

Landtechnische Forschung

HERAUSGEBER: KURATORIUM FÜR TECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT
UND LANDMASCHINEN- UND ACKERSCHLEPPER-VEREINIGUNG IM VDMA

Hef 3/1962

MÜNCHEN

12. JAHRGANG

Helwig Heidt und Joachim Johannes:

Die Schwingrinne — ein Hilfsmittel für die Körnerförderung

Institut für Landtechnik, Bonn

Der Körnertransport innerhalb der Landwirtschaft nimmt neue Formen an. Bisher war der Transport von Hand üblich; jetzt ist der vollmechanische Transport das Ziel der Bemühungen. Der menschliche Arbeitsaufwand soll dadurch auf das geringste Maß herabgesetzt sowie Zeit, Mühe und Kosten eingespart werden. Diese Anforderungen lassen sich beim Transport der Körner im Sack nicht erfüllen, denn der Sack zwingt — wie die anderen „handlichen“ Transporteinheiten Garbe, Bund, Ballen, Korb, Kiste — zu absätziger Arbeitsweise und erfordert trotz des Einsatzes mechanischer Hilfseinrichtungen, wie Sackaufzug, Förderband und dergleichen, immer wieder menschliche Handgriffe an mehreren Stellen zugleich. Den Anforderungen kann jedoch nachgekommen werden, wenn die Körner als loses Schüttgut transportiert werden [1]. Die Körner laufen daher heute schon häufig vom Korntank auf dem Mähdrescher über einen Ackerwagen und ein Fördergerät zum Speicher und zur Trocknungsanlage.

In dieser Kette von Transportvorgängen gibt es schwache Stellen. So erweist sich der Übergang vom Wagen zu dem Gerät, das die losen Körner auf den Speicher fördert, immer wieder als ein technisch noch nicht zufriedenstellend gelöstes Problem. Wenn die losen Körner direkt vom Wagen weiter gefördert werden, braucht man eine sehr leistungsfähige und daher teure Fördereinrichtung, um den Wagen schnell genug für neue Transportfahrten freizubekommen. Ein kleines, billiges und handliches Fördergerät genügt jedoch, wenn die ganze Wagenladung erst einmal in einen Pufferbehälter geschüttet werden kann. Ein solcher Puffer wird auch als Körnersumpf bezeichnet; er wird heute schon gelegentlich vom landwirtschaftlichen Betrieb, meist im Erdboden versenkt, selbst gebaut.

Eine solche Grube läßt sich jedoch nicht überall anlegen, denn vielerorts hindern Grundwasser, Fels oder starke vorspringende Grundmauern daran, die Grube an passender Stelle überhaupt zu bauen oder mit wirtschaftlich tragbarem Aufwand ausreichend tief zu machen. Selbst wenn das Fördergerät in der Mitte des Körnersumpfes angesetzt wird, muß ihr tiefster Punkt mindestens 1,3 m unter der Erdoberfläche liegen, damit alle Körner durch eigene Fallbewegung zum Fördergerät gelangen [2].

Die Tiefe eines Körnersumpfes kann aber wesentlich verringert werden, wenn die Körner im Sumpf nicht auf einen Punkt, sondern nur auf eine Linie geleitet und von dort mit einem geeigneten Gerät abgezogen werden. Dann kann der Körnersumpf sogar so flach sein, daß er ebenerdig aufgestellt werden kann. Als Abzuggerät für einen solchen Körnersumpf erscheint eine Schwingrinne besonders geeignet¹⁾. Stellt man eine lange Wanne mit schmalen Längsspalt im Boden so über eine Schwingrinne, daß der Spalt in die Rinne ragt, so kann man die Körner mit der Schwingrinne

aus der Wanne abziehen und am Ende der Rinne einer weiterführenden Körnerfördereinrichtung zuführen (Bild 1).

Gerade die Schwingrinne weist bei der Waagrechtförderung einige wertvolle Eigenschaften auf, die sie zur Kombination mit anderen Fördergeräten geeignet machen. So arbeitet sie wartungs- und störungsfrei, ohne Körnerbeschädigung und mit geringem Leistungsbedarf selbst bei hoher Förderleistung; ihr Betrieb verursacht nur wenig Staub und Lärm; ihr Zu- und Ablauf lassen sich selbsttätig regeln; außerdem kann sie relativ niedrig gebaut werden, so daß sie wenig Platz beansprucht und sich zum Entleeren ebenerdiger und daher billiger Lagerbehälter eignet. Wie andere Fördergeräte wird auch die Schwingrinne nicht allen Anforderungen gerecht, so eignet sie sich nicht zum senkrechten Hochfördern, wenn man von dem Sonderfall der Wendelschwingrinne absieht, sondern die Förderung muß waagrecht oder schwach geneigt und geradlinig erfolgen. Daher ist sie nicht unter allen baulichen Voraussetzungen ohne wesentliche bauliche Veränderungen anwendbar, auch muß sie meist ortsfest installiert werden.

Vor allem die Möglichkeit, mit Hilfe der Schwingrinne eine ebenerdige Körnerannahmewanne zu bauen und damit eine Lücke in der Körnertransportkette zu füllen, gab die Veranlassung, Auskunft über die Vorgänge bei der Schwingrinnenförderung in der Literatur zu suchen und eigene Untersuchungen an einer Schwingrinne und an einer ebenerdigen Körnerannahmewanne durchzuführen.

Untersuchungen an einer Schwingrinne

Die Schwingrinne besteht aus wenigen, robusten Bauelementen (Bild 2). Die Rinne, welche die Körner aufnimmt, bewegt sich an Lenkern parallel zu sich selbst vor-aufwärts und zurück-abwärts. Sie wird über einen Kurbeltrieb (mit Exzentrerscheibe) angetrieben. Dieser Zwangslaufantrieb ist in der Landwirtschaft und in den

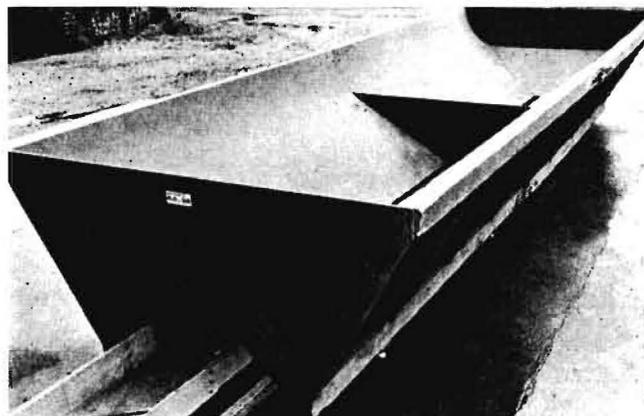


Bild 1: Ebenerdiger Körnersumpf mit Schwingrinne

¹⁾ Die Untersuchungen an der Schwingrinne wurden im Zusammenhang mit Forschungsarbeiten an landwirtschaftlichen Trocknungs- und Belüftungsanlagen im Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich Wilhelms-Universität Bonn (Dir.: Prof. Dr.-Ing. Dr. agr. h. c. DENCKER) mit dankenswerter Unterstützung des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, durchgeführt. Der Firma H. F. Mainz KG, Ollheim über Euskirchen, sei für die Bereitstellung der Geräte gedankt.

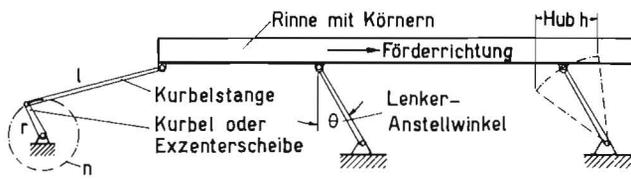


Bild 2: Schema der Schwingrinne

verwandten Industriezweigen (Mühlen, Lagerhäuser) am häufigsten anzutreffen; die anderen Möglichkeiten — Wuchtmassenantrieb und elektromagnetischer Antrieb — sollen daher hier nicht näher erörtert werden.

Die Bewegung der Rinne erfolgt strenggenommen nach dem Bewegungsgesetz des geschränkten Kurbeltriebs [3]. Im praktischen Fall ist aber der Kurbelradius sehr klein gegenüber der Kurbelstangenlänge, so daß die Bewegung zeitlich nahezu sinusförmig verläuft.

Die Bewegung der Körner in der Rinne kommt durch die Reibung zwischen den Körnern und der Rinne zustande. Die Reibungskraft R , mit der die Körner mitgenommen werden, ist jedoch begrenzt. Sie steht in einem bestimmten Verhältnis zur senkrechten Kraft, mit der die Körner auf die Rinne drücken. Es gilt $\text{Reibungskraft} = \text{Reibungsbeiwert} \times \text{senkrechte Kraft der Körner auf die Rinne}$.

Zu unterscheiden sind

der Haftreibungsbeiwert $\mu_H = \text{maximaler Beiwert für den Fall, daß Körner und Rinne relativ zueinander in Ruhe sind, und der Gleitreibungsbeiwert } \mu_G = \text{maximaler Beiwert für den Fall, daß die Körner auf der Rinne gleiten.}$

Der Haftreibungsbeiwert beträgt bei Getreide auf Stahlblech nach eigenen Messungen $\mu_H = 0,4$ bis $0,3$; er ist bei feuchtem Getreide höher als bei trockenem Getreide. Der Gleitreibungsbeiwert ist erfahrungsgemäß stets etwas kleiner als der Haftreibungsbeiwert;

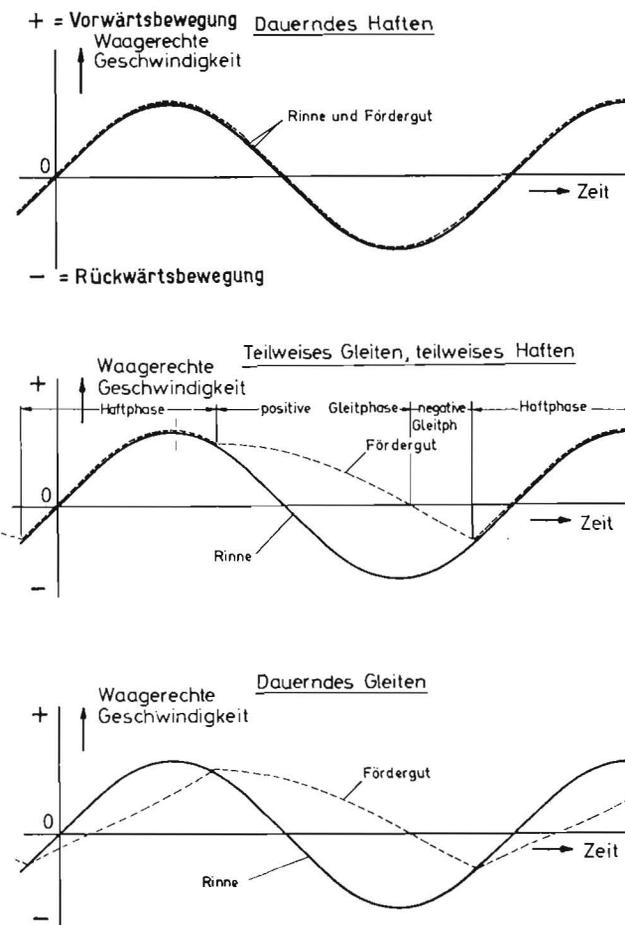


Bild 3: Waagerechte Geschwindigkeit von Rinne und Fördergut (nach BERRY)

bei Weizen beträgt er nach BERRY [4] 85% des Haftreibungsbeiwertes.

Die Reibungskraft beschleunigt die Körner waagrecht und bremst sie auch wieder ab. Würde die Rinne nur eine waagerechte Sinusschwingung machen, so würden die Körner bei jedem Hin- und Rückgang der Rinne durch die Reibungskräfte gleich weit vor und zurück bewegt und nicht gefördert werden. Bei einer nur waagerechten Bewegung der Rinne kann man eine Förderung nicht mit einer sinusförmigen Bewegung der Rinne erreichen, sondern nur durch einen langsamen Vorwärts- und einen schnellen Rückwärts-gang der Rinne. Nach diesem Prinzip arbeitet die Schüttelrutsche²⁾, die im Bergbau schon seit langem benutzt wird [5], die aber auch in der Landwirtschaft dort Bedeutung erlangen kann, wo die durch die Arbeit der Schwingrinne verursachten senkrechten Kräfte zu unzulässig starken Gebäudebeanspruchungen führen. Die Schwingrinne führt nämlich eine sinusförmige Bewegung aus, die nicht waagrecht, sondern vor-aufwärts und zurück-abwärts gerichtet ist. Infolgedessen tritt eine Kraft auf, mit der die Körner senkrecht auf die Rinne drücken. Diese Kraft ist bei der Vor-aufwärts-Bewegung größer als bei der Zurück-abwärts-Bewegung. Da deshalb auch die Reibungskräfte und die Beschleunigung der Körner in Vorwärtsrichtung größer sind, werden die Körner bei jeder Schwingung der Rinne etwas vorwärts bewegt. Der Verlauf der Bewegung kann jedoch recht verschieden sein, je nach Größe der Reibungsbeiwerte; er ist aber auch abhängig vom Anstellwinkel θ der Lenker, vom Hub h , von der Drehzahl n der Kurbel. Rinneform und Füllhöhe haben ebenfalls Einfluß.

BERRY [4; 7] untersuchte die Bewegungen einer Einkorn-Schicht auf einer Schwingrinne ins einzelne gehend theoretisch und experimentell. Die Fördervorgänge bei einer Einkornschicht sind allerdings nicht völlig identisch mit den Fördervorgängen bei dickeren Schichten, wie BERRY schon feststellte und wie auch eigene Messungen zeigten. Genauere Beschreibungen der Fördervorgänge in stärkeren Schichten liegen bis jetzt noch nicht vor; deshalb muß zur Erklärung der Förderung auf einer Schwingrinne vorläufig auf die Betrachtung der Einkornschicht zurückgegriffen werden.

Setzt man einen konstanten Anstellwinkel θ , eine konstante Hublänge h und gleichbleibendes Fördergut voraus, so kann man nach BERRY je nach Drehzahl der Kurbel vier verschiedene Formen der Gutsbewegung feststellen:

- Fall 1: Dauerndes Haften des Fördergutes;
- Fall 2: Teilweises Haften und teilweises Gleiten des Fördergutes;
- Fall 3: Dauerndes Gleiten des Fördergutes und
- Fall 4: Teilweise Wurfbewegung des Fördergutes.

Einen Einblick in den Bewegungsablauf von Fördergut und Rinne gewinnt man anhand von Geschwindigkeitsdiagrammen. Bild 3 zeigt den Verlauf der waagerechten Geschwindigkeitskomponenten für die ersten drei Fälle.

Fall 1: Dauerndes Haften des Fördergutes

In diesem Fall bleibt das Gut relativ zur Rinne in Ruhe, weil die waagrecht auf das Gut wirkende Kraft die durch die Haftreibung gegebene Grenze nicht überschreitet.

Fall 2: Teilweises Haften und teilweises Gleiten des Fördergutes

Dieser Fall stellt sich ein, wenn die Drehzahl so hoch liegt, daß die waagerechte Trägheitskraft des Fördergutes die Haftreibungskraft zeitweise überwindet. BERRY [7] unterscheidet in diesem Fall drei Bewegungsphasen:

- a) Haftphase: Das Gut haftet auf der Rinne, geht mit der Rinne zunächst etwas zurück und wird dann in Förderrichtung mitgenommen.

²⁾ In DIN 15201 (Stetigförderer) [6] sind unter Punkt 6 folgende Benennungen festgelegt:

- 6 Schwingförderer
Schwingförderer sind Schüttgutförderer für waagerechte oder geneigte Förderung, wobei das Gut durch Massenkraft gefördert wird. Schwingförderer können gegebenenfalls zum Absieben verwendet werden.
- 6.1 Schüttelrutsche
Schüttelrutschen fördern nach dem Beschleunigungsverfahren, wobei Gut und Rinne in waagerechter Richtung bewegt werden. Beschleunigungsverlauf bei Hin- und Rückgang nicht gleichförmig (große Amplitude, kleine Frequenz).
- 6.2 Schwingrinne
Schwingrinnen fördern nach dem Wurfverfahren, bei dem Gut und Rinne beim Vorwärtsgang angehoben werden (kleine Amplitude, große Frequenz)

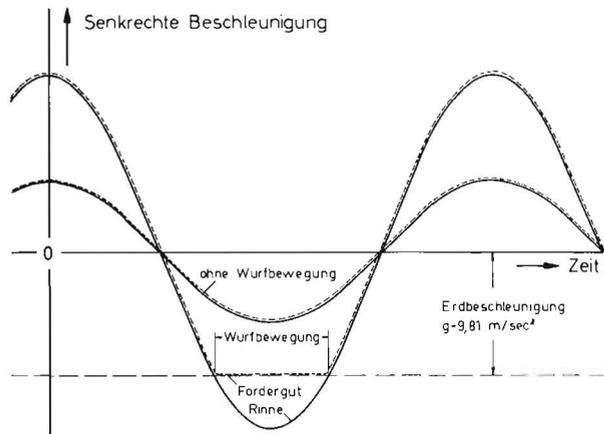


Bild 4: Senkrechte Beschleunigung der Rinne

- b) Positive Gleitphase: Das Gut gleitet infolge seiner Massenträgheit in Förderrichtung weiter; die Rinne bewegt sich — langsamer als das Gut — zunächst in Förderrichtung, dann entgegengesetzt und bremst das Gut ab.
- c) Negative Gleitphase: Das Gut gleitet entgegengesetzt der Förderrichtung, die Rinne bewegt sich ebenfalls noch entgegen der Förderrichtung; Gut und Rinne erreichen einen Punkt gleicher waagerechter Rückwärts-Geschwindigkeit, das Gut haftet wieder.

Fall 3: Dauerndes Gleiten des Fördergutes

Fall 3 tritt bei noch höheren Drehzahlen ein; die Haftphase verkürzt sich nämlich bei Steigerung der Drehzahl, bis sie verschwindet. Die Schwingrinnen, die in der Landwirtschaft eingesetzt sind, arbeiten im Bereich des „Dauernden Gleitens“.

Fall 4: Teilweise Wurfbewegung des Fördergutes

In diesem Fall hebt sich das Fördergut zeitweise von der Rinne ab. Bild 4 läßt die Ursache des Abhebens erkennen. Hier ist die senkrechte Beschleunigung der Rinne dargestellt; sie ändert sich sinusförmig mit der Zeit zwischen positiven und negativen Werten (Beschleunigung nach oben und Beschleunigung nach unten). Die Abwärtsbewegung der Rinne wird zeitweise größer als die Erdbeschleunigung; dann kann das Gut der Rinne nicht mehr abwärts folgen und hebt sich zu einer freien Wurfbewegung von der Rinne ab. In den Fällen 1 bis 3 überschreitet die Abwärtsbeschleunigung der Rinne nicht die Erdbeschleunigung, unter der das Fördergut ständig steht, daher bleibt das Gut in diesen Fällen ständig in Kontakt mit der Rinne.

Die Drehzahlgrenzen für die verschiedenen Formen der Gutsbewegung sind in Bild 5 über dem Hub aufgezeichnet (nach BERRY [4; 7]). Die Grenzen für „Dauerndes Haften“ und „Dauerndes Gleiten“ werden vom Haftreibungsbeiwert stark beeinflusst, der im praktischen Bereich zwischen $\mu_H = 0,4$ und $0,3$ liegt; der Anstellwinkel — praktisch zwischen 25° und 35° , meist zu 30° gewählt — hat auf sie nur geringen Einfluß. Die Grenze der „Teilweisen Wurfbewegung“ verschiebt sich dagegen stark mit dem Anstellwinkel θ , während der Reibungsbeiwert an dieser Grenze ohne jegliche Einwirkung bleibt. Mit steigendem Hub ändern sich die Drehzahlgrenzen immer weniger.

Die mittlere Fließgeschwindigkeit des Fördergutes resultiert aus der Summe der Momentanwerte der waagerechten Geschwindigkeitskomponenten des Fördergutes. BERRY [4; 7] gibt hierfür eine Formel für die Berechnung an. Diese Formel gilt jedoch zufriedenstellend nur für eine Einkornschicht; bei stärkeren Schichten weicht die Fließgeschwindigkeit erheblich davon ab. Eigene Versuche an Schwingrinnen zeigten, daß die mittlere Fließgeschwindigkeit von der Füllhöhe der Rinne abhängig ist; sie kann größer oder kleiner sein als die errechnete Fließgeschwindigkeit der Einkornschicht. Auf Bild 6, oben, ist die mittlere Fließgeschwindigkeit der obersten Körnerschicht für verschiedene Füllhöhen in einem typischen Betriebsbeispiel mit der theoretischen Fließgeschwindigkeit einer Einkornschicht verglichen. Nur die Fließgeschwindigkeit der obersten Körnerschicht konnte direkt

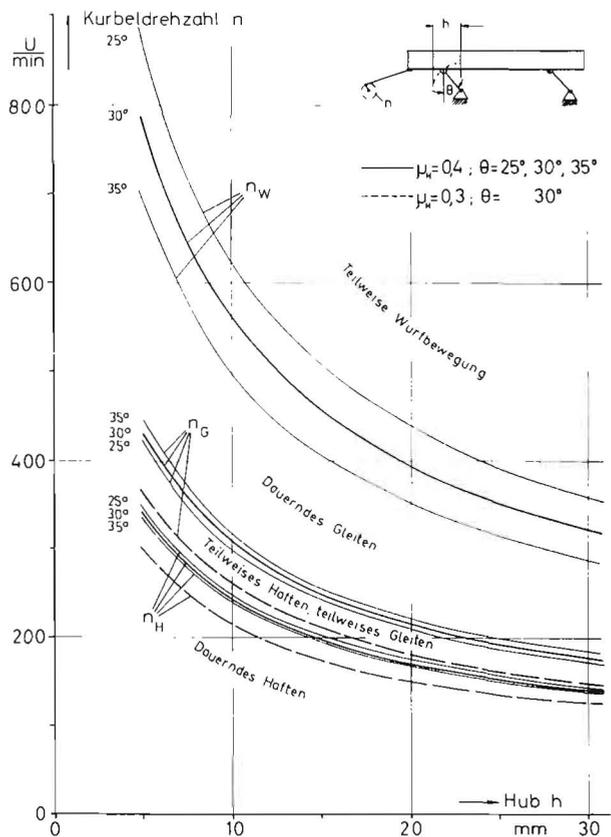


Bild 5: Drehzahlgrenzen für die Formen der Gutsbewegung auf einer Schwingrinne (nach BERRY)

- n_H = obere Grenze für „Dauerndes Haften“
 n_G = untere Grenze für „Dauerndes Gleiten“
 n_W = untere Grenze für „Teilweise Wurfbewegung“

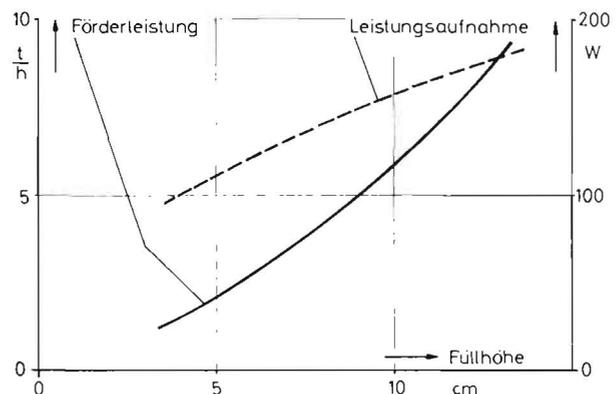
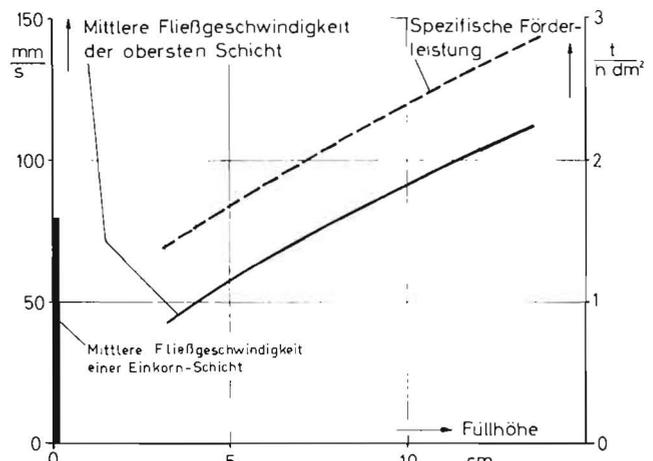


Bild 6: Betriebsverhalten bei verschiedener Füllhöhe

Kurbeldrehzahl 320 U/min; Hub 15 mm; Lenker-Anstellwinkel 30° ; Rinnenbreite 250 mm; Rinnenlänge 5000 mm; Fördergut: Gerste mit 18,5% Kornfeuchtigkeit; Haftreibungsbeiwert 0,38

beobachtet werden; Hinweise auf das Fließverhalten der gesamten Schicht ergeben sich jedoch aus der spezifischen Förderleistung (= Förderleistung pro dm^2 Fördergutquerschnitt). Die spezifische Förderleistung und damit die mittlere Fließgeschwindigkeit in der Körnerschicht steigt ebenso wie die Fließgeschwindigkeit der obersten Schicht mit wachsender Füllhöhe (s. Bild 6, oben). Eine befriedigende Erklärung für das abweichende Verhalten gegenüber einer Einkornschicht kann nicht gegeben werden. Vermutlich wird der Fördervorgang bei dickeren Schichten beeinflusst durch den Unterschied der Reibung zwischen den Körnern selbst und zwischen Körnern und Rinnenboden; die in der Schicht weiter oben liegenden Körner werden nur durch die Reibung zwischen den Körnern bewegt. Auch die zunehmende Belastung der unteren Körner mit wachsender Schichtstärke sowie die elastischen Eigenschaften der Körner und die Reibung an den Seitenwänden der Rinne dürften von Bedeutung sein.

Da die Förderung in stärkeren Schichten mit höherer Fließgeschwindigkeit erfolgt (s. Bild 6), ist es zweckmäßig, schmale, hohe Rinnen anstelle von breiten, flachen zu verwenden. Die schmalen, hohen Rinnen sind auch vorteilhaft, weil sie in sich steifer sind. Niedrige, breite Rinnen neigen bei größeren Lenkerabständen zu Eigenschwingungen und infolgedessen zu einem Aufstauen der Körner in der Rinne bis zu seitlichem Überfließen. Wesentlichen Einfluß auf die Fördergeschwindigkeit hat in jedem Fall der Anstellwinkel θ der Lenker. Schon eine geringfügige Verringerung des Anstellwinkels vermindert die Fördergeschwindigkeit um mehrere Prozent. Bei der Konstruktion der Schwingrinne muß hierauf besondere Rücksicht genommen werden. Unzureichende Förderleistungen im Betrieb können leicht ihre Ursache in einem zu geringen Anstellwinkel haben. Schwer erfüllbare Forderungen an die Fertigungsgenauigkeit entfallen, wenn der Anstellwinkel der Lenker einstellbar ist, beispielsweise durch eine Art Spannschloß in der Schubstange (Bild 7).

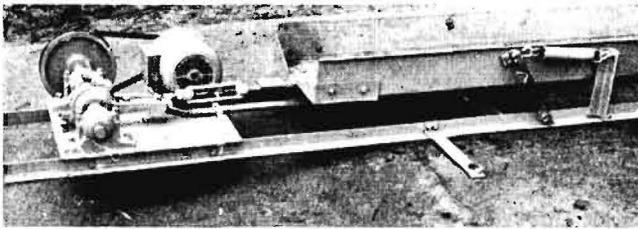


Bild 7: Antriebsseite der Schwingrinne

Ebensowenig wie die Förderleistung aus der mittleren Fließgeschwindigkeit einer Einkornschicht errechnet werden kann, läßt sich die gesamte Förderleistung und die (Antriebs-)Leistungsaufnahme theoretisch vorhersagen. Beide Werte steigen mit der Füllhöhe, wie Bild 6, unten, für einen speziellen Fall zeigt. Die Leistungsaufnahme bei waagerechter Förderung betrug bei der untersuchten Schwingrinne (5 m Länge; 250 mm Breite; 170 mm Höhe) im Drehzahlbereich 300 . . . 400 U/min und bei etwa 15 mm Hub auch bei Veränderung des Fördergutes (Haftreibungsbeiwert 0,3—0,4) nie mehr als 250 W. Dabei wurden Förderleistungen bis zu 15 t/h erreicht. Die Schwingrinne ist daher ein Fördermittel, das bei den in der Landwirtschaft üblichen Förderleistungen mit geringer Antriebskraft auskommt.

Aus den eigenen Untersuchungen lassen sich keine Hinweise gewinnen, welche Förderleistung und Leistungsaufnahme bei anderen Bauarten der Schwingrinne zu erwarten sind. Da die Rinnen aus wirtschaftlichen Gründen in Leichtbauweise ausgeführt werden müssen, bleibt es nicht aus, daß die Rinnenbauteile sich verformen. Dadurch treten Kräfte auf, die von Fall zu Fall verschieden sind und die Förderung in nicht überschaubarer Weise beeinflussen.

Praktische Gesichtspunkte bestimmen im wesentlichen auch die Auswahl von Kurbeldrehzahl und Hub. Der Hub ist (auf etwa 15 mm) begrenzt, wenn man ohne Lenkerlager auskommen will und die Lenker daher aus biegsamen Blattfedern bestehen oder in Schwingmetallverbindungen enden; der Hub könnte zwar bei längeren Lenkern größer sein, doch sollte die Bauhöhe der Schwingrinne insgesamt möglichst niedrig bleiben. — Ebenso ist der Hub

(auf etwa 15 mm) begrenzt, wenn man mit einer einfachen Exzentrerscheibe statt mit einer aufwendigeren gekröpften Kurbel auskommen will. Die Antriebswelle muß nämlich — mit Rücksicht auf die Antriebskräfte — einen ausreichenden Durchmesser haben; der Durchmesser der Exzentrerscheibe soll andererseits klein bleiben, damit die Exzentrerlager nicht unnötig groß und teuer werden. Die Lager werden deshalb schon häufig durch Zugfedern von der ruhenden Belastung durch die Schwingrinne mit normaler Füllung weitgehend entlastet (Bild 7). Die Federkonstante und die Wirkungsrichtung der Feder können so gewählt werden, daß der Anlauf des Antriebes erleichtert und das erforderliche Antriebsmoment gleichförmiger wird. Wenn die Schwingrinne als Abzugsorgan für einen Körnersumpf eingesetzt wird, muß auch der senkrechte Hub der Rinne möglichst gering bleiben; andernfalls werden die Körner zwischen Rinne und Unterseite des Zulaufschlitzes zu stark zusammengepreßt.

Die Kurbeldrehzahl ist weitgehend vorgegeben durch die Nenn-drehzahlen der Dreh- und Wechselstrommotoren (etwa 2800; 1400 usw. U/min) und die begrenzten Möglichkeiten einer Untersetzung mit einfachen Mitteln. Die schneller laufenden Motoren der genannten Art sind bei gleicher Leistung wesentlich billiger und wesentlich kleiner im Bauvolumen. Mit einem einstufigen Keilriemenantrieb läßt sich nun leider in diesem Fall nur eine Untersetzung von etwa 1:4 erreichen, weil der Durchmesser der kleineren, schnellaufenden Scheibe sich nach dem kleinsten zulässigen Biegeradius des Riemens richtet (bei einem mehrfachen Keilriemenantrieb kann der Radius kleiner sein) und die größere, langsam laufende Scheibe möglichst über Flur bleiben soll. Eine doppelte Untersetzung oder der Anbau von Spannrollen beansprucht viel Raum und wird teurer. Kurbeldrehzahlen zwischen 300 . . . 400 U/min lassen sich mit ausreichend geringem Aufwand erreichen; sie gewährleisten bei 15 mm Hub eine Förderung im Bereich „Dauerndes Gleiten“.

Die Zuführung des Fördergutes und seine Mengenregulierung bereiten keine besonderen Schwierigkeiten. Zuführt werden kann an jeder beliebigen Stelle der Rinne; ebenso kann man das Fördergut durch Schieber im Rinnenboden auch an mehreren Stellen nach unten ablaufen lassen. Diese Eigenschaften bilden zusammen mit der niedrigen Bauweise die Grundlage für die besondere Eignung der Schwingrinne zur Beschickung und Entleerung von hintereinanderliegenden Lagerbehältern.

Für die Mengenregulierung am Zulauf genügt ein einfaches Teleskoprohr, das senkrecht in die Rinne eintaucht. Durch Veränderung des Abstandes zwischen Rohrunterkante und Rinnenboden (Bild 8, links) wird die Auslaufmenge und damit auch die Füllhöhe der Rinne und letztlich die Förderleistung eingestellt. Nur bei schwingender Rinne laufen Körner aus dem Teleskoprohr heraus; bei Stillstand der Rinne ist der Zulauf selbsttätig unterbrochen.

Untersuchungen an einer Körnerannahmewanne

Die Erprobung einer Körnerannahmewanne war der eigentliche Anlaß für die nähere Betrachtung der Vorgänge in der Schwingrinne. Die Schwingrinne erwies sich bei dieser Erprobung als ausreichend betriebssicheres und zweckmäßiges Abzugsorgan für eine solche Körnerannahmewanne. Die Versuche wurden mit trockenem und feuchtem Getreide sowie mit Mais (30—40% Körnerfeuchte) durchgeführt.

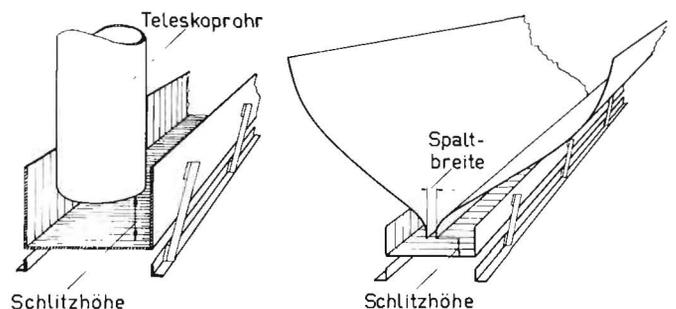


Bild 8: Zulauf zur Förder-Schwingrinne durch Fallrohr (links) oder durch einen Spalt bei einer Körnerannahmewanne (rechts)

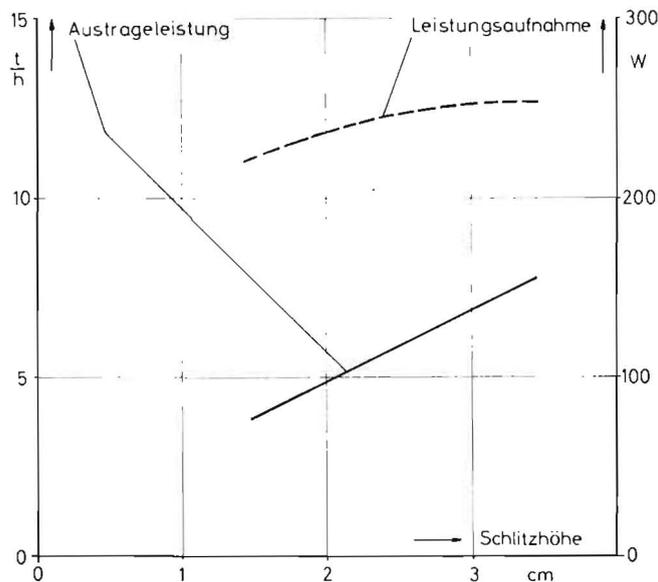


Bild 9: Austrageleistung und Leistungsaufnahme einer Körnerannahmewanne
 Kurbdrehzahl 440 U/min; Hub 12 mm; Lenkeranstellwinkel 30°; Rinnenbreite 360 mm; Rinnenhöhe 110 mm; Rinnenlänge 5000 mm; Fördergut: Gerste mit 23% Kornfeuchtigkeit; Haftreibungsbeiwert 0,39

Der Abzug aus der Körnerannahmewanne erfolgt praktisch nach dem gleichen Prinzip wie die Zuführung aus einem Fallrohr, jedoch ergeben sich hier besondere Probleme: Länge, Breite und Höhe der Annahmewanne müssen so abgestimmt sein, daß der ganze Inhalt eines Ackerwagens in die Annahmewanne abgekippt werden kann. Das Fallrohr wird bei der Annahmewanne durch einen Spalt ersetzt, der sich über die ganze Länge der Wanne hinzieht (Bild 8, rechts). Somit taucht die Wanne zwangsläufig auch über die gesamte Länge der Schwingrinne ein und nimmt in der Mitte der Rinne einen großen Teil des Förderquerschnittes weg. Das Fördergut fließt im Betrieb auf der gesamten Länge der Annahmewanne durch einen (etwa 4 cm breiten) Spalt nach unten und tritt nach beiden Seiten durch je einen „Schlitz“ in die Förderrinne. Durch die Förderbewegung der Schwingrinne fließen die Körner in zwei Strömen auf den Seiten der Rinne zum Auslauf.

Ausreichende Förderleistungen erfordern einen genügend großen Förderquerschnitt. Deshalb mußte eine breitere und flachere Rinnenbauart (360 mm breit × 110 mm hoch) gewählt werden. Zur Aussteifung wurden in den Boden dieser Rinne in 200 mm Abstand schrägverlaufende Sicken eingeschlagen. Nach der Aussteifung erwies sich diese Bauart einer Rinne mit glattem Boden überlegen, obwohl die Sicken leicht stauend wirken.

Geförderte Menge und aus den Schlitzern zulaufende Menge müssen aufeinander abgestimmt werden, um ein seitliches Überlaufen zu verhindern. Im wesentlichen kommt es darauf an, die zulaufende Menge zu begrenzen. Ein teilweises Abdecken des Spaltes führt dabei nicht zum Erfolg. Ein Verengen des Spaltes unter 4 cm Breite führt bei Fördergut mit etwas sperrigem Besatz zum Verstopfen. Als Regulierungsmöglichkeit bewährte sich dagegen das Vergrößern und Verkleinern der Schlitzhöhe (s. Bild 8, rechts). Praktisch läßt sich die Schlitzhöhe dadurch verändern, daß die Annahmewanne gegenüber der Rinne als Ganzes (mit Schraubspindeln) gehoben und gesenkt wird; zum gleichen Ergebnis kommt man auch, wenn nur die Schlitzoberkante höher oder tiefer gestellt wird. Das läßt sich beispielsweise erreichen, wenn man den Spalt seitlich mit Blechstreifen begrenzt, die sich in Langlöchern verschieben lassen. Um das Einquetschen von Körnern am Schlitz zu vermeiden und um die Förderleistung in weiten Grenzen regulieren zu können, erwies es sich als zweckmäßig, die Hublänge von 15 auf 12 mm herabzusetzen (= geringere Vertikalbewegung) und dafür die Kurbdrehzahl auf 400 . . . 450 U/min zu erhöhen. Die Austrageleistung der Annahmewanne ist durch Veränderung der Schlitzhöhe an die nachfolgenden Fördereinrichtungen leicht anzupassen. Bild 9 läßt erkennen, daß schon eine geringfügige Vergrößerung der mittleren Schlitzhöhe die Austrageleistung stark ansteigen läßt. Beim Verstellen von 15 bis 35 mm mittleren Ab-

stand zwischen Rinnenboden und Unterkante des Spaltes ändert sie sich in diesem speziellen Fall etwa von 4 bis 8 t/h.

Die Leistungsaufnahme an der Exzenterwelle (Bild 9 zeigt einen speziellen Fall) schwankte bei den Versuchen je nach Austrageleistung zwischen 200 und 350 W; sie ist höher als bei einer gleichlangen Schwingrinne, die nur zum Fördern benutzt wird. Die Ursache dafür dürfte im wesentlichen in Reibungsverlusten im Zulaufspalt liegen; die Körner im Spalt werden durch die Rinne auf- und abbewegt und reiben sich dabei aneinander. Absolut gesehen, ist jedoch auch die Leistungsaufnahme der Körnerannahmewanne gering.

Auf die Förderleistung der nachfolgenden Geräte läßt sich die Austragevorrichtung durch Verändern der Schlitzhöhe abstimmen. Fallen die nachfolgenden Fördergeräte aus, so staut sich das Korn in der Schwingrinne auf und fließt über. Das Überfließen kann durch einen Schwimmerschalter vermieden werden. Bild 10 zeigt eine einfache Lösung. Am Auslaufende der Rinne wurde eine passende Klappe so eingebaut, daß sie in ihren Bewegungen der Füllhöhe folgt. Diese Bewegungen werden auf einen dreipoligen elektrischen Schalter, der in Verbindung mit dem Antriebsmotor steht, übertragen. Steigt der Getreidespiegel in der Rinne als Folge einer Stauung am Auslauf über eine bestimmte Höhe, so wird der Motor abgeschaltet. Sobald das Getreide vor dem Ablauf abgeflossen ist, fällt die Klappe durch ihr Eigengewicht wieder nach unten und rückt den Schalter wieder ein. Selbstverständlich läßt sich dieser Schalter auch bei Förderschwingrinnen zur Überwachung einsetzen.

Periodisch wirkende Kräfte und Maßnahmen gegen ihre schädlichen Auswirkungen

Beim Fördern mit einer Schwingrinne können periodisch wirkende Kräfte nachteilig wirken. Sie können die Standfestigkeit der Schwingrinne beeinträchtigen und Gebäudeteile zu unzulässig starken Schwingungen anregen. Geeignete Maßnahmen zur Verhinderung der schädlichen Auswirkungen dieser periodischen Kräfte sind jedoch möglich.

Bei erdlastiger Aufstellung führen die periodischen Kräfte zum Verrutschen und Springen der Schwingrinne. Um dies zu verhindern, muß dem Rahmen, an dem die Lenker befestigt sind, etwa das Gewicht der leeren Rinne gegeben werden. Je geringer die schwingenden Kräfte sind, desto leichter kann der Rahmen sein; der Rahmen könnte auch im Boden verankert werden, doch wird dadurch die Freizügigkeit der Aufstellung gestört.

In den oberen Stockwerken eines Speichers wird der Betrieb einer Schwingrinne unter ungünstigen Verhältnissen unmöglich, wenn

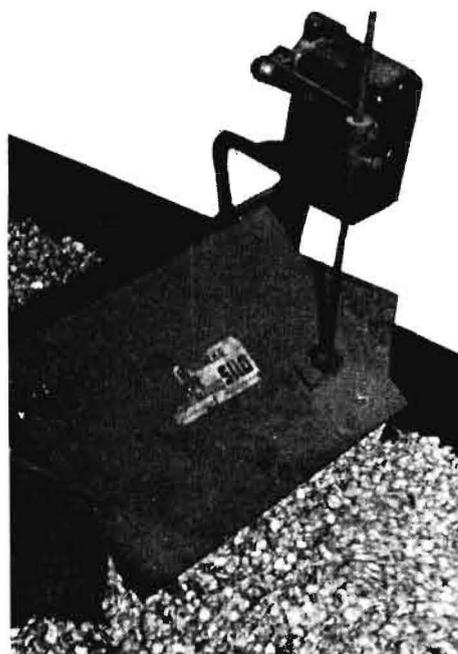


Bild 10: Schwimmerschalter am Auslauf

die periodischen Kräfte, die von der Rinne ausgehen, das ganze Gebäude oder Gebäudeteile zu unzulässig starken Schwingungen anregen. Gebäude und vor allem die Stockwerksdecken, auf denen die Schwingrinnen aufgestellt werden, können sich elastisch durchbiegen und haben zugleich eine Eigenmasse; sie können daher Eigenschwingungen ausführen, wenn sie dazu angestoßen werden. Die Schwingungsweite wird um so größer, je näher man einer Resonanzfrequenz der Gebäudeteile kommt. Leider lassen sich die Eigenschwingungszahlen von Gebäuden und Gebäudeteilen nicht allgemein angeben und nicht sicher berechnen. Plattenförmige Gebäudeteile — wie Decken, Wände, Dächer — können mehrere Eigenschwingungen haben. Alle Gebäudeteile beeinflussen sich auch gegenseitig, da sie elastisch miteinander verbunden sind; infolgedessen ergeben sich — neben den Eigenschwingungen der isoliert betrachteten Gebäudeteile — weitere Eigenschwingungen aus der Koppelung der Gebäudeteile. Die Wahrscheinlichkeit ist also groß, mit der Drehzahl der Schwingrinne in die Nähe einer der vielen Eigenschwingungszahlen des Gebäudes zu kommen. Die Schwingungsweite der erregten Schwingungen bleibt jedoch in jedem Fall klein, wenn die erregenden schwingenden Kräfte klein sind [8].

Von besonderem Interesse sind die senkrechten periodischen Kräfte, denn insbesondere sie können die Stockwerksdecke oder den Dachstuhl — wenn die Schwingrinne daran befestigt ist — zu gefährlichen senkrechten Schwingungen anregen. Die Kräfte ergeben sich aus der bewegten Masse und ihrer Beschleunigung. Die bewegte Masse (der Rinne mit Füllung) ist vom Füllgewicht der Rinne bestimmt; denn der Rinnentrog muß massiver werden, wenn das Betriebsfüllgewicht der Rinne größer ist. Das Füllgewicht ist bei einer vorgegebenen Förderleistung (z. B. 1 t/h) um so geringer, je höher die Fließgeschwindigkeit ist, denn es gilt Förderleistung = Masse der Füllung je m Rinne \times Fließgeschwindigkeit.

Die senkrechte Beschleunigung ändert sich — sofern keine Wurf- bewegung auftritt — sinusförmig mit der Zeit, wie schon früher im Zusammenhang mit den Ursachen der Förderbewegung erläutert wurde (s. Bild 4); dadurch werden Lenker und Rahmen durch den Rinnentrog und das Fördergut sinusförmig schwankend belastet; der Mittelwert der Belastung ist das Eigengewicht der Rinne mit Füllung.

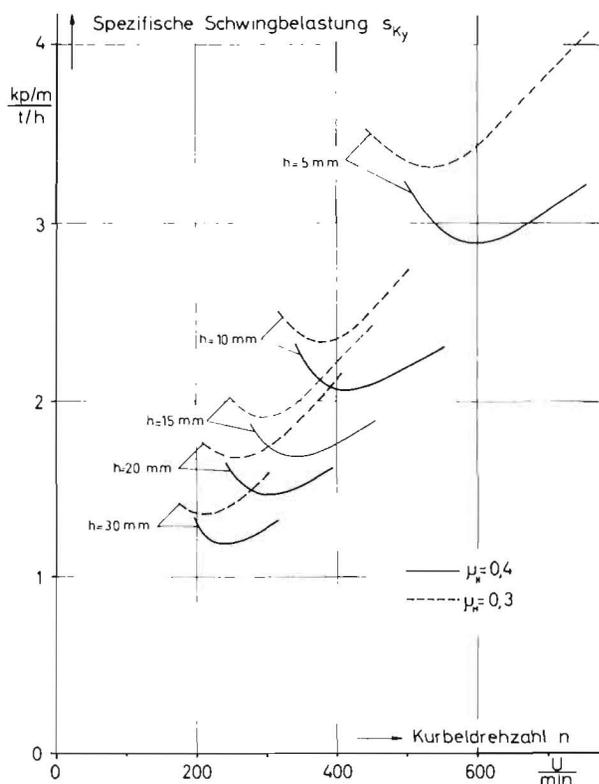


Bild 11: Spezifische Schwingbelastung der Rinne durch das Fördergut (theoretisch)

Zur Beurteilung der schwingenden Kräfte, die von einer Rinne ausgehen, dient zweckmäßigerweise die spezifische Schwingbelastung:

$$S_{kv} = \text{Masse der Füllung je m Rinne} \times \text{max. senkrechte Beschleunigung/Förderleistung}$$

$$= \text{max. senkrechte Beschleunigung/Fließgeschwindigkeit.}$$

In Bild 11 ist die spezifische Schwingbelastung über der Drehzahl aufgetragen für die praktisch in Frage kommenden Hublängen 5; 10; 15; 20; 30 mm und für die Haftreibungsbeiwerte 0,3 und 0,4, die den praktischen Bereich etwa einschließen. Bei der Berechnung der Kurven dieses Bildes wurden für die Berechnung der Förderleistung die Angaben von BERRY [4; 7] über die Fließgeschwindigkeit einer Einkornschicht zugrunde gelegt; das prinzipielle Verhalten der spezifischen Schwingbelastung dürfte damit zu erfassen sein. Der Einfluß des Lenkeranstellwinkels θ liegt im Rahmen der Rechengenauigkeit; auf seine Darstellung wurde daher verzichtet. Zu jeder Paarung von Hub und Haftreibungsbeiwert ergibt sich eine Drehzahl mit minimaler Schwingbelastung. Bei gleichbleibendem Hub liegt dieses Minimum bei niedrigerer Drehzahl, wenn die Haftreibung klein ist. Da das Minimum nicht besonders ausgeprägt ist, wird man bei der Konstruktion diese Verschiebung jedoch kaum berücksichtigen. Wichtig ist jedoch, daß sich die spezifische Schwingbelastung mit wachsendem Hub immer weniger verringert. Auch von der spezifischen Schwingbelastung her betrachtet, ergibt sich daher kein Einwand gegen einen Hub von etwa 15 mm und eine Drehzahl im Bereich zwischen 300 und 400 U/min.

In diesen Bereichen von Drehzahl und Hub ist es möglich, die periodischen Kräfte, welche die Stockwerksdecken und andere Bauteile zum Mitschwingen anregen, durch einfache zusätzliche Maßnahmen zu vermindern. Solche Maßnahmen sind der Massenausgleich und das Anbringen von Schwingungstilgern. Die periodischen Kräfte entstehen durch die schwingende Bewegung des durchlaufenden Fördergutes und natürlich auch durch die schwingende Rinne selbst; bei dieser Bewegung wird der Schwerpunkt von Fördergut und Rinne mehr oder weniger stark beschleunigt hin und her verschoben; dadurch entstehen Massenkkräfte, die sich über den Rahmen der Rinne weiter übertragen. Diese Massenkkräfte können nur dadurch aufgehoben werden, daß eine Zusatzmasse entgegen der Bewegung von Rinne und Fördergut so verschoben wird, daß der Schwerpunkt aller bewegten Massen (also Rinne, Fördergut und Zusatzmasse) in Ruhe bleibt.

Die Bewegung der Zusatzmasse erfolgt beim Massenausgleich zwangsläufig, beispielsweise so, daß eine Stahlstange etwa vom Gewicht von Rinne und Füllung neben, über oder unter der Schwingrinne an Lenkern angebracht und der Rinne entgegengesetzt angetrieben wird. Eine gegenläufige Bewegung von zwei aneinander anschließenden Rinnen hebt übrigens nur die waagerechten Massenkkräfte auf, nicht aber die senkrechten. Der Massenausgleich kann nur auf ein bestimmtes Rinnenfüllgewicht abgestellt sein; bei leerer Rinne oder bei abweichendem Füllzustand der Rinne ist er nur noch teilweise wirksam.

Beim Schwingungstilger stellen sich die Bewegungen der Zusatzmasse frei ein; dabei bleibt der Schwerpunkt von Rinne und Zusatzmasse unabhängig vom Füllungs Zustand der Rinne in Ruhe. Die Theorie der Schwingungstilger liegt mathematisch exakt vor [8]. Der Schwingungstilger ist im einfachsten Fall eine Masse, die über eine Feder am Rahmen der Schwingrinne angehängt ist (Bild 12). Dieses Feder-Masse-System ist so abgestimmt, daß seine Eigenfrequenz der Drehzahl der Exzenterwelle entspricht³⁾. Behelfsmäßige Schwingungstilger, die aus einem gefüllten Korn sack und einer Zugfeder bestanden und am Rahmen der Schwingrinne aufgehängt waren, brachten schon eine merkliche Beruhigung mitschwingender Gebäudeteile.

³⁾ Die Eigenfrequenz n_e [U/min] dieses Feder-Masse-Systems steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der statischen Durchsenkung f [mm] der Masse des Tilgers an der Feder im Ruhezustand [8]. ($f = 900000/n_e^2$).

Die statische Durchsenkung der Masse muß beispielsweise bei 300 U/min 10,0 mm, bei 350 U/min 7,35 mm und bei 400 U/min 5,6 mm betragen. Bei der Konstruktion ist weiter darauf zu achten, daß die Arbeit, die bei jedem vertikalen Rinnenhub verrichtet und rückgewonnen wird, vom Feder-Masse-System des Schwingungstilgers ebenfalls während jeder einzelnen Schwingung aufgenommen und zurückgegeben werden kann. Hierdurch wird der Gesamtumfang der Tilgermasse bestimmt. Meist ist es zweckmäßig, diese Gesamtmasse auf mehrere kleinere Tilger aufzuteilen und die kleinen Tilger entlang der Schwingrinne zu verteilen.

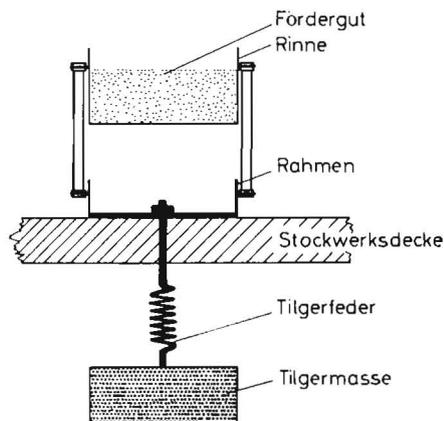


Bild 12: Schema eines Schwingungstilgers

the vibrating chute is still little in use, though it can be used for many purposes, e. g. for the horizontal conveyance on the granary or as discharge equipment in silo works.

It is shown how the conveyance on vibrating chutes is brought about and which factors are affecting it. Based on theoretical and practical considerations and experimental tests, data on the appropriate length of stroke, speed of rotation and form of the chute, as well as on the conveying capacity and power requirement, are made.

The use of the vibrating chute as discharge trough for a grain pool requires a special form of the chute. Furthermore, the speed of rotation and the length of stroke have to be adapted to the purpose of use. The control of the discharge capacity has been solved by practical tests. When using a vibrating chute on roof-granaries the periodical movements of the chute may cause the building or parts of the building to vibrate. The application of a shock absorber appears to be a suitable countermeasure.

Helwig Heidt et Joachim Johannes: «La conduite oscillante — un dispositif auxiliaire pour le transport des grains».

Dans la chaîne de transport qui conduit les grains en vrac de la moissonneuse-batteuse au grenier, on peut mécaniser le transfert du véhicule aux installations de transport du grenier à l'aide d'une cuve de réception des grains située au niveau du sol. La disposition de la cuve au niveau du sol est possible grâce à l'utilisation d'une conduite oscillante comme organe preneur. La conduite oscillante n'est pas encore très répandue dans l'agriculture allemande. Cependant, elle offre des possibilités d'utilisation multiples par exemple comme transporteur horizontal dans les greniers ou comme dispositif preneur dans les silos.

Les auteurs expliquent comment le mouvement d'avancement est créé dans les conduites oscillantes et quels facteurs influent sur le mouvement d'avancement. Ils ont déduit de leurs considérations théoriques et des essais pratiques des conclusions concernant la course optimum, le nombre de tours et la forme de la rigole ainsi que le rendement de transport et l'énergie absorbée. L'utilisation de la conduite oscillante comme dispositif preneur pour un tas de grains exige une forme particulière de la conduite. Le nombre de tours et la course doivent être adaptés également au but. On a pu résoudre le problème du réglage du débit grâce à des essais pratiques.

En utilisant une conduite oscillante dans les greniers, les mouvements périodiques de la conduite peuvent provoquer des vibrations du bâtiment ou de parties de bâtiment. Pour y remédier, il est recommandé d'utiliser des dispositifs antivibratoires.

Helwig Heidt y Joachim Johannes: «El canal vibrador — un auxiliar para el transporte de granos».

En el transporte de granos a granel desde la cosechadora — trilladora al granero, la conducción desde el carro a la instalación elevadora del granero puede mecanizarse, empleando un envase de recepción montado a nivel del suelo. El montaje a la altura del suelo a su vez es factible, empleando un canal vibrador como medio de salida. Estos canales vibradores hasta ahora se han empleado muy poco en Alemania. Sin embargo sus posibilidades de aplicación son numerosas, p. e. para el transporte en la horizontal al granero, o bien como dispositivo para el transporte de salida de silos.

Se explica la forma de producirse el movimiento de transporte en los canales vibradores, así como los factores que influyen en el movimiento de avance del grano. Fundándose en consideraciones teóricas y prácticas y en investigaciones experimentales, se hacen indicaciones en cuanto al recorrido, número de rotaciones y a la forma del canal, así como al rendimiento y a la potencia necesaria.

El empleo de un canal vibrador para la salida de un recipiente para el grano, requiere un canal de forma especial. También el número de rotaciones y el recorrido de las vibraciones deben ajustarse al empleo de la instalación. Por ensayos prácticos se ha dado con la solución de estos problemas para el rendimiento transportador.

Empleándose un canal vibrador debajo del techo del granero, las oscilaciones periódicas del canal pueden dar lugar a vibraciones del edificio, siendo en estos casos conveniente el empleo de amortiguadores de oscilaciones.

Zusammenfassung

In der Transportkette, die loses Getreide vom Mährescher zum Speicher führt, läßt sich die Übernahme vom Wagen zu den Fördereinrichtungen des Speichers mit einer ebenerdigen Körnerannahmewanne mechanisieren. Die ebenerdige Aufstellung der Wanne wird ermöglicht durch die Verwendung einer Schwingrinne als Abzugsorgan. Die Schwingrinne ist in Deutschland in der Landwirtschaft noch wenig gebräuchlich. Sie läßt sich jedoch vielseitig verwenden, beispielsweise zur Waagrechtförderung auf dem Speicher oder als Abzugsgerät in Siloanlagen.

Es wird gezeigt, wie die Förderbewegung auf Schwingrinnen zustande kommt und welche Faktoren die Förderbewegung beeinflussen. Auf Grund theoretischer und praktischer Überlegungen und experimenteller Untersuchungen werden Angaben über die zweckmäßige Hublänge, Drehzahl und Rinnenform sowie über die Förderleistung und den Leistungsbedarf gemacht.

Die Verwendung der Schwingrinne als Abzugsgerät für einen Körnersumpf erfordert eine besondere Rinnenform; auch Drehzahl und Hublänge müssen dem Verwendungszweck angepaßt werden. Eine Lösung für die Regelung der Austrageleistung wurde in praktischen Versuchen gefunden.

Beim Einsatz einer Schwingrinne auf Dachspeichern können die periodischen Bewegungen der Rinne das Gebäude oder Gebäude-teile zum Schwingen anregen. Als Gegenmaßnahme erscheint der Einsatz eines Schwingungstilgers geeignet.

Schrifttum

- [1] DENCKER, C. H.: Probleme der Erntetechnik. In: Landwirtschaft — Angewandte Wissenschaft. (12. Hochschultagung der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn vom 7.—8. Oktober 1958). Landwirtschaftsverlag GmbH, Hilstrup, Münster 1959, S. 167—186.
- [2] DENCKER, C. H., H. HEIDT und H. L. WENNER: Getreidelagerung und Trocknung auf dem Hofe (KTL-Flugschrift Nr. 1), 3. überarbeitete und erweiterte Auflage 1961. Hellmut-Neureuter-Verlag, München-Wolfratshausen 1961.
- [3] JAHR, W.: Getriebe. In: Hütte — Des Ingenieurs Taschenbuch. Band II A. 28. Auflage, Verlag W. Ernst und Sohn, Berlin 1954, S. 269—325.
- [4] BERRY, P. E.: Research on Oscillating Conveyors. Journal of Agricultural Engineering Research 3 (1958), S. 249—259.
- [5] STUHLMANN, W.: Untersuchungen über die Bewegungsverhältnisse bei der Schüttelrutschenförderung mit besonderer Berücksichtigung der Pressluftantriebe. Dissertation, TH Aachen 1926.
- [6] DIN 15201 Stetigförderer, Benennungen, Sinnbilder. Herausgegeben vom Beuth-Vertrieb GmbH., Köln, Berlin und Frankfurt 1955.
- [7] BERRY, P. E.: Basic Theory of Low-Acceleration Oscillating Conveyors. Journal of Agricultural Engineering Research 4 (1959), S. 204—213.
- [8] KLOTTER, K.: Kinetik der Schwingen. In: Hütte — Des Ingenieurs Taschenbuch. Band I. 28. Auflage. Verlag W. Ernst und Sohn, Berlin 1955, S. 572 bis 610.

Résumé

Helwig Heidt and Joachim Johannes: «The Vibrating Chute — A Grain-Conveyance Aid».

By means of a collecting pan at ground level the transport of grain from the combine truck to the conveying installations of the granary can be mechanized. The erection of the pan at ground level is made possible by using a vibrating chute as discharge trough. In Germany