

Untersuchungen über Streugüte und Leistungsbedarf von Stallungstreuern mit einer Systematik der Streuwerke

Von **Werner Dervedde**, Braunschweig-Völkenrode

Die Stallungstreuer zählen seit einigen Jahren zu den meistgekauften Landmaschinen. Sie haben sich in der deutschen Landwirtschaft wegen ihrer vielseitigen Verwendbarkeit einen festen Platz erobert. Ihre Konstruktion weist zwar in vielen Teilen einheitliche Züge auf, kann aber in mancher Hinsicht noch nicht als abgeschlossen gelten. Während sich die Förderleistenkette als Transportorgan gegenüber dem Rollboden und der Schubwand weitgehend durchgesetzt hat, ist die Tendenz bei den Streuwerken nicht so eindeutig. Hier sind zwar auch die Standardbauarten, nämlich das Schmalstreuwerk mit einer oder zwei liegenden Walzen und das Breitstreuwerk mit drei oder vier stehenden Walzen, vorherrschend; daneben befindet sich jedoch noch eine Vielfalt anderer Bauarten auf dem Markt. Es erscheint daher angebracht, bevor mit den Ausführungen über Streugüte und Leistungsbedarf, die sich ausschließlich auf die oben erwähnten Standardbauarten beziehen, begonnen wird, zunächst einmal eine Übersicht der ausgeführten und in Patentschriften vorgeschlagenen Streuwerke zu geben.

Systematik von Stallungstreuerwerken

In der Systematik nach **Tafel 1** sind die Streuwerke nach der Art der Werkzeugbewegung — ob rotierend oder geradlinig bewegt — und nach der Lage ihrer Drehachse geordnet.

Bei Rotation um die Längsachse ergeben sich Streuwerke, welche den Dung seitwärts abstreuen (**Bilder 1 bis 4**). Die ersten drei Ausführungen dieser Streuwerke gleichen den drei charakteristischen Bauformen des Feldhäckslers, nämlich dem Trommel-, dem Schlegel- und dem Scheibenradhäckslers. Das ist nicht überraschend, wenn man sich vergegenwärtigt, daß beiden Maschinenarten die Funktionen des Zerkleinerns und des Werfens zugeordnet sind.

Bei den Streuwerken nach den **Bildern 5 bis 14** mit einer oder mehreren liegenden Walzen, die quer zur Fahrtrichtung angeordnet sind, sind diese vorwiegend am Heck des Streuers fest angebaut. Eine Ausnahme bildet das Einwalzenstreuwerk mit Eigenvorschub nach Bild 5, bei dem ähnlich wie bei der später gezeigten Version eines Fräskettenstreuwerkes (Bild 20) die Walze von hinten nach vorne gegen den Dung bewegt wird. Dies hat bei den Einachsstreuern den Vorteil, daß wie bei Frontstreuwerken beim Entladen des Dungs die Schlepperhinterachse nicht entlastet wird. Das wiegt aber bei weitem nicht den Nachteil auf, daß die zur Entladung anderer Güter notwendige Förderleistenkette fehlt.

Daneben gibt es noch weitere Streuwerke, die außer der Drehbewegung noch eine weitere Bewegungskomponente aufweisen. Diese Konstruktionen mit „Sekundärbewegung“ haben die Aufgabe, den Leistungsbedarf durch Verringerung des augenblicklichen Eingriffswinkels gegenüber der gesamten Eingriffsfläche, sei es durch intermittierende Arbeitsweise der einzelnen Walzen, wie bei dem Pendelstreuwerk (Bild 9) und dem Frässtreuwerk mit Planetenwalzen (Bild 10), oder durch Verminderung der Zahl der Walzen, wie bei dem anderen Streuwerk mit zusätzlicher Bewegungskomponente (Bild 8), herabzusetzen.

Einen Übergang zu den Breitstreuwerken stellt das Streuwerk mit gepfeilter oberer Walze in Bild 11 dar. Die darauf folgenden

Streuwerke in den Bildern 12 bis 14 haben eine Schnecke oder Streuteller als zusätzliche Verteileinrichtung, um die Streubreite zu erhöhen.

Anschließend sind die Breitstreuwerke mit stehenden, um die Hochachse rotierenden Walzen (**Bilder 15 bis 17**) aufgeführt. Auch hier hat man versucht, die Zahl der notwendigen Walzen zu verringern, indem die einzelnen Walzen eine zweite Bewegungskomponente quer zur Vorschubrichtung des Dungs erhalten haben. Damit entspricht der Vorgang des Dunglosarbeitens bewegungsmäßig dem Fräsvorgang bei der Metallbearbeitung, weshalb diese Walzen auch üblicherweise als Fräswalzen bezeichnet werden. Den Abschluß bilden schließlich die verschiedenen Fräskettenstreuwerke mit geradlinig bewegten Werkzeugen (**Bilder 18 bis 20**).

Die in der Systematik aufgeführten Streuwalzenarten sind in **Bild 21** im einzelnen dargestellt. Es handelt sich hierbei um die am häufigsten anzutreffende Zinkenwalze, die Schneckenwalze, die Sägezahnwalze und die Schlegelwalze. Bei den Zinkenwalzen sind verschiedene Möglichkeiten der Zinkenordnung gegeben, über die bei *Schilling* [1] und *Gaus* [2] Angaben zu finden sind. Durch die Schneckenwalze soll die Streubreite bei Schmalstreuern über Spurweite hinaus vergrößert werden, um zu verhindern, daß bei der anschließenden Fahrt in der gleichen Spur gefahren werden muß. Sie finden sich aber auch bei Breitstreuern. Die Sägezahnwalze ist eine Abwandlung der Schneckenwalze, die hauptsächlich bei Einwalzenstreuwerken mit großem Walzendurchmesser Verwendung findet. Die Schlegelwalze ist in Deutschland wenig bekannt. Mit ihr ist es möglich, auch gefrorenen Dung zu zerkleinern und zu streuen.

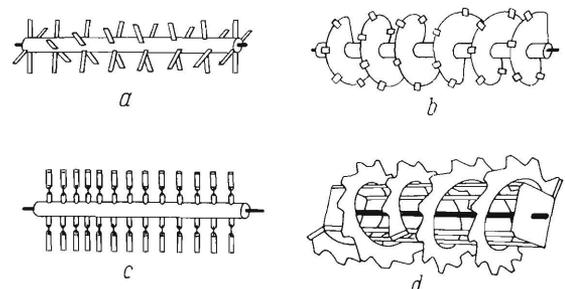


Bild 21. Bauarten von Streuwalzen.

- a Zinkenwalze
- b Schneckenwalze
- c Schlegelwalze
- d Sägezahnwalze

Aufgabenstellung

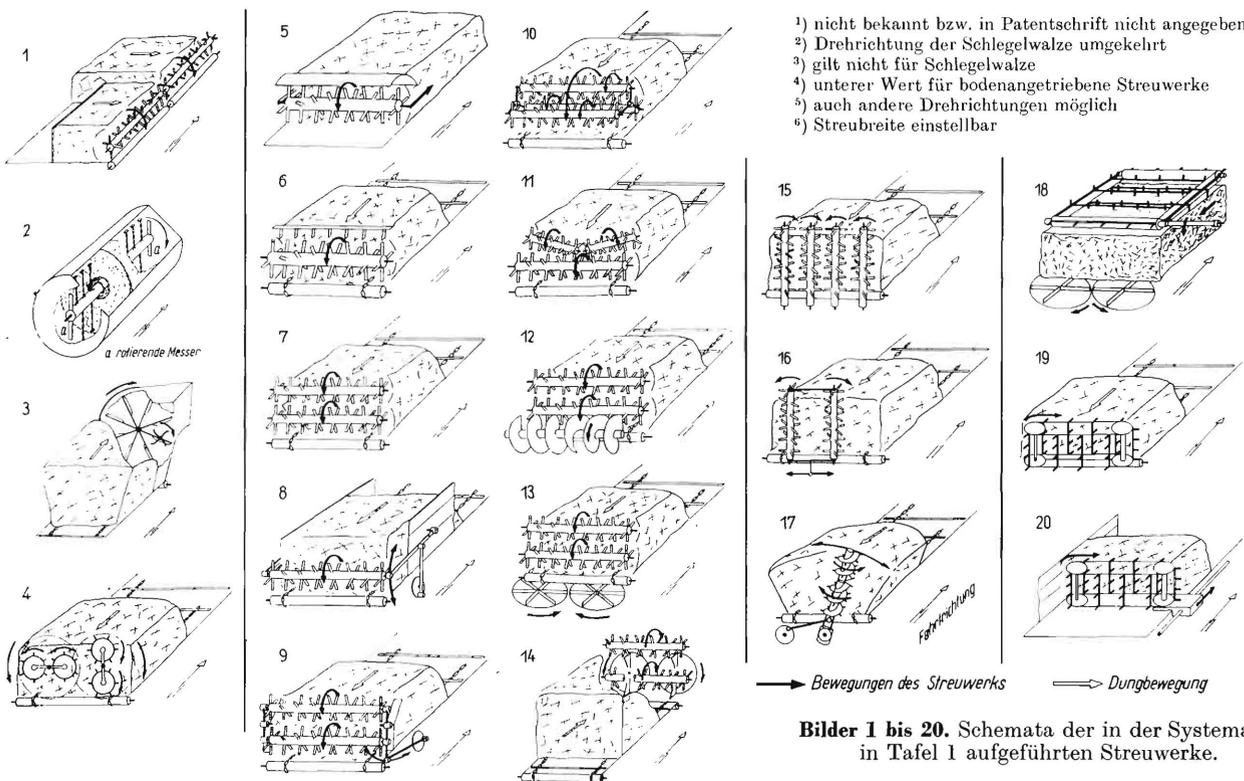
Die Streugüte eines Stallungstreuers hängt vornehmlich vom Streuwerk, der Leistungsbedarf vom Streuwerk und dem Fahrwiderstand ab. Über den Leistungsbedarf und die Streuarbeit der vorgenannten Standardbauart mit liegenden Walzen wurden von *Gaus* [2] eingehende Untersuchungen vorgenommen. Die hier zu beschreibenden Versuche⁷⁾ beschäftigten sich in erster Linie mit der zweiten Standardbauart, dem Breitstreuwerk mit vier stehenden Walzen. Sie sollten die funktionellen Zusammenhänge des Streuvorgangs aufdecken, die Dungverteilung und den Leistungsbedarf ermitteln und die

Dipl.-Ing. Werner Dervedde ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Institutes für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Franz Wieneke) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

⁷⁾ Die Arbeiten wurden mit Unterstützung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten durchgeführt, dem auch an dieser Stelle hierfür gedankt sei.

Tafel 1. Systematik von ausgeführten und patentierten Stallungstreuerwerken

| Drehachse | Schema s. Bild | übliche Bezeichnung | Art | Werkzeuge | | Zusatzverteilung | Vorschub | |
|--|------------------|---|---|----------------------|--------------------------------|------------------|------------------|-----------|
| | | | | Umfangsgeschw. m/s | Sekundärbewegung | | durch Bewegung | nach |
| Streuerwerke mit rotierenden Werkzeugen | | | | | | | | |
| Längsachse | 1 | Seitenstreuerwerk | Zinkenwalze | 12—15 | keine | keine | der Ladung | der Seite |
| | 2 | Rotastreuer | Kettenschlegel | 14—24 | keine | keine | — | — |
| | 3 | Turbinenstreuerwerk | Schaufelrad mit Fräskreisel | Rad 12 Kreisel 25 | Planetenbewegung um Längsachse | keine | der Ladung | vorne |
| | 4 | Frässcheibenstreuerwerk | Frässcheiben mit Zinken | 1) | Planetenbewegung um Längsachse | keine | der Ladung | hinten |
| Querachse | 5 | Heckstreuerwerk mit Eigenvorschub | Zinkenwalze | 1) | keine | keine | des Streuerwerks | vorne |
| | 6 ²⁾ | Heckstreuerwerk mit liegender Walze | Zinkenwalze Schneckenwalze Sägezahnwalze Schlegelwalze | 10—14 ³⁾ | keine | keine | der Ladung | hinten |
| | 7 | Heckstreuerwerk mit liegenden Walzen | Zinkenwalzen Schneckenwalzen | 10—14 | keine | keine | der Ladung | hinten |
| | 8 | Frässtreuerwerk mit liegender Walze | Zinkenwalze | 16 | Schwingung um Querachse | keine | der Ladung | hinten |
| | 9 | Pendelstreuerwerk mit liegenden Walzen | Zinkenwalze und Schneckenwalze | 11,5 | Schwingung um Querachse | keine | der Ladung | hinten |
| | 10 | Frässtreuerwerk mit Planetenwalzen | Zinkenwalzen | 1) | Planetenbewegung um Querachse | keine | der Ladung | hinten |
| | 11 | Heckstreuerwerk mit gepfeilter oberer Walze ⁶⁾ | Zinkenwalzen | 10—14 | keine | keine | der Ladung | hinten |
| | 12 | Heckstreuerwerk mit Schnecke | Zinkenwalzen | (3—)10 ⁴⁾ | keine | Schnecke | der Ladung | hinten |
| | 13 | Heckstreuerwerk mit Streutellern | Zinkenwalzen | 10—14 | keine | Streuteller | der Ladung | hinten |
| | 14 | Frontstreuerwerk mit Streutellern | Zinkenwalzen | 6—10 | keine | Streuteller | der Ladung | vorne |
| Hochachse | 15 ⁵⁾ | Heckstreuerwerk mit stehenden Walzen | Zinkenwalzen Schneckenwalzen | 10—14 | keine | keine | der Ladung | hinten |
| | 16 | Frässtreuerwerk mit stehenden Walzen ⁶⁾ | Zinkenwalzen | 16 | Translation quer | keine | der Ladung | hinten |
| | 17 | Schwenkwalzenstreuerwerk | Schneckenwalze | 9,5 | Schwingung um Längsachse | keine | der Ladung | hinten |
| Streuerwerke mit geradlinig bewegten Werkzeugen | | | | | | | | |
| Querachse | 18 | Fräskettenstreuerwerk mit Streutellern | Zinkenkette | 1) | keine | Streuteller | des Streuerwerks | unten |
| Hochachse | 19 | Fräskettenstreuerwerk | Zinkenkette | 4—5 | keine | keine | der Ladung | hinten |
| | 20 | Fräskettenstreuerwerk mit Eigenvorschub | Zinkenkette | 4—5 | keine | keine | des Streuerwerks | vorne |



Bilder 1 bis 20. Schemata der in der Systematik in Tafel 1 aufgeführten Streuerwerke.

Kraft an den einzelnen Streuwerkzeugen und der Vorschub-einrichtung bestimmen. Zum Vergleich wurde auch eine größere Anzahl von Versuchen mit einem Schmalstreuwerk durchgeführt.

Versuchsmethode

Der von Stürenburg [3] entwickelte Versuchsstand (Bild 22) ist in erster Linie zur Messung der Dungverteilung quer zur Fahrtrichtung eingerichtet. Diesem Zweck dient ein Meßwagen, der unter dem Streufächer hindurchfährt. Der Wagen ist mit 32 Meßblechen von je 25 cm Breite belegt, die eine Messung der

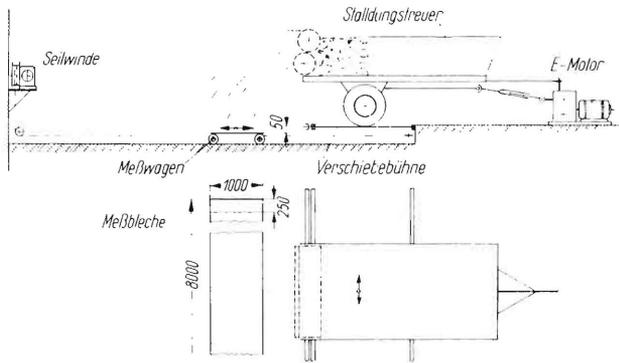


Bild 22. Versuchsstand mit Meßwagen zur Ermittlung der Dungverteilung quer zur Fahrtrichtung.

Querverteilung des Dungs von bis zu 8 m breiten Streufächen ermöglichen. Die beiden Versuchsstreuwerke — das eine mit vier stehenden Walzen (Bild 23), das andere mit zwei liegenden Walzen (Bild 24) — wurden am gleichen Stallungstreuer⁸⁾ eingesetzt. Der Streuer ist mit einer Förderleistenkette als Vorschuborgan ausgerüstet, die über eine Kurbelschwinge angetrieben wird. Die Walzen wurden aus meßtechnischen Gründen mit Keilriemen angetrieben. Die für die einzelnen Versuche benutzten Zinkenformen sind in Bild 25 wiedergegeben. Die Zinken waren auf den Walzen so angeordnet, daß

⁸⁾ Der Einachsstreuer wurde dankenswerterweise von der Firma John Deere-Lanz zur Verfügung gestellt.

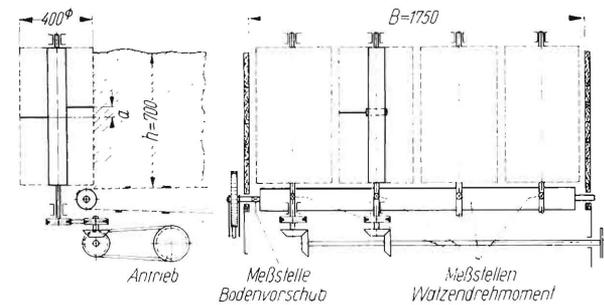


Bild 23. Versuchsstreuwerk mit vier stehenden Streuwalzen.

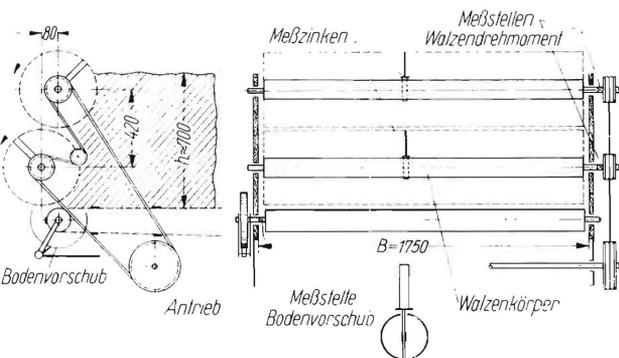


Bild 24. Versuchsstreuwerk mit zwei liegenden Streuwalzen.

der Winkel β zwischen zwei nacheinander eingreifenden Zinken immer gleich ist, wie aus der in Bild 26 dargestellten Abwicklung einer Walze ersichtlich ist.

Für die Versuche wurde Tiefstallung verwendet, da dieser mit die höchsten Anforderungen an das Streuwerk stellt. Die Einstreu des Stalles hatte zu etwa gleichen Teilen aus ungehäckseltem Weizen- und Roggenstroh bestanden. Die Feuchtigkeit des Dungs schwankte zwischen 68 und 80% und seine Raumdichte auf dem Streuer zwischen 640 und 720 kg/m³. Daneben wurden einige Vergleichsversuche mit Häckseldung durchgeführt, der einen Feuchtigkeitsgehalt von 72 bis 74% aufwies. Der Dung wurde auf dem Streuer mit der Dunggabel gleichmäßig verteilt. Die Ladehöhe betrug bei allen Versuchen etwa 0,70 m.

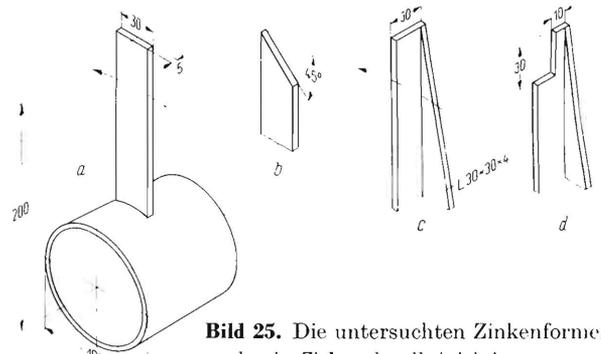


Bild 25. Die untersuchten Zinkenformen.

- a schmaler Zinken ohne Freiwinkel
- b schmaler Zinken mit Freiwinkel
- c breiter Zinken ohne Reißnase
- d breiter Zinken mit Reißnase

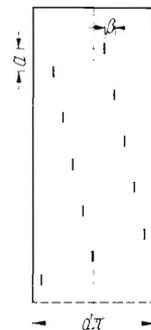


Bild 26. Beispiel der Zinkenordnung auf einer stehenden Walze (Abwicklung des Walzenumfangs).

- a Abstand zweier benachbarter Zinken
- Z Anzahl der Zinken
- $\beta = 2\pi/Z$ Winkel zwischen zwei nacheinander eingreifenden Zinken

Nach jedem Versuch wurden die auf die einzelnen Bleche gefallenen Dungmengen bestimmt und daraus die Verteilung errechnet. Ferner wurde die insgesamt ausgestreute Dummenge gewogen und durch Division durch die mit Hilfe eines Vorschubschreibers mechanisch registrierte Versuchszeit der Durchsatz pro Zeiteinheit ermittelt. Mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen wurden die Drehmomente der einzelnen Streuwalzen, das Drehmoment der Vorschubantriebswelle und die an den Zinken angreifenden Kräfte gemessen. Die Drehzahl der Walzen wurde mit Hilfe einer Fotozelle registriert, welche so angeordnet war, daß der auf dem Meßschrieb aufgezeichnete Impuls gleichzeitig zur Ortsbestimmung der Zinkenkräfte diente. Ein Beispiel eines solchen Meßschriebes ist in Bild 27 dargestellt, auf den im Verlauf der Beschreibung der einzelnen Meßergebnisse noch näher eingegangen wird.

Vorgänge am Streuzinken — Zinkenkräfte

Zunächst wurde versucht, durch Filmaufnahmen Einblick in die Vorgänge am Streuzinken zu gewinnen. Das Filmen der rotierenden Walzen während des Dungstreuens erbrachte den

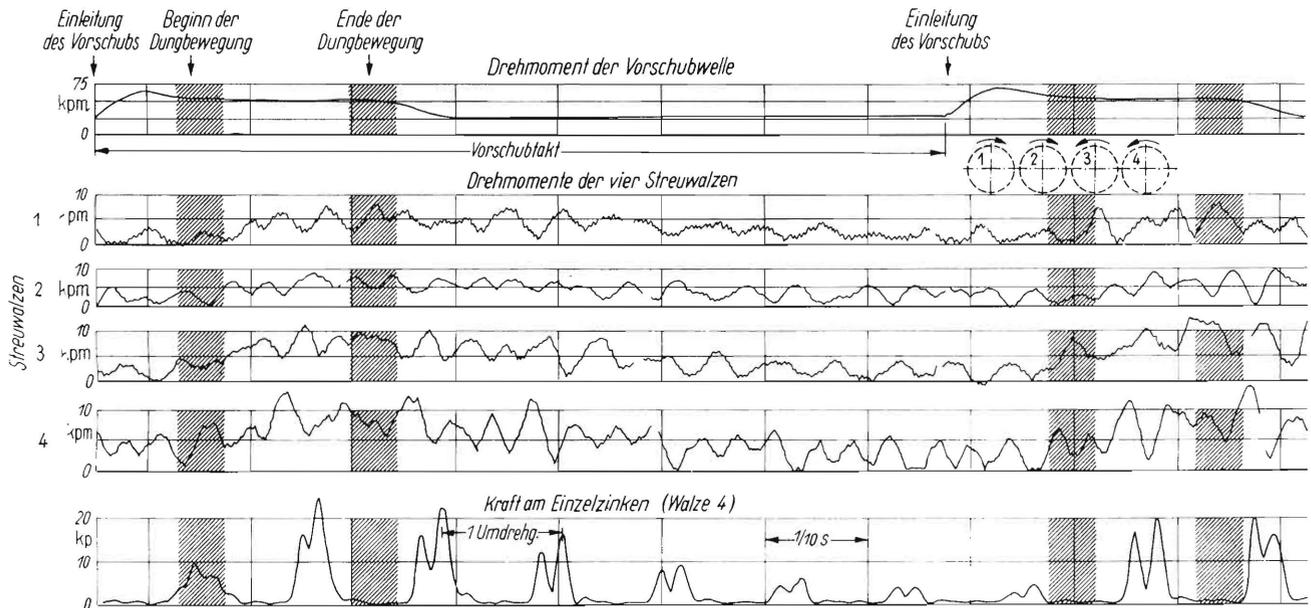


Bild 27. Messung der Walzendrehmomente, des Drehmomentes an der Vorschubwelle und der am Einzelzinken angreifenden Biegemomente mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen, aufgezeichnet durch einen Spulenschwingeroszillographen.

Nachweis, daß der Dung im Takt der Vorschubbewegung ausgebracht wird. Über das Losarbeiten des Dungs durch die Zinken waren aber durch den Film keine Aufschlüsse zu erhalten, da dieser Vorgang durch seitlich vorstehende Dungkämme verdeckt wird. Dagegen läßt sich mit Hilfe der Messungen an Einzelzinken der Verlauf der an ihm während einer Umdrehung angreifenden Kräfte erfassen. Betrachtet man den in Bild 27 wiedergegebenen Ausschnitt eines Meßschriebes, so erkennt man deutlich, daß innerhalb eines Vorschubtaktes die am Zinken angreifenden Kräfte und damit auch das hier aufgezeichnete Biegemoment nach Beginn der Dungbewegung stark ansteigen, um dann allmählich wieder auf die vorherige Größe abzufallen. Der Dung wird also nur etwa während der ersten Hälfte eines Vorschubtaktes ausgestreut, während sich die Zinken in der zweiten Hälfte im Leerlauf durch die in den Dung gefrästen Rillen bewegen, was eine gewisse Reibungsleistung bewirkt. Die Messungen bestätigen damit das Ergebnis des Filmens.

Die Beanspruchung eines Zinkens während einer Umdrehung ist im **Bild 28** noch einmal schematisch über dem Drehwinkel dargestellt. Der Zinken trifft unter einem bestimmten Winkel auf den Dungstapel. Er erfährt den vor ihm befindlichen Dung und schiebt ihn vor sich her, bis die wachsenden Zugspannungen den Abriß der angesammelten Dungmenge zur Folge haben. Die Aufzeichnung der Zinkenkräfte zeigt zwei Spitzenbelastungen am Zinken, wie sie häufig während eines Eingriffs auftreten. Zwischen den beiden Spitzen tritt dabei eine deutliche Entlastung des Zinkens auf. Ansteigen und Abklingen der Belastung erfolgen verhältnismäßig schnell. Die einzelnen Dungeilchen werden also nicht durch einen stetigen Schneidvorgang, sondern durch einen plötzlichen Abriß von der Ladung getrennt. Der Zeitpunkt des Abreißens ist von der Zuordnung der Walzen untereinander abhängig. Haben zwei Walzen an einem Spalt, durch den der Dung ausgeworfen wird, die gleiche Bewegungsrichtung, so erfolgt der Abriß später als bei entgegengesetzter Bewegungsrichtung.

Eine Vorstellung von der Größenordnung und Häufigkeit der am Zinken angreifenden Kräfte vermittelt das in **Bild 29** gezeigte Häufigkeitsdiagramm. In diesem Diagramm sind die während einer Umdrehung an einem Zinken der Form *d* angreifenden maximalen Zinkenkräfte mit dem Durchsatz als Parameter aufgetragen. Der Zinkenabstand betrug 60 mm. Die Kräfte wurden aus den in den Meßschrieben aufgezeichneten Biegemomenten errechnet unter der Annahme, daß sie am Zinkenende angreifen. Wie aus dem Diagramm zu entnehmen ist, liegen die drei Kurven im aufsteigenden Ast nahe beieinander.

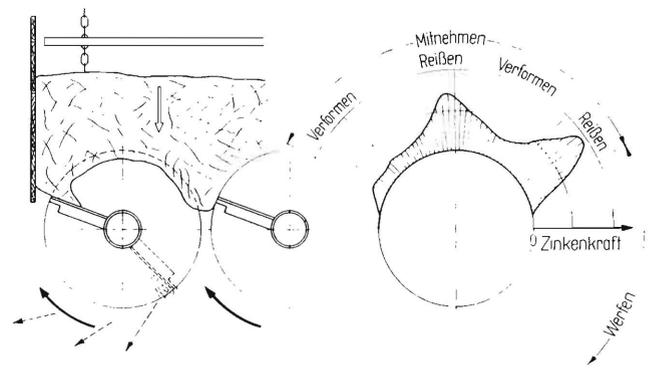


Bild 28. Vorgänge am Streuzinken. Schematische Darstellung eines Beanspruchungsverlaufs am Einzelzinken während einer Umdrehung.

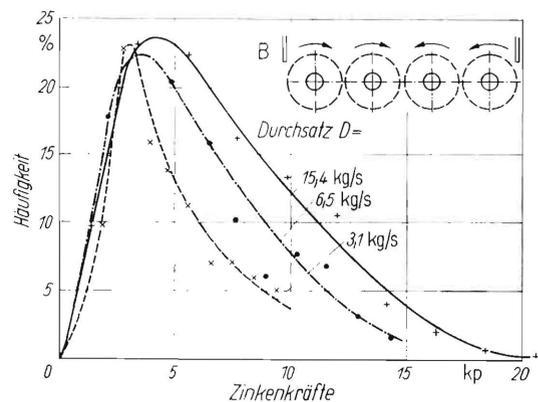


Bild 29. Häufigkeitsdiagramm der Zinkenkräfte mit dem Durchsatz als Parameter.

Aufgetragen sind die während einer Umdrehung jeweils auftretenden Spitzenkräfte, wie sie an einem Zinken der Form *d*, der auf einer stehenden Walze der Drehrichtungskombination B im Abstand von $a = 60$ mm angeordnet war, gemessen wurden.

Es handelt sich hierbei um die während des Stillstands der Ladung auftretenden Kräfte. Mit einsetzendem Vorschub ergibt sich dann bei wachsendem Durchsatz eine Zunahme der Zinkenkräfte entsprechend der ebenfalls zunehmenden theoretischen Spandicke. Die Spandicke, welche durch die Vorschubstrecke des Dungs während einer Walzenumdrehung gegeben ist, lag im vorliegenden Durchsatzbereich zwischen 3 und 8 mm.

Leistungsbedarf*Einfluß von Zinkenform und Zinkenabstand*

Die Summe der an den Walzen gleichzeitig angreifenden Zinkenkräfte ist bei gegebener Umfangsgeschwindigkeit maßgebend für den Leistungsbedarf des Streuwerkes. Die Zinkenkräfte sind abhängig von der Zinkenform, dem Zinkenabstand, den Dungeigenschaften und der bereits erwähnten theoretischen Spandicke.

Der Zinkenabstand, oder besser gesagt, die Arbeitsbreite eines Zinkens und die Zinkenform haben einen großen Einfluß auf den Leistungsbedarf. Bei den nachstehend beschriebenen Versuchen wurden an dem Breitstreuwerk mit vier stehenden Walzen je zwei äquivalente Walzen mit gleichen Zinken in verschiedenen Abständen bestückt und gleichzeitig eingesetzt. Auf diese Weise konnte der Einfluß der Dungeigenschaften weitgehend ausgeschaltet werden. Der Vergleich zwischen den in Bild 25 gezeigten schmalen Zinken der Form a und den breiten Zinken der Form c fällt bei einem Zinkenabstand bis zu 40 mm zugunsten des schmalen Zinkens aus, **Tafel 2**. Bei einem solchen Abstand ist jedoch die Walze mit den breiten Zinken übersetzt, wie die Vergleichsversuche mit den Zinken der Form c zeigen. Der Leistungsbedarf nimmt bei den breiten Zinken der Form c sehr stark mit zunehmendem Abstand ab. Bei den schmalen Zinken der Form a erhöht sich bei zunehmendem Abstand die Eindringtiefe der Zinken in den Dung. Dadurch wird die Reibungsleistung ebenfalls gesteigert. Eine eindeutige Abnahme des Leistungsbedarfs bei wachsendem Zinkenabstand war daher nicht zu beobachten. Vielmehr wird bei einem weiter vergrößerten Zinkenabstand von 80 mm der Dung bis an die Walzen herangedrückt, was einen stark schwankenden Leistungsbedarf bewirkt.

Tafel 2. Leistungsbedarf eines Breitstreuwerkes mit zwei mal zwei stehenden Walzen, je zwei bestückt mit den gleichen Zinken (a oder c), jedoch in verschiedenen Abständen.

| Versuch Nr. | Zinkenform (vgl. Bild 25) | Zinkenabstand mm | Durchsatz kg/s | Leistungsanteil | |
|-------------|---------------------------|------------------|----------------|-----------------|------|
| | | | | PS | % |
| 68 | schmale Form a | 30 | 4,20 | 2,64 | 52,5 |
| | | 40 | | 2,40 | 47,5 |
| 69 | schmale Form a | 30 | 5,50 | 2,52 | 48,5 |
| | | 40 | | 2,66 | 51,5 |
| 78 | breite Form c | 40 | 4,75 | 4,31 | 43 |
| | | 60 | | 3,27 | 57 |
| 79 | breite Form c | 40 | 8,10 | 7,00 | 40 |
| | | 60 | | 4,74 | 60 |

Durch ihre extremen Formen waren die beiden vorstehend benutzten Zinkenformen geeignet, den Einfluß der Zinkenbreite auf den Leistungsbedarf deutlich zu machen. Um festzustellen, wie weit sich der Leistungsbedarf verringern läßt, wurden die schmalen Zinken mit einem Freiwinkel von 45° (Form b) und die breiten Zinken mit einer Reißnase (Form d) versehen. Die Ergebnisse von Vergleichsversuchen bei jeweils gleichem Zinkenabstand, die ähnlich wie die vorstehenden durchgeführt wurden, sind in **Tafel 3** zusammengestellt. Die Werte zeigen, daß besonders bei den breiten Zinken durch die Formänderung beachtliche Ersparnisse an Leistungsbedarf zu erzielen sind.

Tafel 3. Leistungsbedarf eines Breitstreuwerkes mit zwei mal zwei stehenden Walzen, je zwei bestückt mit den Zinkenformen a oder b bzw. c oder d.

| Versuch Nr. | Zinkenform (vgl. Bild 25) | Durchsatz kg/s | Leistungsanteil | |
|-------------|--------------------------------|----------------|-----------------|----|
| | | | PS | % |
| 61 | schmale Form a ohne Freiwinkel | 4,6 | 2,55 | 55 |
| | | | 2,05 | 45 |
| 62 | schmale Form a ohne Freiwinkel | 4,6 | 3,23 | 56 |
| | | | 2,51 | 44 |
| 74 | breite Form c ohne Reißnase | 4,8 | 1,82 | 65 |
| | | | 0,98 | 35 |
| 75 | breite Form c ohne Reißnase | 4,5 | 1,60 | 59 |
| | | | 1,10 | 41 |

Nach den Arbeiten von Gaus bestehen auch Unterschiede in der Eignung für verschiedene Dungarten zwischen breiten und schmalen Zinken. So ist der schmale Zinken für langstrohigen Dung besser geeignet, während breite Zinken bei gehäckseltem Dung geringeren Leistungsbedarf aufweisen. Der breite Zinken mit Reißnase (Form d), der in ähnlicher Form auch in der Praxis vielfach verwendet wird, stellt praktisch einen Kompromiß dar, der für beide Dungarten geeignet ist. Er wurde daher auch für alle weiteren Versuche ausschließlich benutzt.

Einfluß der Dungart

Die Beschaffenheit des Dungs spielt eine wesentliche Rolle für den Leistungsbedarf des Streuwerkes. Eine eingehende Untersuchung über diese recht vielseitigen Zusammenhänge würde jedoch über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen. Daher soll hier nur ein Vergleichswert zwischen normalem Tiefstallung aus ungehäckselter Einstreu und Häckseldung mitgeteilt werden. Bei Versuchen mit Breitstreuern verschiedener Drehrichtungskombinationen lag der Gesamtleistungsbedarf bei Tiefstallung um 40 bis 50% höher als der, der bei Häckseldung gemessen wurde. Die Mehrleistung dürfte dabei in erster Linie für das Zerreißen des Strohes aufgewendet worden sein.

Einfluß der Walzendrehrichtung

Nach den Untersuchungen von Gaus war zu erwarten, daß auch bei den Breitstreuern mit stehenden Walzen die Drehrichtung einen Einfluß auf den Leistungsbedarf des Streuwerkes hat. Daher wurde der Leistungsbedarf des Breitstreuwerkes bei verschiedenen Drehrichtungskombinationen und vergleichsweise auch des Schmalstreuwerkes in Abhängigkeit vom Durchsatz gemessen. Bei diesen Versuchen betrug die Umfangsgeschwindigkeit der Zinken (Form d) 11 m/s und der Zinkenabstand $a = 60$ mm, mit Ausnahme der Versuche mit sich überschneidenden Zinkenkreisen; hier mußte aus versuchs-technischen Gründen ein Abstand von 80 mm gewählt werden. Die Feuchtigkeit des Tiefstallungs während dieser Meßreihe lag zwischen 74 und 78%.

Der Leistungsbedarf der einzelnen Streuwerke mit den verschiedenen Drehrichtungskombinationen ist in den **Bildern 30 bis 37** über dem Durchsatz aufgetragen. Die Leistung ist infolge der unterschiedlichen Beschaffenheit des Dungs und seiner Lagerung auf dem Streuer gewissen Schwankungen unterworfen, so daß sich aus den einzelnen Ergebnissen ein Streuband ergibt. Die Leistungen nehmen innerhalb des gemessenen Durchsatz-

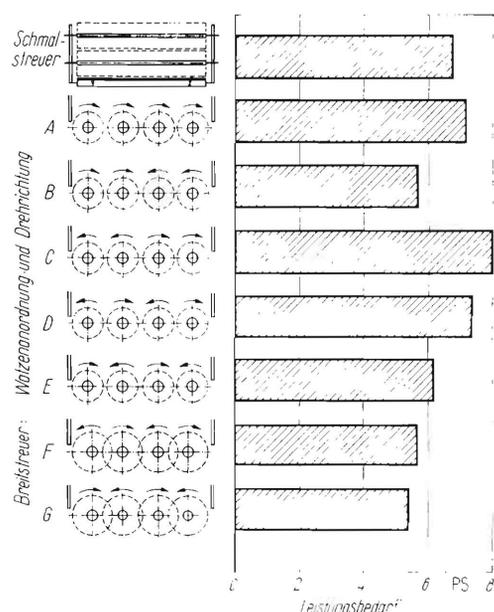
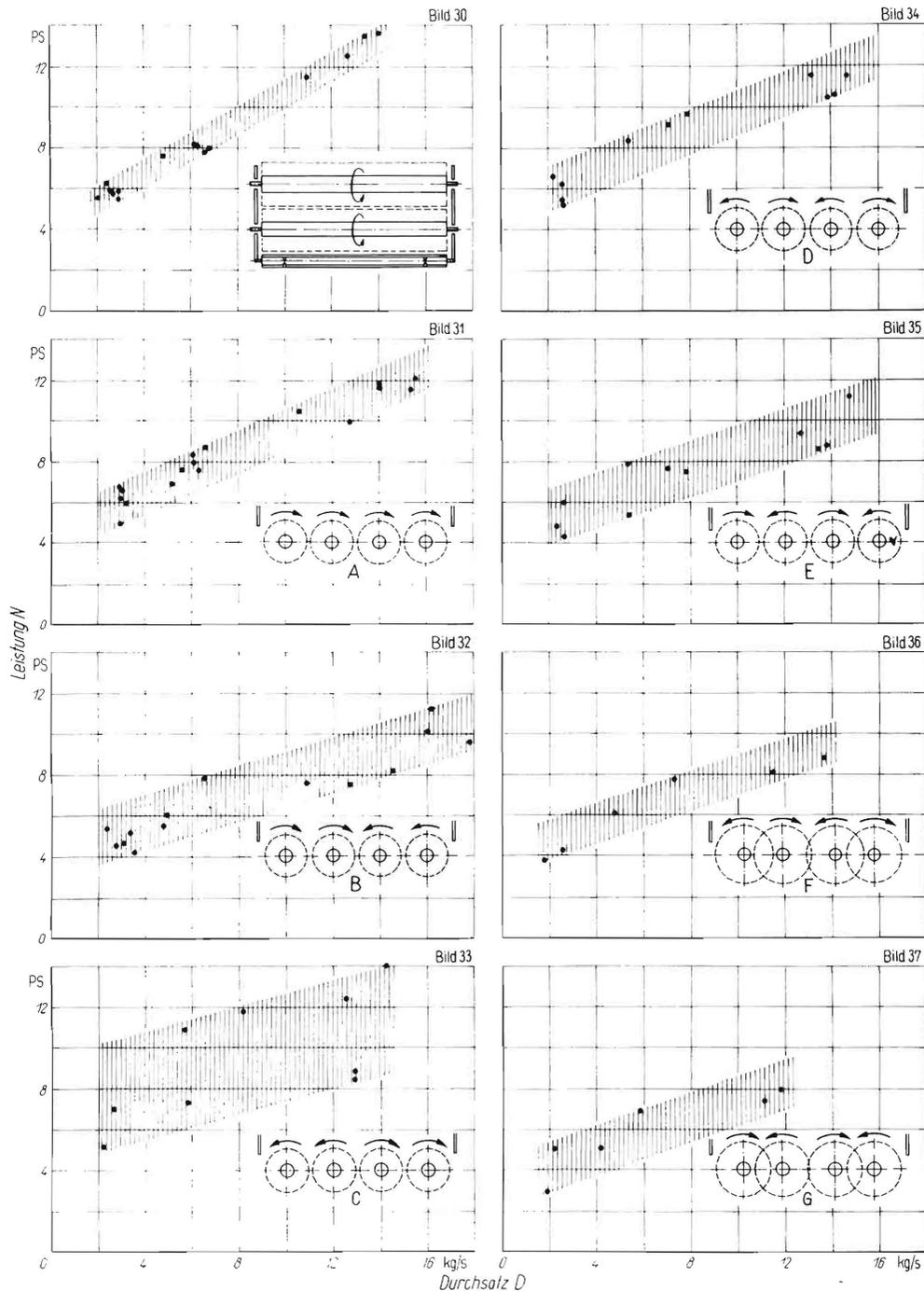


Bild 38. Vergleich des Leistungsbedarfes der verschiedenen Streuwerke.

Dargestellt ist der jeweilige Leistungsbedarf bei einem Dungdurchsatz von $D = 5$ kg/s, der bei einer Fahrgeschwindigkeit von 4 km/h und einer Streubreite von 3 m einer Dunggabe von 150 dz/ha entspricht.



Bilder 30 bis 37. Leistungsbedarf der Streuaggregate in Abhängigkeit vom Dungdurchsatz.

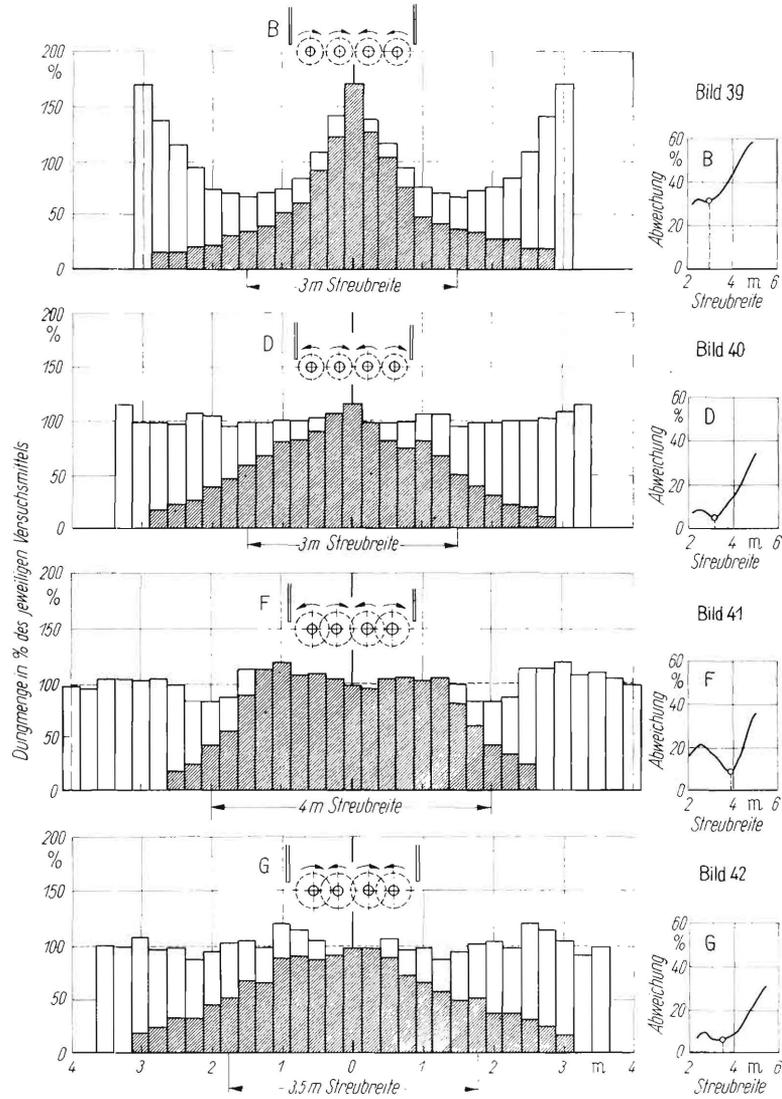
Aufgetragen sind die Meßwerte für das Schmalstreuerwerk mit zwei liegenden Walzen (Bild 30) und die verschiedenen Drehrichtungskombinationen des Breitstreuerwerks mit vier stehenden Streuwalzen (Bilder 31 bis 37). Die Werte

beziehen sich auf Zinken der Form d. Der Zinkenabstand betrug bei den liegenden Walzen und den stehenden Walzen der Drehrichtungskombinationen A bis E 60 mm und bei den Kombinationen F und G 80 mm. Umfangsgeschwindigkeit 11 m/s.

bereiches zwischen 2 und 16 kg/s nahezu linear zu. Bei Extrapolation auf den Durchsatz „Null“ führt das Streuband jedoch nicht auf den Nullpunkt der Ordinate. Dies erklärt sich durch die bereits erwähnte Reibungsleistung, die auch während der Unterbrechung des Vorschubs aufzubringen ist. Auffallend sind der etwas steilere Anstieg des Streubandes bei dem Schmalstreuer (Bild 30) und das relativ breite Streuband bei dem Breitstreuer der Kombination C, bei der je zwei Walzen den Dung in Richtung auf die Seitenwände abkratzen (Bild 33). Dabei wird der Dung gegen die Wände gedrückt, so daß Stauungen und infolgedessen auch hohe Leistungsspitzen unabhängig vom Durchsatz auftreten. Die äußeren Walzen weisen dabei einen höheren Leistungsbedarf als die inneren auf. Die Stau-

ungen können schließlich zum Festlaufen der Walzen führen. Dies gilt auch für die letzte Walze der Kombination A (Bild 31). Bei sehr feuchtem Dung benötigt diese Walze allein bis zu $\frac{1}{3}$ der Gesamtleistung.

Eine zusammenfassende Übersicht zeigt **Bild 38**. Darin ist der mit Hilfe einer Regressionsrechnung ermittelte Leistungsbedarf für einen Durchsatz von 5 kg/s angegeben. Dieser Durchsatz entspricht bei einer Fahrgeschwindigkeit von 4 km/h und einer Streubreite von 3 m einer Dunggabe von 150 dz/ha. Nach der Übersicht benötigt das bereits erwähnte Breitstreuerwerk der Kombination C die höchste Leistung, während die Kombination B leistungsmäßig am günstigsten liegt. Das Schmalstreuerwerk befindet sich etwa in der Mitte. Bei einem höheren Durchsatz,



Bilder 39 bis 42. Streudiagramme verschiedener Drehrichtungskombinationen.

Dargestellt ist als schraffierte Fläche die natürliche Verteilung des Dungs quer zur Fahrtrichtung, die sich aus den auf die einzelnen Meßbleche des Versuchstandes gefallenen Dungmengen ergibt. Darüber ist als weiße Fläche diejenige Überdeckung durch benachbarte Streuflächen eingezeichnet, welche die

geringste durchschnittliche Abweichung vom jeweiligen Mittelwert, der gleich 100% gesetzt wird, aufweist. Der Verlauf der durchschnittlichen Abweichung in Abhängigkeit von der genutzten Streubreite ist aus den beigegebenen kleinen Diagrammen der Fehlerkurven zu ersehen.

der jedoch nur bei zusätzlicher Verteileinrichtung in Frage kommt, verschiebt sich das Bild wegen des steileren Anstiegs des Streubandes zuungunsten des Schmalstreuwerkes. Die beiden Kombinationen F und G können nur bedingt damit verglichen werden, da bei diesen der Zinkenabstand 80 mm betrug.

Verteilung des Dungs quer zur Fahrtrichtung

Streudiagramme

Die Verteilung des Dungs quer zur Fahrtrichtung von einigen im vorstehenden beschriebenen Versuchen ist in den Streudiagrammen der Bilder 39 bis 42 aufgezeichnet. Hierin sind die auf den einzelnen Meßblechen des Versuchstandes aufgefangenen Dungmengen als Mittelwerte aller gleichartigen Versuche schraffiert dargestellt. Diese Fläche gibt also die natürliche Verteilung des Dungs quer zur Fahrtrichtung wieder. Da die endgültige Verteilung besonders bei Breitstreuern erst durch Überdeckung der Streuflächen benachbarter Fahrten erreicht wird, sind diese als weiße Fläche darüber gesetzt. Dargestellt ist jeweils die Überdeckung, die die geringste durchschnittliche Abweichung vom jeweiligen Mittelwert, der gleich 100% gesetzt wird, aufweist. Das in den einzelnen Diagrammen enthaltene Abweichungsdiagramm — auch Fehlerkurve genannt — zeigt an, wie sich die Abweichung mit der genutzten Streubreite verändert.

Einfluß der Walzendrehrichtung

In Bild 39 ist das Streubild der bei vier stehenden Walzen heute vorherrschenden Drehrichtung dargestellt. Die Verteilung ist ungünstig; sie ist gekennzeichnet durch eine starke Anhäufung des Dungs in der Mitte zwischen den Radspuren. Diese Verteilung entsteht in erster Linie durch die gegenseitige Beeinflussung der Wurfbahnen der von den rechten und linken Walzen abgeworfenen Dungteilchen, welche in der Mitte aufeinanderprallen. Um die Ungleichförmigkeiten wenigstens etwas auszugleichen, müssen die benachbarten Streuflächen sehr eng zusammengelegt werden. Daher ergibt sich bei dieser Drehrichtungskombination nur eine geringe nutzbare Streubreite. Die durchschnittliche Abweichung der Streumenge vom Mittelwert beträgt bei einer benutzten Streubreite von 3 m immer noch etwa 32%.

Die im nächsten Diagramm (Bild 40) gezeigte Drehrichtungskombination führt zu einem wesentlich günstigeren Streubild. Hierbei wurde die Drehrichtung der beiden äußeren Walzen umgekehrt. Der Abriß der Dungteilchen an den äußeren Walzen erfolgt bei einer Winkelstellung der Zinken von etwa 60° bis 80° vom Fahrtrichtungsvektor aus gemessen. Die Seitenwände müssen daher zurückgezogen werden, damit sie nicht in der Wurfrichtung liegen. Wie Versuche zeigten, soll der lichte

Abstand zwischen Zinkenspitze und Seitenwandkante nicht mehr als 15 bis 20 mm betragen, weil sonst der Dung zwischen Zinken und Seitenwand herausgequetscht wird, was zur Bildung größerer Fladen führt.

Eine weitere Verbesserung des Streubildes ist durch eine Überschneidung der Zinkenkreise möglich (Bild 41). Bei der gezeigten Anordnung wird dadurch eine gleichmäßige Verteilung in der Mitte der (schraffierten) Streufäche erreicht. Läßt man die Walzen umgekehrt rotieren, so erhält man ebenfalls noch ein befriedigendes Streubild bei etwas günstigerem Leistungsbedarf (Bild 42).

Eine Übersicht über die optimale Streubreite der einzelnen Drehrichtungskombinationen und der zugehörigen Abweichungen ist aus Bild 43 zu entnehmen. Für zwei Kombinationen, nämlich für die verteilungsmäßig ungünstige Anordnung B und die günstige Anordnung F, wurden noch die entsprechenden Werte für Häckseldung ermittelt und angegeben, um aufzuzeigen, daß die oben gemachten Angaben auch auf andere Dungarten übertragen werden können.

| Walzenanordnung | optimale Streubreite | | durchschnittliche Abweichung | |
|-----------------|----------------------|----------------|------------------------------|----------------|
| | Tiefstall-dung m | Häcksel-dung m | Tiefstall-dung m | Häcksel-dung m |
| | 1,50 | - | 6,9 | - |
| A | 3,75 | - | 7,8 | - |
| B | 3,00 | 2,50 | 31,4 | 32,8 |
| C | 3,25 | - | 7,1 | - |
| D | 3,25 | - | 4,5 | - |
| E | 2,00 | - | 5,6 | - |
| F | 4,00 | 4,00 | 8,5 | 9,1 |
| G | 3,50 | - | 6,5 | - |

Bild 43. Vergleich der optimalen Streubreiten verschiedener Walzenanordnungen.

In der Übersicht sind die sich aus den Fehlerkurven ergebenden optimalen Streubreiten mit den zugehörigen Werten für die durchschnittliche Abweichung angegeben. Sie beziehen sich auf Zinken der Form d. Der Zinkenabstand beträgt 60 mm bei den liegenden Walzen und den stehenden Walzen der Kombinationen A bis E und 80 mm bei den Kombinationen F und G.

Zu der Drehrichtungskombination E ist noch zu bemerken, daß der Dung stoßweise und zum Teil in größeren Batzen ausgeworfen wird, da alle vier Walzen am Spalt die gleiche Bewegungsrichtung haben und somit praktisch ohne „Gegenschneide“ arbeiten. Ferner ist zu der Kombination A einschränkend zu sagen, daß bei ihr die Dungfeuchtigkeit einen starken Einfluß auf die Verteilung ausübt.

Einfluß der Dungfeuchtigkeit

Nach dem Abriß von der Ladung lösen sich nicht alle Dungteilchen gleichzeitig auch vom Zinken. Der Dung haftet vielmehr so lange am Zinken, bis die Fliehkräfte die Adhäsionskräfte überwinden. Die Adhäsion des Dungs ist nach einer russischen Untersuchung von Gimain [4] in hohem Maße von seiner Feuchtigkeit abhängig. Nach dieser Untersuchung kann eine Steigerung der Feuchtigkeit um 2,4% (von 74,5% auf 76,9%) eine Erhöhung der Adhäsionskräfte um das 2,5- bis 3fache zur Folge haben.

Der Einfluß der Dungfeuchtigkeit auf die Verteilung soll daher am Beispiel der Kombination A, bei der alle Walzen die gleiche Drehrichtung haben, gezeigt werden. Das Diagramm in

Bild 44 zeigt die Verteilung des Dungs quer zur Fahrtrichtung bei den mittleren Dungfeuchtigkeiten von 70 und 78%. Bei dem trockneren Dung werden die Teilchen unmittelbar nach dem Abriß abgeworfen. Es findet also eine Anhäufung auf der rechten Wagenseite statt. Bei dem feuchten Dung werden die Dungpartikeln dagegen zu einem beträchtlichen Teil erst später

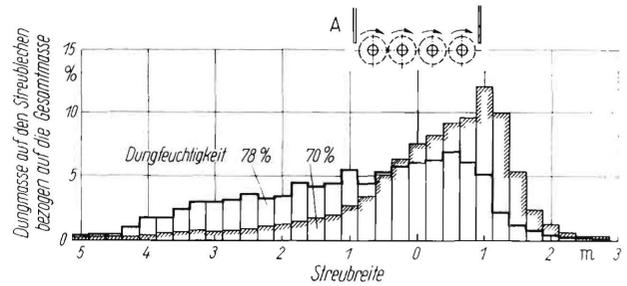


Bild 44. Einfluß der Dungfeuchtigkeit auf die Verteilung des Dungs quer zur Fahrtrichtung.

abgeworfen, so daß eine gleichmäßigere Verteilung entsteht. Der Einfluß der Dummteilchen kommt bei dieser Kombination so stark zum Ausdruck, weil eine Kompensierung desselben durch benachbarte gegenläufige Walzen nicht gegeben ist. Ähnliches gilt auch für die Kombination D, bei der sich jeweils zwei Walzen in ihren Wurfrichtungen ergänzen.

Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit

Um den Einfluß der Umfangsrichtung der Zinken auf die Streubreite zu ermitteln, wurden bei der Kombination F die Verteilungen bei Umfangsgeschwindigkeiten von 11 und 15 m/s untereinander verglichen. Für die Versuche wurde Häckseldung verwendet. Das Ergebnis ist in Bild 45 wiedergegeben. Mit der Steigerung der Geschwindigkeit wurde nur eine verhältnismäßig

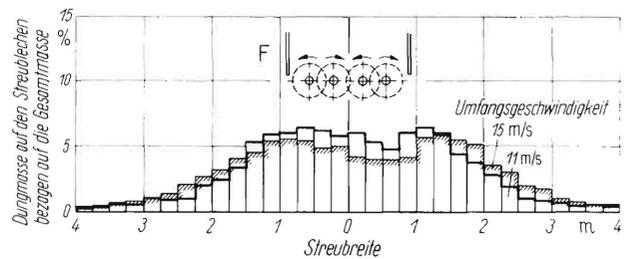


Bild 45. Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit der Zinken auf die Verteilung des Dungs quer zur Fahrtrichtung.

geringe Vergrößerung der Streubreite erzielt. Bei etwa der gleichen durchschnittlichen Abweichung vom Mittelwert (9,1% bzw. 11,2%) beträgt die genutzte Streubreite 4,0 m bzw. 4,75 m.

Verteilung des Dungs in Fahrtrichtung

Beim Entladen des Dungstreuers treten auch in Fahrtrichtung Ungleichförmigkeiten auf. Ergebnisse von Versuchen über die Verteilung des Dungs in Fahrtrichtung sind in Bild 46

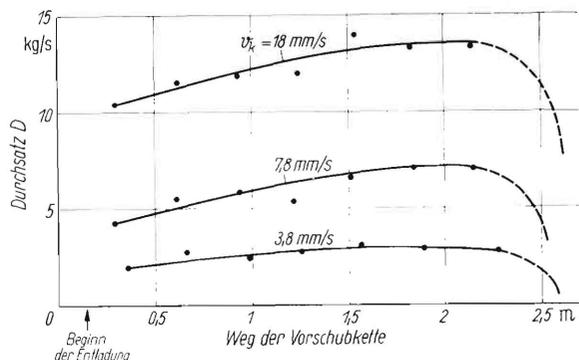


Bild 46. Verteilung des Dungs in Fahrtrichtung mit der Geschwindigkeit v_K der Vorschubkette als Parameter.

dargestellt. Sie gelten für Häckseldung, doch wurden auch bei Tiefstallung ähnliche Beobachtungen gemacht. In dem Diagramm ist der Durchsatz über dem Weg der Vorschubkette während der Entladung aufgezeichnet. Die Kurven entsprechen also der Verteilung längs einer bestimmten, von der Fahrgeschwindigkeit abhängigen Strecke auf dem Felde. Aus den Diagrammen ist zu entnehmen, daß der Durchsatz zu Beginn der Entladung um etwa 15 bis 25% unter, gegen Ende um etwa 12 bis 20% über dem durchschnittlichen Durchsatz liegt. Die Entladung des letzten Restes erfolgt sehr unregelmäßig und ist zum Teil von der Stapelung des Dungs auf dem Wagen abhängig.

Die verhältnismäßig starke Zunahme des Durchsatzes während der Entladezeit ist auf eine Kompression des Dungs, der gegen das Streuaggregat gedrückt wird, zurückzuführen. Neben der Zunahme des Durchsatzes ist auch eine entsprechende Steigerung der Leistungsaufnahme des Streuwerkes zu verzeichnen. Hierüber wurden von *Schulze* [5] Messungen angestellt, die eine Abhängigkeit des Leistungsverlaufes während der Entladung vom System der Fördereinrichtung des Streuers zeigten.

Kräfte am Vorschubantrieb

Abschließend seien noch einige Daten über die beim Vorschub des Dungs an der Förderkette auftretenden Kräfte gegeben. Auf **Bild 47** ist eine schematische Darstellung über den Verlauf des Drehmomentes an der Vorschubwelle während eines Vorschubtaktes enthalten, wie er auch dem Meßschrieb in **Bild 27** zu entnehmen ist. Ein Vorschubtakt entspricht einer vollen Schwingung der Kurbelschwinge des Vorschubantriebs. Die Darstellung zeigt, daß das Drehmoment zunächst auf ein Maximum, welches durch den Reibungsbeiwert der ruhenden Reibung gegeben ist, ansteigt. Danach fällt das Drehmoment auf die zur Überwindung der Gleitreibung notwendige Größe ab. Nach Beendigung der Vorschubbewegung geht das Drehmoment auf eine gewisse, während des Stillstandes der Ladung verbleibende Vorspannung zurück. Das Hauptdiagramm in **Bild 47** enthält die dem maximalen und dem beim Gleiten auftretenden Drehmoment entsprechenden Kettenkräfte. Beide nähern sich mit zunehmender Entladung dem durch die Leerlaufkraft gegebenen Wert, der bei dem Versuchstreuer etwa 400 kp betrug. Die für die Dimensionierung ausschlaggebenden Höchstkräfte bei voller Beladung entsprechen etwa dem Ladegewicht. — Die hier gemachten Ausführungen gelten im wesentlichen für Antriebe mit einer Taktzahl von etwa 75 Takten je Minute. Bei mehrfach höherer Taktzahl ergibt sich,

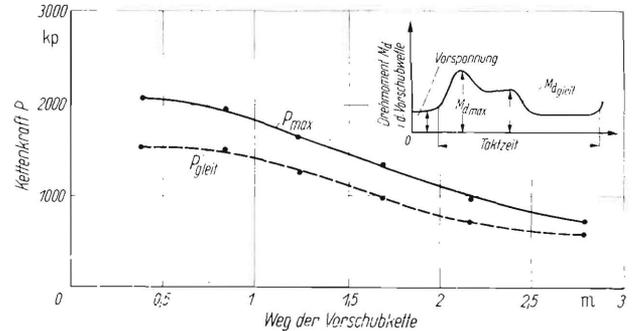


Bild 47. Kräfte am Vorschubantrieb.

Aufgezeichnet sind die aus dem Drehmoment der Vorschubwelle errechneten Kettenkräfte. Die maximale Kettenkraft P_{\max} ergibt sich durch den Reibungsbeiwert der ruhenden Reibung des Dungs auf dem Holzboden, während die Kraft P_{gleit} zur Überwindung der Gleitreibung aufgewendet werden muß.

Gewicht der Ladung 2110 kp

mittl. Geschwindigkeit der Vorschubkette 8,8 mm/s

wie von *Stürenburg* an einem amerikanischen Streuer gemessen wurde, für die Vorschubwelle eine Drehmomentkurve, die mit ziemlich gleichbleibender Amplitude um eine Mittellinie schwingt. Die Mittellinie liegt bei etwa 75% des maximalen Drehmoments.

Zusammenfassung

Der Dung wird im Takt der Vorschubbewegung ausgebracht. In entsprechender Weise verläuft auch die Beanspruchung der Zinken, die zu Beginn des Vorschubes stark ansteigt und gegen Ende auf einen durch die Reibung des Zinkens in der vorher gefrästen Rille im Dungstapel bedingten Wert abzufallen. Die Zinkenkräfte und damit der Leistungsbedarf sind von der Zinkenform und dem Zinkenabstand abhängig. Ebenso ergeben sich Differenzen im Leistungsbedarf bei verschiedenen Drehrichtungskombinationen der Walzen des Breitstreuerkes. Diese können jedoch im Hinblick auf die stärkeren Schlepper, die in der Landwirtschaft zunehmend Verwendung finden, zugunsten der günstigsten Verteilung vernachlässigt werden. Nach den Ergebnissen der Untersuchung ist es möglich, die Verteilung des Dungs quer zur Fahrtrichtung bei Breitstreuern durch Änderung der Drehrichtung der Streuwalzen und ihrer Kombination zueinander wesentlich zu verbessern. Die an der Vorschubeinrichtung auftretenden maximalen Kettenkräfte entsprechen etwa dem Ladegewicht des Dungs.

Schrifttum

- [1] *Schilling, Erich*: Landmaschinen. 3. Band: Maschinen und Geräte für die Düngung, Bestellung, Pflanzenpflege. Rodenkirchen bei Köln 1958.
- [2] *Gaus, H.*: Beitrag zur Weiterentwicklung vollautomatischer Stallungstreuer. Diss. L. H. Gießen 1955.
- [3] *Stürenburg, P.*: Untersuchungen an Stallungsbreitstreuern. *Landbauforsch.* **11** (1961) S. 42/48.
- [4] *Gimein, S. M.*: Die physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Stallungs. *Mechanizacija i Elektrifikacija* **20** (1962) S. 49
- [5] *Schulze, K. H.*: Technische Erfahrungen mit Stallungstreuern. *Grundl. d. Landtechn.* Heft 16. Düsseldorf 1963. S. 53/66.