

Steffen Budach, Harsewinkel

# Rotierende Korn-Stroh-Trennsysteme für Mähdrescher mit Tangentialdreschwerk

*Im Mähdrescher mit Tangentialdreschwerk wird der Hordenschüttler zunehmend zum leistungsbegrenzenden Element. Wesentlich ist dies darauf zurückzuführen, dass auf dem Hordenschüttler eine allmähliche Verdichtung der unteren Gutschichtzonen eintritt. In diesem Beitrag werden Untersuchungsergebnisse mit rotierenden, nach dem Prinzip des „Trennens im Schwerefeld der Erde“ arbeitenden Korn-Stroh-Trennsystemen vorgestellt, wobei deren horizontale und vertikale Gutschichterregung zu einer erheblich verbesserten Kornabscheidung führt.*

Die auf dem Hordenschüttler im Wesentlichen vertikal in die Gutschicht eingeleiteten Impulse führen nach und nach zu einer Verdichtung der unteren Gutschichtzonen und damit zu einer Verschlechterung der Kornabscheidebedingungen. Aus diesem Grund werden Hordenschüttler seit Jahren mit sogenannten Schüttlerhilfen ausgerüstet.

Im Bestreben, die Durchsatzleistung konventioneller Mähdrescher weiter zu erhöhen, rückt aber auch der Ersatz des Hordenschüttlers durch geeignete, im Wesentlichen rotierende Korn-Stroh-Trennsysteme unter Beibehaltung des tangentialen Ausdruschprinzips immer stärker in den Vordergrund. Bisher werden in diesem Zusammenhang nur Systeme angeboten, die nach dem Prinzip des „Trennens in zusätzlichen Beschleunigungsfeldern“ arbeiten. Die Vorteile derartiger Trennsysteme (niedrigerer Anstieg der Durchsatz-Verlust-Kennlinie, neigungsunabhängige Arbeitsweise) gegenüber dem „Trennen im Schwerefeld der Erde“ sind unumstritten. Die intensivere Gutbearbeitung führt jedoch neben einem deutlich höheren Energiebedarf zu einer stärkeren Belastung der nachgeschalteten Reinigungseinrichtung (Kurzstroh). Zudem verschlechtern sich die Abscheideergebnisse im Bereich niedrigerer Durchsätze. Nachfolgend werden Ergebnisse vorgestellt, die für rotierende, dem Prinzip des „Trennens im Schwerefeld der Erde“ zuzuordnende Korn-Stroh-Trennsysteme erarbeitet wurden. Im Besonderen wird dabei auf den Zusammenhang zwischen Gutschichterregung und Kornabscheidung sowie den zinkenformbedingten Einfluss auf die Gutschichterregung eingegangen.

## Untersuchte Korn-Stroh-Trennsysteme

Zur Klärung der Zusammenhänge zwischen Zinkenform, Gutschichterregung und Kornabscheidung wurden die an der TU Dresden für Laboruntersuchungen entwickelten rotierenden Korn-Stroh-Trennsysteme „Zinkenkettschüttler“ und „Zinkenrotorschüttler“ (Bild 1) eingesetzt (detaillierte Beschreibung in [1-3]).

Die geraden impulserzeugenden Elemente des Zinkenkettschüttlers führen beim Auflaufen der Kipphebel an den Nocken eine überlagerte Bewegung (Translations- und Rotationsanteil) aus und gehen schließlich entgegen der Gutbewegungsrichtung in ihre Ausgangslage zurück. Dem gegenüber führen die gekrümmten Zinken des Zinkenrotorschüttlers eine reine Rotationsbewegung aus und treten stets in Gutflussrichtung durch die Trennfläche.

Aus der Literatur [4] ist bekannt, dass sowohl die Größe der in die Gutschicht eingeleiteten Impulse als auch die Erregerfrequenz (Häufigkeit der Impulseinleitung) einen maßgeblichen Einfluss auf das Kornabscheideergebnis haben. Am Zinkenrotorschüttler führt die Erhöhung der Rotordrehzahl zwangsläufig zu größeren Impulsen (höhere Zinkenumfangsgeschwindigkeit) und einer häufigeren Gutschichterregung, eine voneinander unabhängige Untersuchung beider Parameter ist nicht möglich. Im Gegensatz dazu sind am Zinkenkettschüttler Impulsgröße und Erregerfrequenz weitgehend entkoppelt. So kann bei steigender Kettengeschwindigkeit (höhere Erregeramplitude) die Erregerfrequenz dadurch

Dr.-Ing. Steffen Budach ist Leiter der Patentabteilung der CLAAS KGaA mbH, 33426 Harsewinkel, und war von 1991 bis 1997 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Landmaschinen bei Prof. Bernhardt; e-mail: budach@claas.com

## Schlüsselwörter

Mähdrescher, Korn-Stroh-Trennsysteme

## Keywords

Combine, grain-straw separation systems

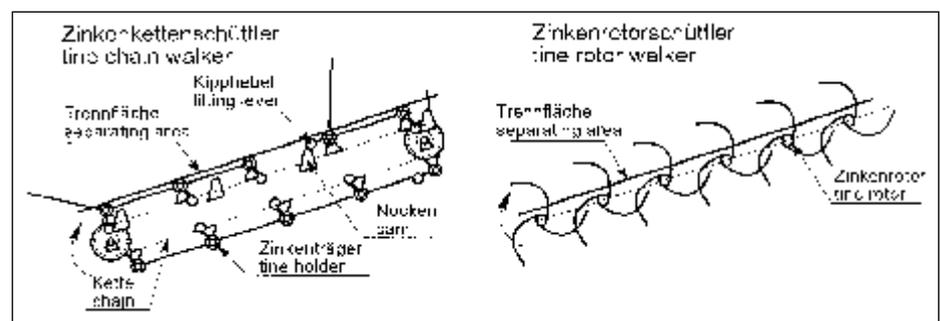


Bild 1: Funktionsprinzipie Zinkenkettschüttler – Zinkenrotorschüttler

Fig. 1: Working principles tine chain walker – tine rotor walker

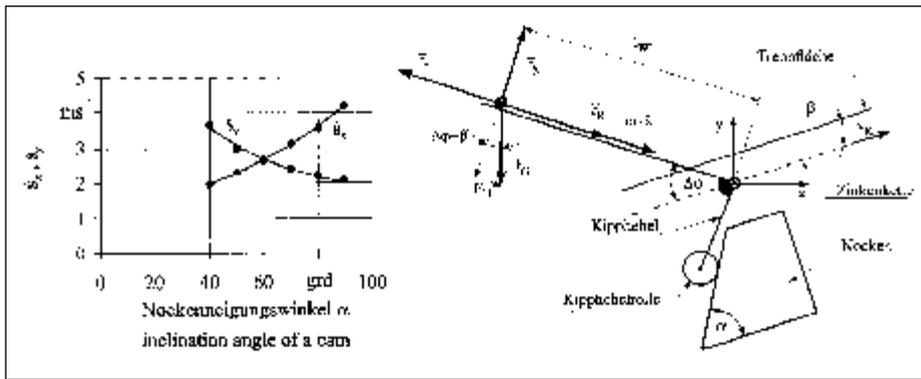


Bild 2:  $s_y$  zum Zeitpunkt des Zinkeneingriffs und beim Übergang des Kipphebels von der Nockenflanke zum Nockenkopf in Abhängigkeit vom Nockeneneigungswinkel  $\alpha$ .

Fig. 2:  $s_y$  at the moment of tine mesh into the good and at the moment when the overturn lever turns over from the cam flank to the cam head depending on the inclination angle of a cam  $\alpha$ .

annähernd konstant gehalten werden, dass die Anzahl der Nocken verringert wird und umgekehrt kann bei konstanter Kettengeschwindigkeit die Erregerfrequenz durch eine größere Anzahl von Nocken erhöht werden.

Zudem ist über die Nockenform die Zinkenumfangsgeschwindigkeit in der Weise beeinflussbar, dass sie zum Zeitpunkt des Zinkeneingriffs eine hohe vertikale Komponente ( $s_y$ ) und bei aufrecht in der Gutschicht stehendem Zinken eine hohe horizontale Komponente ( $s_x$ ) erreicht (hoher Vertikal- oder Horizontalimpuls, Bild 2).

## Ergebnisse

### Der Einfluss der Zinkenform auf die Gutmitnahme

Die Intensität der Gutmitnahme wird maßgeblich von der Form der impuls erzeugenden Elemente beeinflusst. Reduziert man die über den auflaufenden Zinken befindliche Gutmatte auf eine Elementarmasse, so wird diese genau dann den Kontakt zum Zinken verlieren, wenn für die auf die Elementarmasse wirkender Normalkraft  $F_N \leq 0$  gilt. Für den Zinkenrotorschüttler mit geraden oder gekrümmten Zinken ergeben sich die in Bild 3 sowie Gleichung 1 und 2 dargestellten Kraftwirkungen. Für den ausschließlich mit geraden impuls erzeugenden Elementen betriebenen Zinkenkettschüttler sind die Kraftwirkungen Bild 2 sowie Gleichung 3 zu entnehmen.

Zinkenrotorschüttler:

grade Zinken

$$F_{Ni} = F_G \cdot \cos(\varphi_{0i} + \omega \cdot t - \beta) - F_{Fi} \cdot \sin \delta_i \quad (1)$$

gekrümmte Zinken

$$F_{Ni} = F_G \cdot \cos \eta - F_{Fi} \cdot \cos \sigma \quad (2)$$

Zinkenkettschüttler

$$F_N = F_G \cdot \cos(\Delta\varphi - \beta) \quad (3)$$

Nur für die impuls erzeugenden Elemente des Zinkenrotorschüttlers wird die Normalkraft um einen Fliehkraftanteil verringert.

Dies bedeutet, dass bei gleichen kinematischen Parametern eine auf dem Zinkenrotorschüttler bewegte Masse schon bei flacherer Stellung der impuls erzeugenden Elemente von diesen abheben kann, während eine von den geraden impuls erzeugenden Elementen des Zinkenkettschüttlers erregte Elementarmasse theoretisch erst von diesen abhebt, wenn die impuls erzeugenden Elemente senkrecht zur Erdbeschleunigung stehen. Beim Übergang des Kipphebels von der Nockenflanke zum Nockenkopf wird die Bewegung des geraden Zinkens jedoch stark verzögert, so dass sich die Elementarmasse zu diesem Zeitpunkt vom Zinken entfernt.

Bei gleicher Fliehkraft und identischem Reibverhalten wird entsprechend Bild 2 und 3 deutlich, dass ein Gleiten an gekrümmten Zinken im Vergleich zu geraden wahrscheinlicher ist. Neben der am gekrümmten Zinken niedrigeren Normalkraft begünstigt die Hangabtriebskomponente der Gewichtskraft diesen Umstand. Die durchgeführten Versuche zeigten, dass neben dem zeitigeren Abheben auch die größere Wahrscheinlichkeit des Gleitens der Gutschicht an gekrümmten

Zinken zu einer weniger aggressiven Gutmitnahme führt. Die zum Teil deutlich höhere Umfangsgeschwindigkeit der geraden Zinken sowie deren aggressivere Gutmitnahme schufen stärker ausgeprägte höher und niedriger verdichtete Gutschichtbereiche (ausgeprägteres horizontales „Pulsieren“ des Gutstranges).

### Impulsgröße und Kornabscheidung

Wird die Gutschicht durch rotierende Zinken erregt, lassen sich folgende Entmischungszustände beobachten:

1. Zum Zeitpunkt des Zinkeneingriffs in die Gutschicht ist dessen vertikale Umfangsgeschwindigkeitskomponente im Vergleich zur horizontalen relativ groß. Dies führt im Wesentlichen zu einer Beschleunigung der Gutschicht in vertikaler Richtung. Die größere Trägheit der Körner gegenüber der Strohschicht verzögert dabei deren Bewegungsbeginn. Auf diese Weise werden einerseits Körner aus höheren Gutschichtzonen in tieferen eingelagert, andererseits treten Körner im unteren Bereich der Gutschicht aus ihr heraus und bewegen sich in Richtung Trennfläche.
2. Während der Bewegung des Zinkens durch die Gutschicht wird die vor dem Zinken liegende Gutmatte verdichtet. Aufgrund der Widerstandskräfte innerhalb der Gutschicht (Verflechtung der Halme untereinander) wird ein Teil des hinter dem eingreifenden Zinken befindlichen Gutstranges ebenfalls, jedoch deutlich geringer beschleunigt. Dies führt in diesem Bereich zu einer Auflockerung der Gutschicht und so zur Verbesserung der Durchgangsbedingungen für die Körner.
3. Ab einem bestimmten Zeitpunkt (abhängig von der Zinkenform und den Eigenschaften der Gutschicht) führt die beschleunigte Gutportion eine mehr oder weniger ausgeprägte Wurfbewegung aus.

Fortsetzung siehe Seite 449

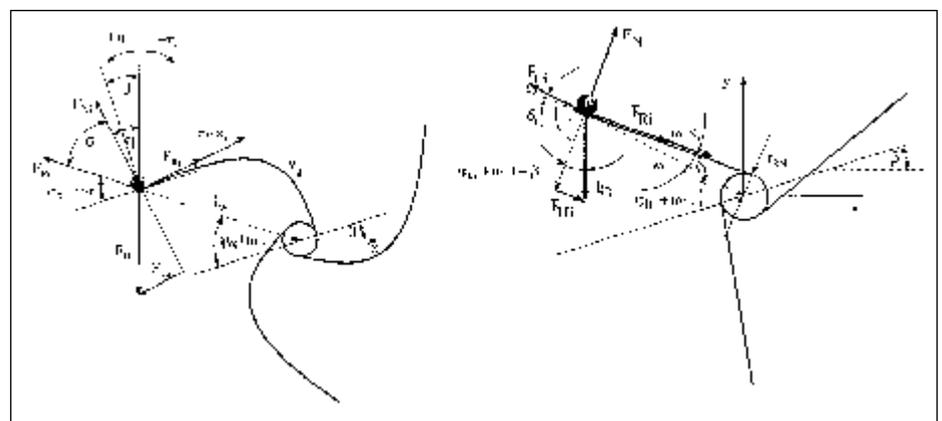


Bild 3: Kraftwirkungen auf eine Elementarmasse am Zinkenkettschüttler

Fig. 3: Dynamic-effects on an elementary mass at a tine rotor walker

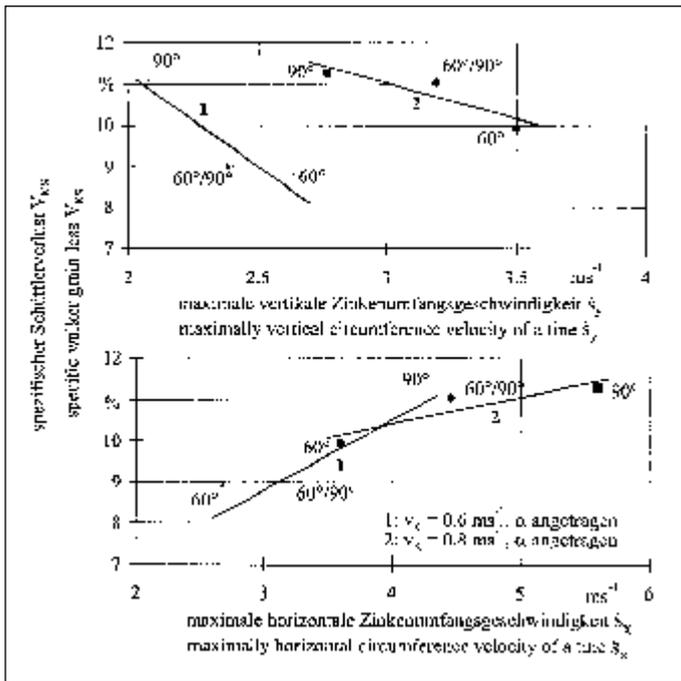


Bild 4: Spezifischer Schüttlerverlust in Abhängigkeit von den Komponenten der Zinkenumfangsgeschwindigkeit an der Zinkenspitze

Fig. 4: Specific walker grain loss depending on the components of the circumference velocity of tine on top of a tine

Fortsetzung von Seite 444

In Abhängigkeit von der Wurfweite trifft die beschleunigte Gutportion am Ende der Wurfphase entweder auf dem nachfolgend eingreifenden Zinken oder der ruhenden Trennfläche auf. Die im Vergleich zur Gutschicht trägeren Körner bewegen sich dabei länger in Richtung Trennfläche und unterliegen ebenfalls den in Punkt 1 beschriebenen Entmischungseffekten.

Alle drei Entmischungsphasen wirken sich sehr unterschiedlich auf die Kornabscheidung aus. Greift ein Zinken im Bereich der niedrigen horizontalen Verdichtungen in die Gutschicht ein, kommt es neben der Anreicherung unterer Gutschichtzonen mit Körnern („Setzen“ der Körner) insgesamt zur intensivsten Kornabscheidung. Der Zinkeneingriff im Bereich höherer Gutverdichtungen führt neben dem „Setzen“ der Körner ebenfalls zu einer intensiven Kornabscheidung. Während der Bewegung des Zinkens innerhalb der Gutschicht verringert sich die Kornabscheidung stark. Die Auflockerung der Gutschicht reicht nicht aus, um durch Schwerkraftwirkung eine effiziente Abscheidung zu ermöglichen. Die geschaffenen aufgelockerten Gutschichtzonen führen jedoch dazu, dass die nachfolgend in die Gutschicht eingeleiteten Vertikalimpulse eine effektivere Korn-Stroh-Trennung realisieren.

Die hohen Vertikalimpulse während des Zusammentreffens Zinken-Gutschicht sowie die Horizontalimpulse innerhalb der Gutschicht begünstigen bei beiden Korn-Stroh-Trennsystemen die genannten Entmischungsphasen. Die extrem hohe horizontale Auflockerung am Zinkenkettschüttler ist nicht erforderlich, da die auf die frei be-

weglichen Körner wirkende Schwerkraft allein nicht ausreicht, um die noch vorhandenen Gutwiderstände zu überwinden. Außerdem führt die starke horizontale Gutbeschleunigung zu hohen mittleren Gutgeschwindigkeiten, die aufgrund der damit verbundenen Verringerung der Verweilzeit des Gutes auf der Trenneinrichtung und der abnehmenden Impulseinleitung erheblich höhere Kornverluste verursacht. Bild 4 verdeutlicht diese Zusammenhänge am Beispiel des Zinkenkettschüttlers.

Eine hohe vertikale Zinkenumfangsgeschwindigkeit im Moment des Zinkeneingriffs in die Gutschicht führt zu niedrigeren Kornverlusten, während hohe horizontale Zinkenumfangsgeschwindigkeiten am Ende der Bewegung des Zinkens in der Gutschicht die Kornabscheidung erheblich verschlechtern.

Impulsdichte und Kornabscheidung

Die weniger aggressive Gutmitnahme gekrümmter Zinken ermöglicht deren Eingriff stets im Bereich höherverdichteter Gutschichtzonen, da mit zunehmender Zinklänge die Gutschicht zum Zeitpunkt des Zinkeneingriffs sowohl von ihm abheben als auch an ihm entlang gleiten kann. Höherverdichtete Gutschichtzonen werden beim Zusammentreffen mit geraden Zinken aufgrund ihrer aggressiven Gutmitnahme nicht wieder aufgelöst. Dies schränkt die möglichen Stellen der Impulseinleitung für gerade Zinken stark ein.

Der deutlich höheren Zinkenumfangsgeschwindigkeit am Zinkenkettschüttler stand deshalb eine mehr als doppelt so hohe Impulsdichte des Zinkenrotorschüttlers gegenüber. Trotzdem erreichte die mittlere Gut-

dichte (Maß für den Gutschichtwiderstand) in Abhängigkeit vom Durchsatz ähnliche Werte. Für einen spezifischen Gesamtdurchsatz von  $6 \text{ kgs}^{-1}\text{m}^{-1}$  lag sie beispielsweise zwischen  $12$  und  $15 \text{ kgm}^{-3}$ . Die Untersuchungen zeigten, dass bei gleichen zu überwindenden Gutwiderständen höhere Impulsdichten (mehr Kornabscheidungsfördernde Wurfbewegungen) im Vergleich zu größeren Impulsen eine effektivere Kornabscheidung realisieren.

Fazit

In welchem Umfang sich eine häufigere Erregung der Gutschicht (Impulsdichte) und eine hohe Impulsdifferenz zwischen Gutschicht und erregenden Elementen (Impulsgröße) auf die Kornabscheidung auswirken, hängt sehr stark von der Form der impulserzeugenden Elemente ab. An gekrümmten impulserzeugenden Elementen stellen sich sowohl für die Kontinuität als auch den Ort der durch sie in die Gutschicht eingeleiteten Impulse günstigere Kornabscheidebedingungen ein.

Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] • Müller, H.: Grundlagen zur Prozessanalyse der Korn-Stroh-Trennung am Beispiel des Zinkenrotorschüttlers. Diss., TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, 1990 (unveröffentlicht)
- [2] • Clauß, S.: Untersuchungen zur Intensivierung der Korn-Stroh-Trennung mittels Zinkenrotorschüttler. Diss., TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, 1992 (unveröffentlicht)
- [3] Budach, S.: Untersuchung neuer Korn-Stroh-Trennelemente für Mähdrescher mit Tangentialdreschwerk. Landtechnik, 51 (1996), H. 4, S.186-187
- [4] Baader, W., H. Sonnenberg und H. Peters: Die Entmischung eines Korngut-Fasergut-Haufwerkes auf einer vertikal schwingenden, horizontalen Unterlage. Grundlagen der Landtechnik, 19 (1969), H. 5, S. 149-157