttler strömenden Strohschicht mit zusätzlichen mechanischen Werkzeugen

3. Auflockern der Strohschicht durch eine zusätzliche, örtlich wirkende Luftströmung
4. Abtrennen der Restkörner durch mechanische Abscheideelemente hinter dem Schüttler.

Bei der Trennung im Bereich hoher Gutgeschwindigkeiten am Korbende wurden verschiedene Lösungen versucht. Zu diesen gehört eine Umlenktrommel, die den Gutstrom am Korbende aufnimmt und auf den Schüttler leitet [11].

Die Verwendung eines am Korbende senkrecht zur Gutrichtung wirkenden Luftstrahls, Bild 6, in ähnlicher Form bei Getreideaufbereitungsanlagen bereits erprobt, führte nach einem Vorschlag von Arnold [18] zur Entwicklung eines Versuchsmähreschers, bei dem auf einen Schüttler oder ein anderes Organ zum Abscheiden von Stroh vollständig verzichtet werden konnte. Der Erfolg der Trennwirkung dürfte aber davon abhängen, wie weit es gelingt, alle Gutteile mit gleicher Geschwindigkeit aus dem Trommel-Korb-Spalt austreten zu lassen. Das bedeutet aber besondere Anforderungen an die konstruktive Gestaltung der Dreschtrommel und des Korbes, die im Hinblick auf einen beschädigungsfreien Drusch schwer zu erfüllen sind.

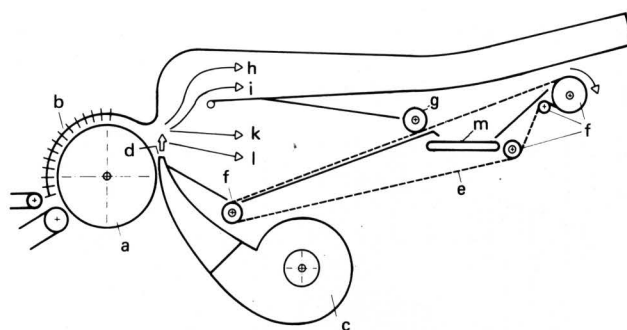


Bild 6. Luftdüse zum Sortieren von Stroh und Spreu, Staub und Korn, angeordnet am Korbaustritt [18].

a Dreschtrommel	g Andrückrolle
b Dreschkorb	h Staub
c Gebläse	i Spreu
d Luftstrahl	k Stroh
e Bandsieb	l Körner
f Rolle	m Querförderban für Körner

Mechanische Schüttlerhilfen in Form von schwingenden und rotierenden Rechen und Gabeln haben inzwischen Eingang in den Mährescherbau gefunden.

Bekannt geworden sind auch pneumatische Schüttlerhilfen, angewandt bei Band- und Hordenschüttlern [19, 20]. Die Luftströmung dient zum Auflockern der Strohschicht, beispielsweise an der Übergangsstelle von einem Bandschüttler zum anderen, Bild 7, am Beginn des Hordenschüttlers, Bild 8 und 9, und an den Fallstufen [23]. Die Ausführung nach Bild 9 entspricht einer serienmäßig hergestellten Maschine, die seit einigen Jahren auf dem Markt ist. Da die pneumatischen Trennverfahren in Verbindung mit mechanischen Trennorganen, vorwiegend mit dem Hordenschüttler, aus verschiedenen Gründen Interesse beanspruchen, werden sie in den Rahmen der vorliegenden Untersuchungen mit einbezogen. Weiter unten werden erste Ergebnisse von Messungen an einer pneumatischen Schüttlerhilfe mit Luftdüsen bekanntgegeben.

Die Fortentwicklung der Reinigungsanlagen wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeiten aus den oben genannten Gründen als vorrangig angesehen. Die erhöhten Anforderungen an die Reinigungsanlagen werden noch dadurch verstärkt, daß die Dreschwerkzeuge zur Bewältigung größerer Durchsatzleistungen in letzter Zeit auf schärfere Druschwirkung eingestellt wurden [24]. Dabei ist auch von Bedeutung, welcher Anteil von Kurzstroh dem Schüttler oder der Reinigungsanlage zugemessen wird und von dieser zu bewältigen ist.

Bei der Reinigungsanlage kommt als Besonderheit hinzu, daß im Gegensatz zum Schüttler die Verwendung einer Luftströmung eine Regulierung notwendig macht. Diese erstreckt sich auf die Luftgeschwindigkeit und ihre Anpassung an die Art, die Zusammensetzung und den Zustand des Sortiergutes, ferner an die Siebelastung durch die Gutmasse. Im Zusammenhang mit der möglichen Entwicklung einer Regelung der Luftgeschwindigkeit ist eine eingehende Kenntnis der Stoffparameter notwendig. Von welchen Gesetzmäßigkeiten hier auszugehen ist, ergibt eine Analyse der an sich bekannten typischen Verlustkennlinie der Reinigungsanlage.

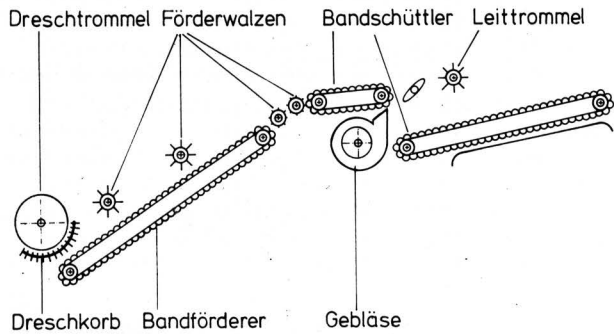


Bild 7. Pneumatische Schüttlerhilfe für Bandschüttler [19].

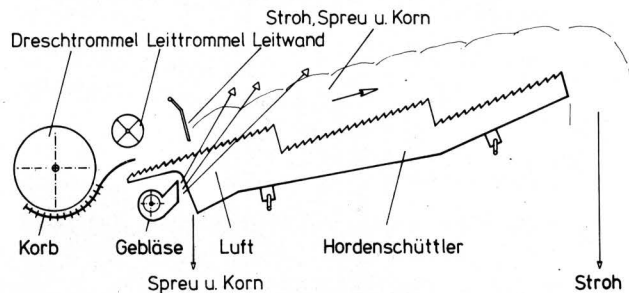


Bild 8. Pneumatische Schüttlerhilfe, angeordnet am Anfang des Hordenschüttlers [21].

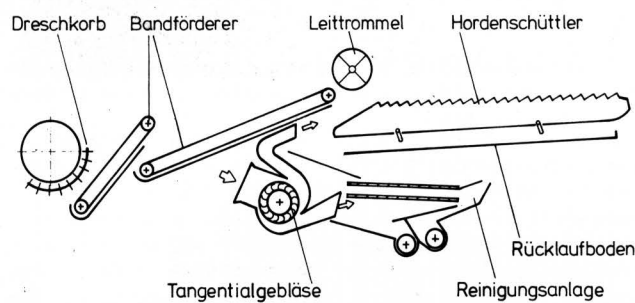


Bild 9. Luftdüse zur Strohabtrennung, angeordnet zwischen Bandförderer und Hordenschüttler [22].

Die Verlustkennlinie der Reinigungsanlage, wie sie sich beispielsweise nach den Ergebnissen der Mährescher-Prüfberichte darstellen läßt, enthält eine Auftragung der Körnerverluste, d.h. der von der Reinigungsanlage nicht erfaßten und auf das Feld ausgetragenen Körner in Prozent, in Abhängigkeit vom gesamten Körnerdurchsatz des Mähreschers. Die jeweils für eine bestimmte Körnerart wiedergegebene Kurve, Bild 10, hat einen etwa parabelförmigen Verlauf mit einem zunächst flach, dann steil ansteigenden Teil mit gekrümmtem Übergang. In einigen Veröffentlichungen wird der steile Teil der Kurve gelegentlich auch linear, allerdings

ebenfalls mit einem gekrümmten Übergangsbereich dargestellt. Die Verlustkurve läßt demnach drei verschiedene Betriebsphasen erkennen und dementsprechende Betriebszustände vermuten. Eine Erklärung in Bezug auf die unterschiedlichen hier zugrunde liegenden Trennvorgänge und Grundverfahren wurde bisher nicht versucht.

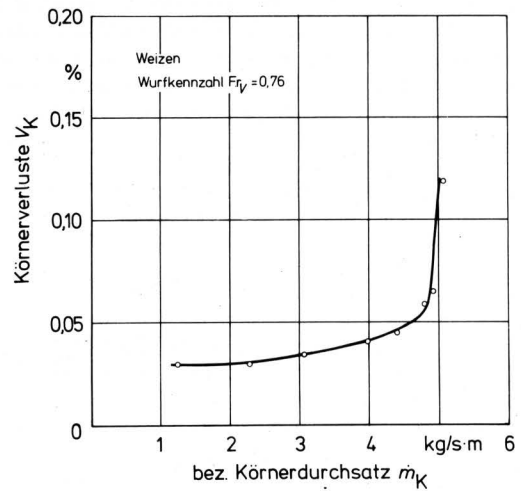


Bild 10. Verlustkennlinie einer Mährescherreinigung.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse ermöglichen nunmehr eine Erklärung für die drei unterschiedlichen Betriebsphasen, Bild 11. In der Phase A-B steigen die Verluste bei abnehmender Belastung an, sobald sich auf den Sieben keine geschlossene Korn-Spreu-Schicht ausbilden kann. In dieser Phase werden die einzelnen Gutpartikeln vom Luftstrom erfaßt und zum Teil pneumatisch über die Siebe hinweggetragen. Dieser pneumatische Förderzustand tritt vor allem dann in Erscheinung, wenn bei relativ kurz bemessenem Sieb eine zu starke Luftströmung infolge ungenügender Drosselung des Gebläses entsteht. Diese Erscheinung erklärt auch die im Feldbetrieb bei geringem Durchsatz auftretenden hohen Körnerverluste. Derartige Verluste könnten durch konstruktive Maßnahmen eingeschränkt oder vermieden werden.

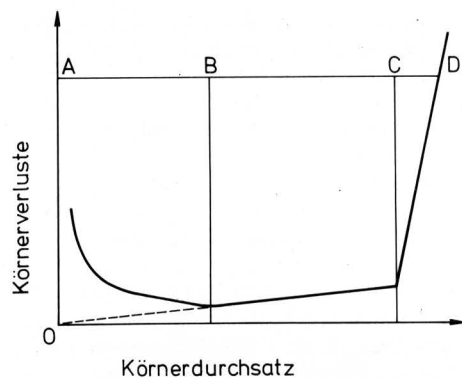


Bild 11. Verschiedene Phasen beim Entstehen von Verlusten in der Mährescherreinigung.

Phase AB (Flugphase)	Flugförderung einzelner Partikel, aufgelöst im Luftstrom
Phase BC (Wirbelschichtphase)	strömende Wirbelschicht, nicht kohärent
Phase CD (Schüttungsphase)	strömende Schütttschicht, kohärent

Die Phase B-C mit linearem Anstieg setzt ein, wenn sich auf dem Sieb eine aufgelockerte, fluidisierte Schütttschicht herausbildet, in der die Kohärenz der einzelnen Partikeln aufgehoben und die Körner in kurzer Zeit auf das Sieb absinken und durch die

Sieböffnungen hindurchtreten können. Die zum Erreichen der Fluidisierung erforderliche Luftgeschwindigkeit hängt von der Gutart, dem Gutzustand einschließlich dessen Feuchte, der Schüttstruktur, dem Hohlraumvolumen und von der Schichthöhe ab. Die zur Fluidisierung eines Korn-Spreu-Gemisches erforderliche Luftgeschwindigkeit liegt im allgemeinen über der Schwebegeschwindigkeit von Staub, so daß die Fluidisierung mit dem erwünschten pneumatischen Austrag von Staub verbunden ist. Diese Fluidisierungsphase ergibt geringe Körnerverluste und entspricht dem bei der Nutzung des Mähdeschers anzustrebenden Betriebszustand. Er erfordert ebenfalls eine sorgfältige Einstellung des Gebläseluftstroms.

Die dritte Phase C—D mit stark zunehmenden Körnerverlusten entsteht dann, wenn das dem Sieb zugeführte und über dieses hinweggeförderte Gutgemisch eine geschlossene Matte bildet, die durch die Einwirkung des Luftstromes und der Siebschwingung nicht mehr aufgelockert, d.h. nicht fluidisiert wird. Die Kohärenz der Partikeln in der Gutmatte setzt den absinkenden Körnern einen vergrößerten Widerstand entgegen und verzögert die Absiebung derart, daß einzelne Körner den Siebboden nicht erreichen und als Verlustkörner darüber hinwegwandern. In der Verlustkurve geht die zweite in die dritte Phase nahezu ohne Übergang über.

Aus diesem Verlustverhalten ergeben sich Hinweise auf den bei den weiteren Untersuchungen einzuschlagenden Weg und auf die konstruktive Fortentwicklung der Reinigungsanlage. Aus konstruktiver Sicht stellen sich vor allem Fragen nach der funktionsgerechten Dimensionierung der Siebe nach Länge und spezifischer Fläche, der Gutdosierung, die im Feldbetrieb ausschließlich durch Änderung der Fahrgeschwindigkeit erfolgt, und der Einstellung der optimalen Luftgeschwindigkeit. Eine Regelung, die wünschenswert wäre, liegt im Bereich des technisch Möglichen. Die Anwendung von Verlustmonitoren ist bereits ein Schritt in dieser Richtung. Im Zusammenhang mit unseren Untersuchungen sollen weitere Möglichkeiten zur Kontrolle und Regelung der Gutbelastung überprüft werden.

4. Experimentelle Untersuchungen

4.1 Mähdescherreinigung

4.1.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden an ausgeführten Reinigungsanlagen von 3 verschiedenen Mähdescherherstellern durchgeführt. In allen Fällen handelte es sich um die vorwiegend verbreitete Bauart mit zwei deckungsgleich übereinander angeordneten Sieben, **Bild 12**. Das Obersieb besteht aus dem bekannten Lamellensieb. Das Sortiergut wird mit einem Schwingförderer aufgegeben, **Bild 13**. Eine Anlage mit drei in Kaskadenform versetzten Sieben, **Bild 14**, konnte bisher nicht berücksichtigt werden [25]. Für die Laborversuche wurden die Reinigungsanlagen so umgerüstet, daß Siebübergang, Überkehr und Siebdurchgang in Behältern getrennt aufgefangen werden konnten. Siebfrequenz und Gebläsedrehzahl konnten unabhängig voneinander stufenlos verstellt werden. Die Gutzuführung erfolgte durch ein Förderband, dessen Geschwindigkeit auf die Gutfördergeschwindigkeit auf den Sieben eingestellt werden konnte. Die Versuchsdauer betrug etwa 40 Sekunden.

Als Versuchsgut wurde Sommerweizen verwendet. Die Versuchsmischung bestand aus Korn, Spreu und Kurzstroh mit einem Mischungsverhältnis von 70 : 20 : 10 Massenanteilen. Der Kurzstrohanteil hatte eine Halmlänge zwischen 50 und 90 mm und wurde jeweils nach 5 Versuchsdurchgängen erneuert. Der mittlere Feuchtegehalt der Versuchsmischung betrug etwa 10 %.

Bei den Versuchen wurden die Siebfrequenz, die Gebläsedrehzahl und der Gutzuführung variiert. Als Maß für die mechanische Anregung der Siebe wird die Wurfkennzahl Fr_v des Obersiebes in Höhe der vorderen Lenker verwendet. Die Wurfkennzahl Fr_v ergibt sich aus dem Verhältnis von maximaler Beschleunigung b_n senkrecht zur Siebebene und der Komponente der Erdbeschleunigung g_n senkrecht zur Siebebene:

$$Fr_v = \frac{b_n}{g_n}$$

Anstelle der Gebläsedrehzahl ist der auf die Gebläsebreite bezogene Luftdurchsatz \dot{v}_L angegeben. Die pro Zeiteinheit zugeführte Gutmasse \dot{m}_K ist auf die Siebbreite bezogen. Neben den Körnerverlusten V_K wurde die Reinheit R_M des abgesiebten Gutes bestimmt. Die Reinheitsangaben berücksichtigten den Massenanteil von Nichtkornbestandteilen, wie z.B. Spreu, leere Ähren und Kurzstroh.

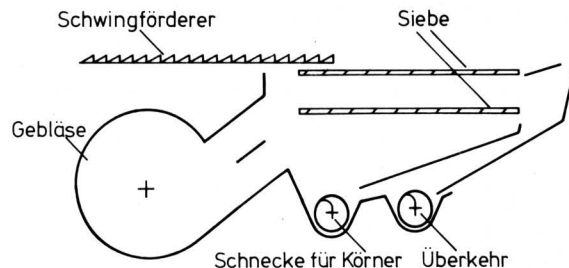


Bild 12. Reinigungsanlage mit 2 deckungsgleich übereinander angeordneten Sieben.

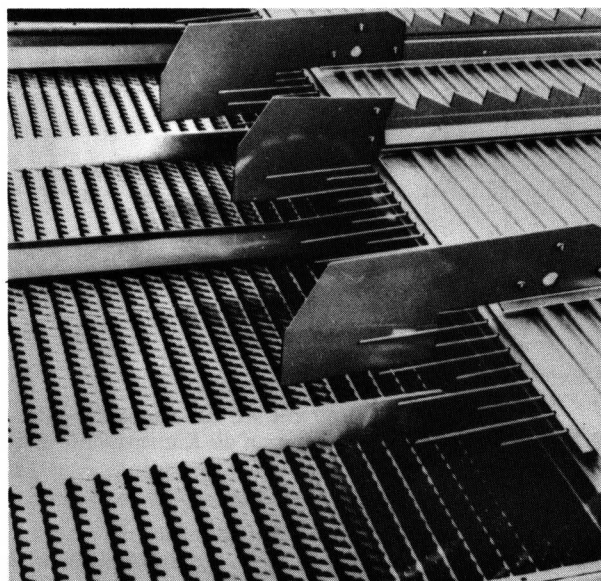


Bild 13. Schwingförderboden zur Beschickung der Reinigungsanlage (Werkbild Claas).

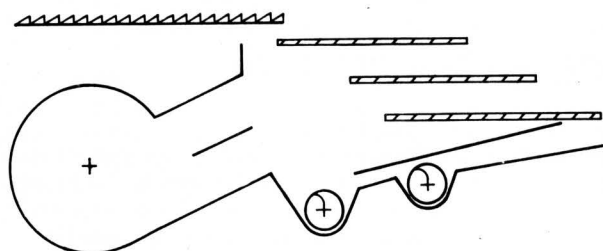


Bild 14. Reinigungsanlage mit 3 kaskadenartig übereinander angeordneten Sieben.

4.1.2 Versuchsergebnisse

Bei allen untersuchten Anlagen bestätigte sich weitgehend die in **Bild 10** und **11** erläuterte Tendenz im Verlustverhalten. Von einem bestimmten Körnerdurchsatz an nehmen die Körnerverluste

stark progressiv zu. Die Gutschicht befindet sich hier nicht mehr in der Wirbelschichtphase, aufgrund der kohärenten Schüttstruktur des Reinigungsgutes ist die Entmischung erschwert.

Unterschiede im Verlustverhalten wiesen die Anlagen im Bereich der Flugförderung einzelner Partikeln auf. Bei geringen Körnerdurchsätzen wurde die Höhe der Körnerverluste hauptsächlich durch die Verweilzeit des Gutes auf dem Sieb und damit durch die Sieblänge bestimmt.

Den Einfluß des Luftdurchsatzes des Reinigungsgebläses auf die Körnerverluste V_K und die Reinheit R_M zeigt Bild 15. Die Versuchsanlage hatte die in Bild 16 dargestellten Abmessungen. Bei einer mittleren Belastung der Reinigung (bezogener Körnerdurchsatz $\dot{m}_K = 3 \text{ kg/s m}$) nehmen die Körnerverluste mit zunehmender Luftmenge zu. Es werden Körner mit der Luft über die Reinigung hinausgetragen. Bei dem bezogenen Körnerdurchsatz von $\dot{m}_K = 4,9 \text{ kg/s m}$ zeigt die Verlustkurve ein Minimum. Ist der Luftdurchsatz zu gering, so wird die Gutschicht nicht ausreichend fluidisiert und damit die Entmischung erschwert. Es verbleiben Körner in der Gutschicht und werden nicht abgetrennt. Bei zu großem Luftdurchsatz werden Körner vom Luftstrom ausgetragen.

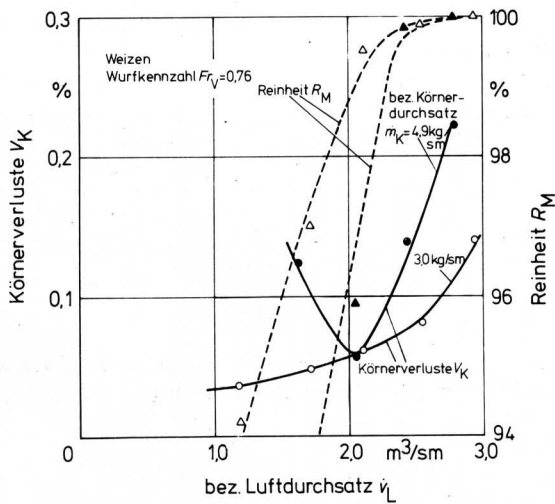


Bild 15. Einfluß des Luftdurchsatzes auf die Körnerverluste und die Reinheit des abgießten Gutes.

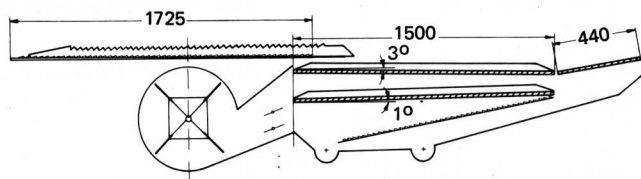


Bild 16. Abmessungen der Versuchsanlage.

Neben den Körnerverlusten ist die Reinheit R_M des abgießten Gutes ein Beurteilungskriterium für den Trennerfolg. Der Massenanteil der Verunreinigungen sollte geringer als 1 % gehalten werden, da die Nichtkornbestandteile aufgrund ihres geringen Gewichtes ein großes Volumen einnehmen. Nach Bild 15 wird die minimale Luftmenge nicht durch die Körnerverluste, sondern durch die erforderliche Reinheit R_M bestimmt.

Bild 17 zeigt den Einfluß der Siebeschleunigung auf die Körnerverluste. Bei größerer Siebeschleunigung ist der spezifische Luftdurchsatz \dot{v}_L bei gleichen Körnerverlusten V_K niedriger als bei einer geringeren Siebeschleunigung. Dieses bestätigt die von Damm im Modellversuch nachgewiesene Austauschbarkeit der mechanischen und pneumatischen Parameter.

Wesentlichen Einfluß auf das Verlustverhalten hat die Vorentmischung des Gutes auf dem Schwingförderboden. Befinden sich die abzutrennenden Körner bei der Gutaufgabe auf die Siebe bereits im unteren Teil der Gutschicht, so vergrößert sich die Trennleistung erheblich, Bild 18. Im vorliegenden Fall konnte bei gleichen Körnerverlusten der Körnerdurchsatz durch die geschichtete Aufgabe der einzelnen Bestandteile verdoppelt werden.

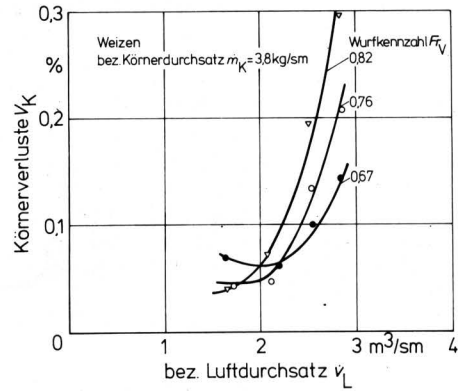


Bild 17. Einfluß der Wurfkennzahl und des Luftdurchsatzes auf die Körnerverluste.

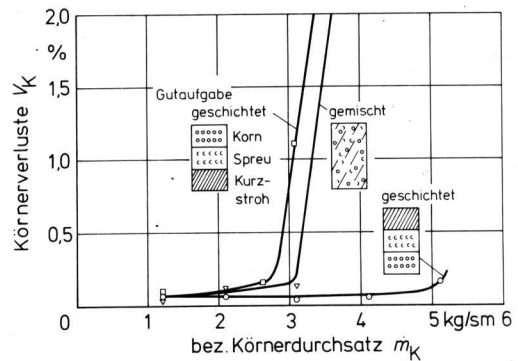


Bild 18. Verlustverhalten der Reinigung bei unterschiedlicher Schichtung der Gutkomponenten bei der Gutaufgabe.

4.2 Schüttler mit vibro-pneumatischem Trenneffekt

4.2.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Für die Versuche wurde ein Drei-Horden-Schüttler mit einer Fallstufe verwendet. Die einzelnen Horden waren zur Erzeugung eines örtlich wirkenden vibro-pneumatischen Effektes im Bereich der Fallstufe mit einer Luftdüse ausgerüstet, Bild 19 und 20 [25]. Der Anströmwinkel der Luft betrug 55° zur Horizontalen. Über flexible Schläuche waren die Luftdüsen mit einem Radialgebläse verbunden. Der Rücklaufboden war entfernt, so daß der Schüttlerdurchgang über der Schüttlerlänge aufgefangen werden konnte. Die Gutzuführung erfolgte durch ein Förderband.

Die Versuche wurden mit Sommerweizen durchgeführt. Die Entkörnung des Versuchsgutes erfolgte durch Tangentialdrusch. Bei den Laborversuchen wurde von einem Korn-Stroh-Verhältnis von 1 : 1 und einer Korbabscheidung von 80 % ausgegangen. Der mittlere Feuchtegehalt der Versuchsmischung betrug ca. 10 %.

Bei einer konstanten Schüttlerfrequenz von 2,5 Hz wurden die Körnerverluste V_K im Schüttlerübergang und der Körnerdurchgang über der Schüttlerlänge ermittelt. Die Anströmgeschwindigkeit der Luft am Austritt aus der Düse betrug etwa 7 m/s.

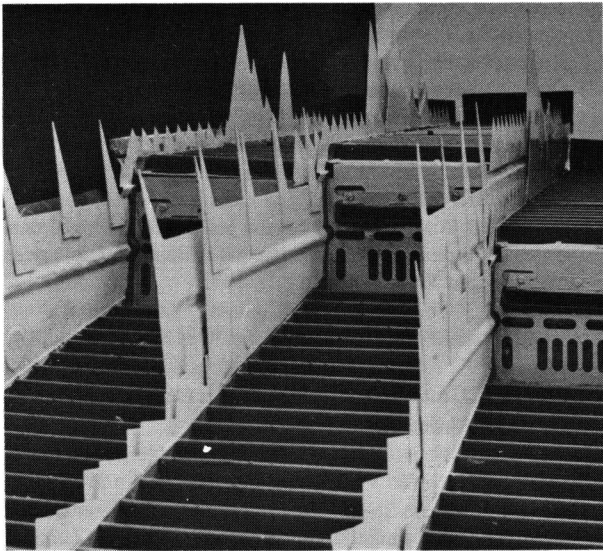


Bild 19. Anordnung der Luftdüsen an den Fallstufen [25].

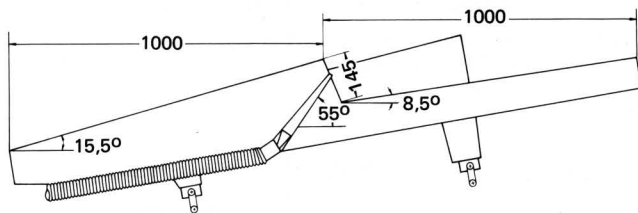


Bild 20. Abmessungen des mit und ohne Luftzuführung untersuchten Schüttlers.

4.2.2 Versuchsergebnisse

Bild 21 zeigt die Schüttlerverluste V_K in Abhängigkeit von dem auf die Schüttlerbreite bezogenen Strohdurchsatz \dot{m}_S . Wie beim Verlustverhalten der Reinigung ist auch hier ein stark progressives Ansteigen der Körnerverluste V_K von einem bestimmten Strohdurchsatz an festzustellen. Bei zusätzlichem Auflockern der Stroh-schicht durch Anströmen mit Luft erfolgt die starke Zunahme der Körnerverluste V_K erst bei einem größeren Strohdurchsatz. Damit ist eine Senkung der Körnerverluste oder, bei gleichen Verlusten, eine Durchsatzsteigerung des Schüttlers möglich. Im vorliegenden Fall konnte eine Leistungssteigerung von fast 20 % erzielt werden.

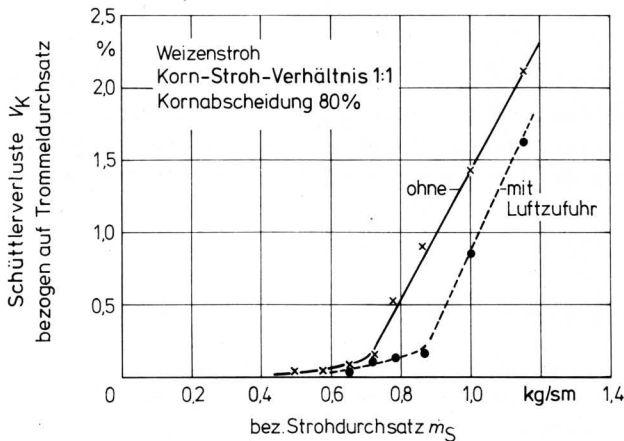


Bild 21. Vergleich der Körnerverluste mit und ohne Luftzuführung beim Versuchsschüttler.

Bild 22 zeigt den Schüttlerdurchgang über der Schüttlerlänge mit und ohne vibro-pneumatische Wirkung. Aufgetragen ist der Massenanteil der Restkörner im Stroh in Abhängigkeit von der Schüttlerlänge l . Bis zur Fallstufe ist die Kornabscheidung über der Schüttlerlänge für beide Betriebsfälle gleich. Durch die Auflockerung der Stroh-schicht an der Fallstufe verbessert sich die Kornabscheidung. Mit Luftanströmung der Stroh-schicht bleibt die verbesserte Kornabscheidung über einem größeren Schüttlerbereich bestehen. Die Versuche werden fortgesetzt.

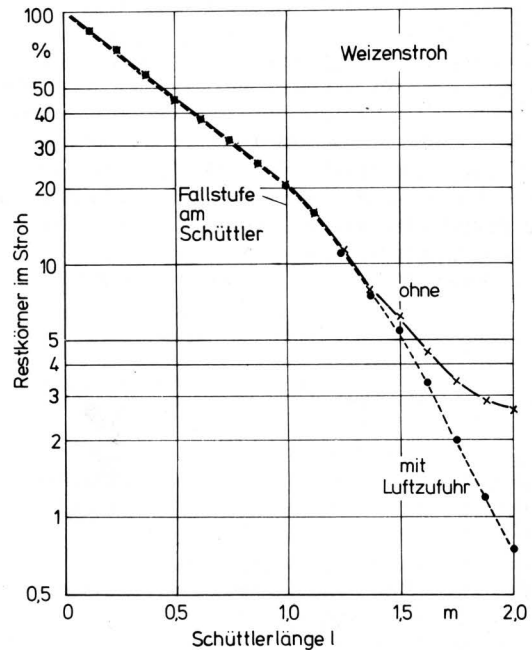


Bild 22. Restkörner im Stroh in Abhängigkeit von der Schüttlerlänge bei Betrieb mit und ohne Luftzuführung.

5. Auswirkungen auf die Fortentwicklung

Die Untersuchungen geben Hinweise für die Fortentwicklungen der dem Dreschwerk nachgeordneten Trennelemente.

In Ländern mit zukünftig stark ansteigenden Flächenerträgen, beispielsweise in Westeuropa, werden Mäh-drescher erforderlich sein, deren Reinigungsanlage verglichen mit dem Schüttler für wesentlich größere Durchsatzleistungen geeignet ist. Das Zurückführen des Wirkungsprinzips der Reinigung auf einen vibro-pneumatischen Prozeß hat eine Neuorientierung bei den Bemühungen um eine optimale technische Gestaltung des Trennprozesses, seiner Automatisierung und der Verlustminimierung geschaffen.

Die Entwicklungsmöglichkeiten der Einrichtungen zum Trennen von Korn und Stroh mit Hilfe von Hordenschüttlern ist sowohl bei der Nutzung mechanischer als auch pneumatisch wirkender Zusatzeinrichtungen nicht ausgeschöpft. Erste Versuche mit einer pneumatischen Zusatzeinrichtung am Schüttler haben neue Wege für den Prozeß der Korn-Stroh-Trennung mit dem Ziel einer qualitativen Verbesserung aufgezeigt.

6. Zusammenfassung

Gutbedingte Faktoren machen eine technische Fortentwicklung des Mäh-dreschers notwendig. Die Möglichkeiten für eine Verbesserung der Trennung von Korn und Stroh, sowie von Korn und Spreu sind noch nicht ausgeschöpft. Es wurden neue Ansätze auf der Grundlage der vibro-pneumatischen Trennung theoretisch und experimentell überprüft und zur Diskussion gestellt.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] *Eimer, M.*: Untersuchungen zur Durchsatzregelung am Mähdrösch. Habilitationsschrift Univ. Göttingen, 1973.
- [2] *Otto, R.*: Untersuchungen zu einigen Problemen bei der Ernte von kurzstrohigen Winterweizen- und Sommerweizenformen. Deutsche Agrartechnik Bd. 22 (1972) H. 3, S. 131/33.
- [3] *Rilling, K.E.*: Stroh – leistungsbestimmender Faktor beim Mähdrösch. DLG-Mitteilungen Bd. 91 (1976) H. 12, S. 667/68.
- [4] *Vornkahl, W.*: Voraussage der Bestandsentwicklung von landwirtschaftlichen Maschinen mit Hilfe einer graphischen Methode. Landt. Forschung Bd. 13 (1963) H. 2, S. 40/46.
- [5] *Reiner, L.*: Getreide- und Hackfruchterträge 1980. DLG-Mitteilungen Bd. 91 (1976) H. 12, S. 670/74.
- [6] *Baader, W., H. Sonnenberg u. H. Peters*: Die Entmischung eines Korngut-Fasergut-Haufwerks auf einer vertikal schwingenden, horizontalen Unterlage. Grundl. Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 5, S. 149/57.
- [7] *Sonnenberg, H.*: Korn-Stroh-Trennung mit Doppelkurbel-Hordenschüttlern. Grundl. Landtechnik Bd. 20 (1970) Nr. 6, S. 161/66.
- [8] *Herbsthofer, F.J.*: Wo stehen wir im Mähdröschbau und wie geht es weiter? Grundl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 3, S. 94/103.
- [9] *Sonnenberg, H. u. W. Baader*: Erntemaschinen für Halmfrüchte. Grundl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 6, S. 181/82.
- [10] *Gorsler, K.G.*: Intensivierung der Abscheidewirkung am Hordenschüttler von Mähdröschern durch Querschüttler. Vortrag anlässlich der VDI-Tagung Landtechnik, Stuttgart 1974.
- [11] *Sonnenberg, H.*: Korn-Stroh-Trennung mit einer Umlenktrömmel. Grundl. Landtechnik Bd. 21 (1971) Nr. 6, S. 169/72.
- [12] *Mac Aulay, J.T. u. J.H.A. Lee*: Grain separation on oscillating combine sieves as affected by material entrance conditions. Trans. ASAE Bd. 11 (1968) S. 648/54.
- [13] *Reumschüssel, G. u. Chr. Zehme*: Untersuchungen am Obersieb einer ebenen Reinigungseinrichtung. Agrartechnik Bd. 23 (1973) H. 6, S. 280/83.
- [14] *Damm, J.*: Der Sortiervorgang beim luftdurchströmten Schwingsieb. Fortschr.-Bericht VDI-Z. Reihe 3, Nr. 37, Düsseldorf: VDI-Verlag 1972.
- [15] *Rochell, P.*: Der Fördervorgang auf dem Schwingförderer unter besonderer Berücksichtigung der Reinigungsanlage im Mähdrösch. Diss. TH Stuttgart, 1975.
- [16] *Segler, G.*: Verfahrenstechnik in der Landwirtschaft. VDI-Zeitschrift Bd. 109 (1967) Nr. 9, S. 394/400.
- [17] *Wieneke, F.*: Das Arbeitskennfeld des Schlagleistendreschers. Grundl. Landtechnik H. 21 (1964) S. 33/34.
- [18] Deutsche Auslegeschrift Nr. 1582621.
- [19] •Autorenkollektiv: Kompendium der sowjetischen Landmaschinen-technik. VEB Verlag Technik, Berlin 1954.
- [20] *Glaser, F.*: Korn-Stroh-Trennung unter besonderer Berücksichtigung eines umlaufenden Siebbandschüttlers (Zinkbandschüttler). Diss. TH München 1976.
- [21] Deutsche Offenlegungsschrift 2160038.
- [22] Druckschrift der Firma Allis Chalmers, Milwaukee Nr. AED 400-7603-R.
- [23] Deutsche Patentschrift 1582 651.
- [24] *Busse, W.*: The design and use of combine harvesters for minimum crop loss. The Agricultural Engineers Bd. 32 (1977) H. 1, S. 7/9.
- [25] *Gorden, L.L. u. F.D. Robinson*: Development of the MF cascade shoe (Entwicklung des kaskadenförmigen Siebschuhs von MF). Trans. ASAE Bd. 14 (1971) Nr. 3, S. 448/49.

Eine Methode zur Beurteilung von Bodenbearbeitungsverfahren im Hinblick auf die Schlagkraft

Von Alfred Stroppel, Stuttgart-Hohenheim*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik in der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 631.312:631.316:631.51

Die heute in der Landwirtschaft praktizierten intensiven Fruchtfolgen mit den dadurch bedingten kurzen Feldzeitspannen für die Bodenbearbeitung, der Arbeitskräftemangel, der Trend zu größeren Betriebsgrößen zur Verbesserung der Einkommenslage der Landwirte u.a.m. erfordern Bodenbearbeitungsverfahren mit hoher Schlagkraft. So konnte beispielsweise der Grubber in zahlreichen Fällen den Streichblechpflug verdrängen, weil er schlagkräftiger ist. Leider gibt es heute noch keine eindeutig festgelegte, objektive Methode, mit der man Kenn-

daten für die Schlagkraft verschiedener Verfahren der Bodenbearbeitung ermitteln kann, um mit diesen Werten die Verfahren untereinander zu vergleichen. In dieser Arbeit wird eine entsprechende Methode vorgeschlagen und zur Diskussion gestellt.

1. Einleitung

Bei der Ermittlung von arbeitswirtschaftlichen Daten in der Verfahrenstechnik der Bodenbearbeitung muß man zwei Zielsetzungen unterscheiden. In dem einen Fall sollen sog. Arbeitsbedarfszahlen für Arbeiten mit bestimmten, meist in einem Betrieb vorhandenen Geräten mit vorgegebener Arbeitsbreite ermittelt werden. Diese Zahlen werden beispielsweise für die Erstellung eines

*) Prof. Dr.-Ing. Alfred Stroppel ist Inhaber des Lehrstuhls für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim.