

Untersuchungen an Schleuder-Düngerstreuern II

Institut für Landtechnik, Berlin

Die vorliegende Arbeit ist eine Fortsetzung des Beitrages, der in Heft 6/1962 der „Landtechnischen Forschung“ (S. 179–186) veröffentlicht wurde.

Da sich bereits bei den beschriebenen Modellversuchen ergab, daß die in der Zeiteinheit auf die Schleuderscheibe aufgegebene Düngermenge deutliche Einwirkungen auf die Verteilung ausübt, wurden sowohl mit dem Streuermodell als auch mit einer Anzahl serienmäßiger Schleuderstreuer umfangreiche Mengen-(Durchlauf-)Versuche angestellt. Es ging darum, Aufschlüsse über die Regelbarkeit der Durchflußmenge sowie über die Mengenschwankungen während des Streuvorganges und bei Wiederholungen zu erhalten.

Mengenversuche mit Modellen

Mit Modellen wurden zwei Anordnungen getroffen:

1. freier Auslauf nach unten aus einem umgekehrt kegelförmigen Behälter;
2. seitlicher Auslauf aus einem den kegelförmigen Behälter fortsetzenden, durch die Schleuderscheibe unten abgeschlossenen Zylinder auf die drehende Scheibe.

1. Die Modellversuche mit freiem Auslauf, bei denen die kreisrunde Durchtrittsfläche von 3–12 cm² stufenweise variiert wurde, bestätigten die bereits bekannte etwa lineare Abhängigkeit der Durchlaufmenge von der Fläche. Während sich die Füllhöhe nicht auswirkte, stieg die Durchlaufmenge mit zurückgehender Korngröße¹⁾ deutlich an. Diese einfachen Durchlaufversuche waren nur mit gekörntem Material auswertbar. Kristalliner (Kali) oder mehlig (Superphosphat) Dünger bildete kleinere Zusammenballungen oder Brücken, so daß Messungen eines stetigen Düngerdurchflusses nicht gemacht werden konnten. Daraus geht hervor, daß die einfachste Art der Speisevorrichtung für Schleuderstreuer, nämlich ein querschnittsgeregelter freier Auslauf nach unten, nur für gekörntes, trockenes Streugut einwandfrei anwendbar ist. In Bild 15 ist das Auslaufverhalten bei freiem Auslauf nach unten dargestellt.

2. Bei den Modellversuchen mit einem Auslaufzylinder konnte die seitliche Durchtrittsfläche stufenlos von 0–40 cm² geregelt werden. Diese Anordnung entspricht der bei den meisten serienmäßigen Maschinen verwendeten Öffnungsregelung. Erfast wurde der Einfluß der Öffnungsweite, Düngersorte und Scheibendrehzahl auf die Durchlaufmenge. In Bild 15 ist die lineare Abhängigkeit der Durchlaufmenge von der Öffnung zu erkennen. Die Düngermenge nimmt grundsätzlich mit kleiner werdender Korngröße zu, gekörnter Dünger weist eine Durchflußmenge von 1,3–1,5, feines

und kristallines Material von etwa 2 kg/cm² min auf. Bei den Versuchen wurde die Drehzahl von 300 → 700 U/min gesteigert. Die größeren Durchflußmengen in den eingezeichneten Bereichsgrenzen sind dabei den höheren Drehzahlen zuzuordnen. Zum Vergleich ist in die Darstellung noch der Verlauf der Durchflußmenge für gekörntes Material von 2–4 mm Ø bei freiem Auslauf nach unten (s. Punkt 1) einbezogen. Der Einfluß der Scheibendrehzahl ist gering; für eine Steigerung von 100 U/min ergab sich ein Mengenanstieg von 10% im unteren bis 5% im höheren Drehzahlbereich.

Wie die Modellversuche weiter gezeigt haben, verlangt jedes Düngemittel eine Mindestöffnungsweite, die die maximale Korngröße um 1,5–2 mm überschreiten muß. Damit erklärt sich, daß die Kurven in Bild 15 nicht durch den Nullpunkt gehen, sondern die Abszissenachse in einem etwa der doppelten Korngröße entsprechenden Abstand schneiden. Dadurch entsteht eine untere Regelbereichsgrenze, die von vornherein die Mindestmenge auf 50–80 kg/ha festlegt. Bei größeren Auslaufzylindern, wie sie an serienmäßigen Düngerstreuern üblich sind, werden daher meistens mehrere Vertikalschlitze angebracht, wodurch man einen größeren Regelbereich gewinnt.

Mengenversuche mit Düngerstreuern

Im Anschluß an die Modellversuche wurden Mengenversuche mit Düngerstreuerfabrikaten durchgeführt, um den Einfluß der Bauart des Streuers und der Düngemittel auf das Mengenverhalten zu prüfen. Dafür wurden zwei Auffangvorrichtungen geschaffen, wovon die eine (Bild 16a) den an der Dreipunkthydraulik angebauten Streuer so umgab, daß der von der Scheibe abgeworfene Dünger aufgefangen und nach unten in einen Auffangkasten gelenkt wurde. Diese Auffangvorrichtung machte gewisse Schwierigkeiten in der Begrenzung des Streuvorganges.

Deshalb wurde eine zweite Auffangvorrichtung geschaffen (Bild 16b), bei der ein doppelter Beutel aus Plastikfolie Verwendung fand. Der obere Beutelteil war in der Höhe verstellbar. Die Maschine streute zunächst ins Freie, nach Anheben des oberen Mantels wurde das abgestreute Material nach unten in das Auffanggefäß geleitet. Der Vorgang konnte beliebig lange und oft wiederholt werden. Dadurch war die Fehlerquelle des An- und Nachlaufes ausgeschaltet.

Mengenversuche mit Streuer A (seitlich ausgesparte Speiseöffnung)

Die Schleuderscheibe dieses Streuers bildet den unteren Abschluß des umgekehrt kegelförmigen Vorratsbehälters. Die direkt

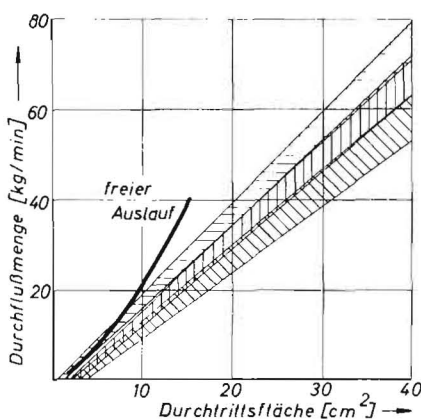


Bild 15: Durchflußmengen zweier Modellanordnungen bei freiem Auslauf und mit Auslaufzylinder

Düngersorten:

- ☐ 0,2–0,5 mm (300–700 U/min)
- ▨ 1–2 mm (300–700 U/min)
- ▩ 2–4 mm (300–700 U/min)



Bild 16a (links) und Bild 16b (oben): Auffangvorrichtungen für Mengenversuche

¹⁾ Der Begriff „Korngröße“ ist in Teil I in der „Landtechnischen Forschung“ 12 (1962), S. 185 erklärt.

aus der schrägen Seitenwand ausgesparte Speiseöffnung wird von einer elastischen Manschette aus Gummigewebe geöffnet. Über der Scheibe ist ein kurzer winkelmessersförmiger Schaber und eine klöppelförmige Rührstange angeordnet. Die Öffnungshöhe konnte infolge der vorhandenen Toleranzen leider nicht genau eingestellt werden; die Konstruktion ist im übrigen inzwischen geändert. Die Mengengeraden der einzelnen Düngemittel verlaufen dicht nebeneinander, und es ergaben sich Durchflußmengen zwischen $2 \text{ kg/cm}^2 \text{ min}$ (körniger Dünger) und $2\text{--}2.75 \text{ kg/cm}^2 \text{ min}$ (kristalliner Dünger). In Bild 19 ist unter anderem der Mengenverlauf für Streuer A dargestellt. Wie daraus hervorgeht, traten Störungen bei kleinen Einstellungen von $0 \rightarrow 2$ und gekörntem Dünger auf.

Für die Erstellung von Streutabellen ist der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit zu dem Einfluß der Durchtrittsfläche hinzuzuziehen. Bild 17 zeigt ein Beispiel, wie man die Streumenge bei jeder beliebigen Einstellung und Fahrgeschwindigkeit direkt ablesen kann, wenn man in Form eines Nomogramms den Streumengenverlauf in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bringt. Zum Vergleich ist auch die lineare Abszissentheilung für $\frac{1}{x}$ ($x = v$ Fahrgeschwindigkeit) angegeben. Diese Darstellung gilt allerdings nur für gekörnte Düngersorten von $1\text{--}4 \text{ mm}$ und Streuer A. Für andere, beispielsweise für kristalline Sorten, müßten zusätzliche Ordinatenmaßstäbe ermittelt werden. Die Werte der einzelnen Einstellungen waren, wie erwähnt, mit erheblichen Versuchsfehlern behaftet. Bei grobkörnigem Material sind die Streumengen je Hektar mehr an der unteren, bei feiner gekörntem Material mehr an der oberen Grenze des angegebenen Mengenbereichs zu suchen. Ähnliche Darstellungen können für alle Maschinen erstellt werden. Das Bild soll vor allem das Prinzip erklären.

Mengenversuche mit Streuer B (mit Auslaufzylinder)

Der Vorratsbehälter dieses Streuers endet in einem Auslaufzylinder, der einseitig dreieckförmig nach oben spitz zugehende Austrittsöffnung aufweist. Die Öffnungsregelung erfolgt einmal durch eine innerhalb des Zylinders in der Höhe verstellbare horizontale Scheibe, die sich mit der Schleuderscheibe dreht. Außerdem sind die einzelnen Auslauföffnungen durch Verschlussblenden in sieben verschiedenen Stellungen verschließbar. Eine Vergrößerung der Durchtrittsfläche kann daher sowohl durch Absenken der Bodenscheibe als auch durch Verstellen der Verschlussblenden bewirkt werden. Die Ergebnisse der Versuche beweisen auch hier einen linearen Anstieg der Streumenge proportional zur Durchtrittsfläche (Bild 18). Allerdings ergaben sich vergleichsweise hohe Mengen je cm^2 und Minute, die je nach Korngröße zwischen 2 und 4 kg , bei kristallinem Dünger zwischen 4 und 6 kg je cm^2 und Minute schwanken. Damit liegt diese Menge etwa doppelt so hoch wie bei Streuer A.

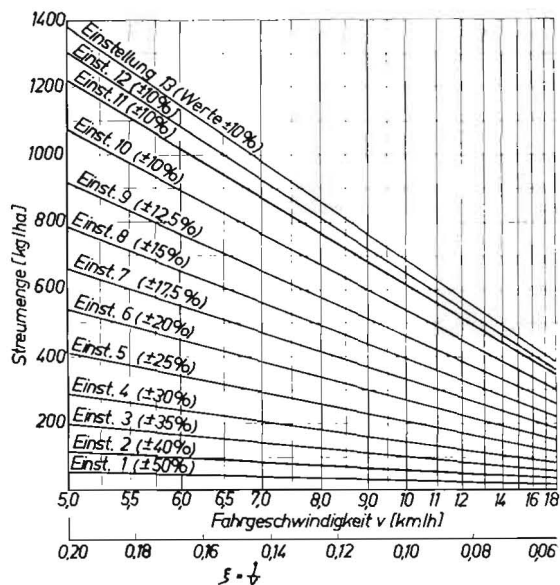


Bild 17: Streumengen-Nomogramm für sämtliche Einstellungen und Fahrgeschwindigkeiten (Streuer A) gekörnter Dünger (Korngröße $1\text{--}4 \text{ mm}$)

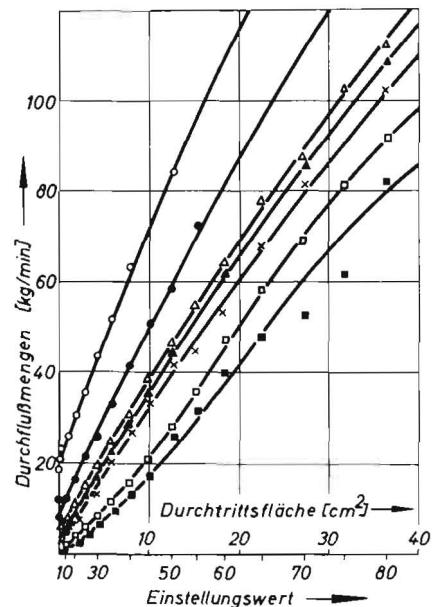


Bild 18: Mengenverlauf verschiedener Düngerarten bei Streuer B

- Kali und Thomasmehl (trocken)
- Kali (trocken)
- △ Rhe-Ka-Phos Standard ($d_2 = 0.6 \text{ mm}$)
- ▲ Superphosphat fein ($d_2 < 0.1 \text{ mm}$)
- × Nitrophoska Standard ($d_2 = 2.4 \text{ mm}$)
- Superphosphat granuliert ($d_2 = 2.6 \text{ mm}$)
- Nitrophoska 3-4 mm ($d_2 = 3.0 \text{ mm}$)

Um das Mengenverhalten weiterer fabrikmäßiger Maschinen zu überprüfen, wurde zum Vergleich aus Flächenverteilungsversuchen (s. w. u.) der Mengenverlauf für weitere zwei Düngestreuer herangezogen. Für die Versuche waren bei beiden Maschinen die Rührkörbe ausgebaut. Abgesehen von dem annähernd linearen Anstieg der Durchflußmenge bei größer werdender Durchtrittsfläche waren die Unterschiede zwischen den verschiedenen Düngersorten bei beiden Streuern relativ groß. Grobgekörnter Dünger hatte einen deutlichen Mengenrückgang zu verzeichnen. Dabei lag die Durchflußmenge beim Streuer C etwa um die Hälfte höher als beim Streuer D. Die Unterschiede erklären sich aus dem konstruktiven Aufbau der Speisevorrichtungen der beiden Maschinen, die im folgenden Kapitel noch genauer beschrieben werden. Die Durchflußöffnung bei Streuer C entspricht etwa dem freien Auslauf nach unten, während Streuer D einen Auslaufzylinder über einer rotierenden Scheibe besitzt.

Zusammenfassung der Mengenversuchsergebnisse

Die Mengenversuche mit Modellen und vier verschiedenen Typen von Schleudrestreuern bewiesen, daß trotz des gleichen Arbeitsprinzips der Maschinen in den Durchflußmengen zwischen den verschiedenen Konstruktionen und Düngerarten weit größere Unterschiede auftreten als etwa bei Breitstreuern. Für gut streufähige gekörnte Düngemittel können ganz einfache Speisevorrichtungen, die nur auf Grund der Schwerkraft ohne Rührvorrichtung arbeiten, ausreichen. Bei feinem, feuchtem und klumpigem Dünger ist ohne Rührwerk, das die Speiseöffnung frei hält und Brückenbildung verhindert, nicht auszukommen. Dabei sind allerdings hohe Drehzahlen der Rührvorrichtungen (über 500 U/min) ungünstig.

Die Durchflußmenge ist in erster Linie von der Art und Ausführung der Speisevorrichtung abhängig. Wählt man für einen Vergleich die Durchtrittsfläche als Bezugsgröße, so kann man für jede Düngersorte und jeden Düngestreuer ein Mengen-Flächenverhältnis in $\text{kg/cm}^2 \text{ min}$ als Faustzahl errechnen.

In Bild 19 sind die Durchflußmengen der untersuchten Modelle und Maschinen mit einem Düngemittel, nämlich Kalkammonsalpeter Standardprodukt, aufgeführt. Bei gleichen Durchtrittsflächen sind, wie daraus hervorgeht, Mengendifferenzen festzustellen, die bis zu 100% betragen. Bei gleichem Dünger ist die Menge um so größer, je mehr der Düngerauslauf durch die Schwerkraft bewirkt wird, während seitlicher Austritt am Auslaufzylinder

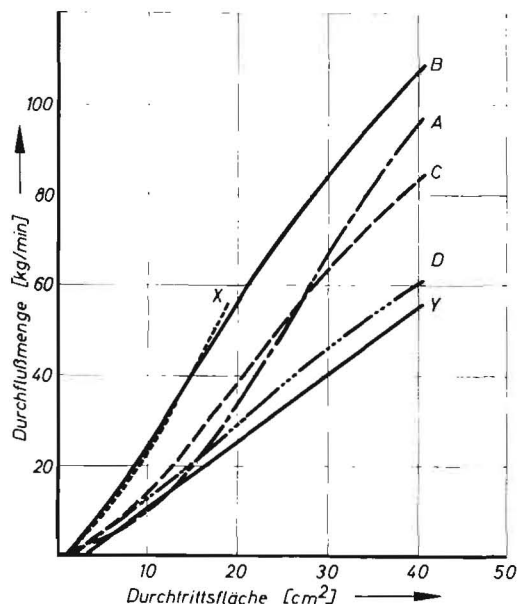


Bild 19: Vergleich des Durchflußmengen-Verlaufs sämtlicher untersuchten Streuer und Modelle bei normal gekörntem Dünger (Kalkammonsalpeter-Standardprodukt)

- A — Auslauf über Scheibe (mit Rührklöppel)
- B — Auslaufzylinder mit rotierender Bodenseibe und Rührwelle
- C — Zweischiebenstreuer mit seitlichem Auslauf aus geschlossenem Behälter (Schaber)
- D — Auslaufzylinder ohne Rührvorrichtung
- X — Modellversuche mit freiem Auslauf nach unten
- Y — Modell (mit Auslaufzylinder)

geringere Mengen je Minute liefert. Durch Rührvorrichtungen, Schaber und Scheibenarmierungen, die innerhalb des Behälters laufen, wird die Durchflußmenge erheblich gesteigert. Ein annähernd linearer Anstieg der Streumenge ist für fast alle Düngestreuer und die Modelle ersichtlich; nicht lineares Verhalten weist im allgemeinen auf Störungen in der Beschickung infolge wenig geeigneter Regelvorrichtungen oder schlecht streufähiger Düngemittel hin.

Der Einfluß der Scheibendrehzahl auf die Durchflußmenge ist gering. Im allgemeinen kann man mit einer Mengenzunahme von 10 → 5% je 100 U/min rechnen.

Der Einfluß der Düngemittel auf das Mengenverhalten

Die Durchflußmenge nimmt mit kleiner werdender Korngröße allgemein zu, soweit es sich um gut rieselndes Material handelt; beispielsweise brachte kristalliner Dünger etwa doppelte Durchflußmengen wie gekörntes Material. Ausgesprochen staubförmiger Dünger kann aber durch Dichtlagerung zu Auslaufschwierigkeiten führen. Alle Angaben gelten für Ausrüstung mit Rührwerken. Bei ausgesprochen grob gekörntem Dünger ergab sich in allen Fällen ein Mengenrückgang verbunden mit einem kleineren Regelbereich. Wünschenswert erscheint daher für Düngemittel, die mit Schleuderstreuern ausgebracht werden sollen, daß sie möglichst keine Korngrößen über 4 mm und eine durchschnittliche Korngröße nicht unter 1,5 mm aufweisen sollten. Der Einfluß der Düngereuchte wurde durch Verwendung künstlich angefeuchteten Kalisalzes getestet. Bis zu einem Feuchtegehalt von 4 bis 5% war dieses Material mit gutem Rührwerk streubar. Darüber liegende Feuchtegehalte werden aber immer Schwierigkeiten bereiten. Feuchter Dünger bedeutet stets niedrigere Durchflußmengen und ungleichmäßiges Auslaufen. Ein zur Staubabbindung mit 2 bis 3%igem Wasserzusatz angefeuchtetes Kali-Thomasmehl-Gemisch war mit den meisten Schleuderstreuern noch auszubringen.

Die Düngerverteilung serienmäßiger Schleuderstreuer

Die mit mehreren serienmäßigen Schleuderstreuern unterschiedlicher Bauart durchgeführten Streuveruche sollten in erster Linie einen allgemeinen Überblick über die besonderen Verteilungseigenschaften einzelner Bauarten ermöglichen. Daneben sollten die Versuche auch Aufschluß über die Verwendbarkeit verschiedener Düngertypen in Schleuderstreuern geben. Solche Versuche lassen sich als Fahr- oder Standversuche anstellen.

Zunächst wurden, um die Gleichmäßigkeit in Fahrtrichtung zu überprüfen, einige Fahrversuche als sogenannte Feldverteilungsversuche durchgeführt und ausgewertet. Eine Versuchsanordnung für solche Feldverteilungsversuche mit 10 m Streubahnbreite zeigt Bild 20. Die Abweichungen in Fahrtrichtung lagen dabei durchweg unter 2% vom Mittel, so daß man bei Schleuderstreuern die Verteilung in Fahrtrichtung vernachlässigen kann.

Die Versuchsanlage für Standversuche wurde im Freigelände (Bild 21) aufgebaut und ermöglichte eine Verkürzung der Versuchszeit von 6 Stunden auf 1/2 Stunde je Versuch. Der Versuchstand selbst war aus Winkelisenprofilen so in die Auffanganlage hineingebaut, daß Streubreiten bis 14 m erfaßt werden konnten. Der Düngestreuer wurde von einem Elektromotor mit zwischen-geschaltetem stufenlosen Getriebe angetrieben und nach Versuchsbeendigung durch eine Reibungsbremse ruckartig zum Stillstand gebracht. Die Versuchsfläche war in Reihen von 40 cm Breite in der Weise unterteilt, daß Stahldrähte in Höhe des Bodenniveaus gespannt waren, über die Folienbahnen geklebt wurden. Zwischen den Drähten waren die Folien in Blechrinnen eingeklebt, aus denen der Dünger durch rohrförmige Schieber mit Weichgummiumlagen herausgezogen werden konnte. Ein Springen der Körner war durch die puffernde Wirkung der Folienbahnen nicht festzustellen. Am rückwärtigen Ende wurden die Rinnen durch Blenden abgeschlossen, damit die in dieser Richtung fliegenden Körner aufgefangen werden konnten. Der Wind wurde während der Versuche dauernd durch ein Schalenanemometer gemessen; da die Anlage rundum von Gebäuden umgeben war, war der Windeinfluß praktisch ausgeschaltet. Es wurden aber nur dann Versuche gefahren, wenn Windgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s angezeigt waren. Insgesamt wurden über 300 Streuveruche vorgenommen.

Für die Untersuchung der Flächenverteilung wurden vier Schleuderstreuer-Typen mit charakteristischen Konstruktionsmerkmalen herausgegriffen. Bild 22 zeigt diese Maschinen. Tafel 2 ihre wichtigen technischen Daten.

Zweischiebenstreuer C

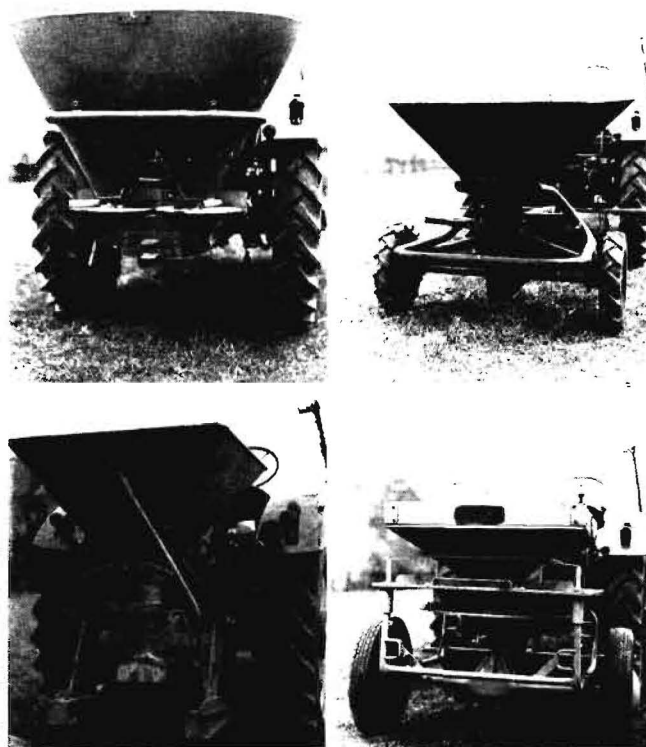
Beim Streuer C handelt es sich um einen Zweischieben-Anbaustreuer, dessen Streuorgan aus zwei relativ kleinen, mit je zwei Streuschaukeln besetzten, gegenläufig rotierenden Scheiben gebildet wird. Der Dünger wird zugeführt durch zwei spiegelbildlich zueinander angeordnete, aus den inneren Seitenwänden ausgesparte rechteckige Speiseöffnungen, die mittels zweier kniehebel-förmiger Flachschieber im Scheibendreh Sinn geöffnet werden. Der Vorratstrichter liegt nicht auf der Scheibe auf, sondern der Dünger fließt, unterstützt durch die Scheibendrehzahl umlaufende Schaber, frei nach unten aus. Infolge der relativ schmalen Aufgabeöffnungen (10–35 mm je nach Einstellung) ergeben sich kleine Öffnungswinkel (je etwa 30°) und, dadurch bedingt, auch ein verhältnismäßig kleiner Streuwinkel. Da die Aufgabeöffnungen etwa 50 mm von den Scheibenmittelpunkten entfernt liegen und die Aufgabezonen sich infolgedessen von etwa $\frac{r}{2} \rightarrow r$ erstrecken, bleibt auch der Lagewinkel (siehe Bilder 11 und 12) relativ klein.



Bild 20: Auffanganlage für Feldverteilungsversuche mit freistreuender Scheibe



Bild 21: Auf dem Freigelände errichtete Versuchsanlage für Standversuche



Bilder 22a bis 22d: Die für Flächenverteilungs-Versuche verwendeten Schleuderstreuer

- Bild 22a (oben links): Zweischeiben-Anbaustreuer (Streuer C);
- Bild 22b (oben rechts): Einscheibenstreuer (Streuer D);
- Bild 22c (unten links): Einscheiben-Anbaustreuer (Streuer E);
- Bild 22d (unten rechts): lauftradgetriebener Anhängestreuer (Streuer F)

Allgemein hat das Zweischeibenprinzip, gleichmäßige Regelung beider Aufgaböffnungen durch saubere Fertigung vorausgesetzt, den Vorteil einer konstanten Symmetrie beider Streubahnhälften. Dafür muß man den Nachteil des etwas größeren Aufwandes und doppelter Fehler- oder Störquellen infolge zweier Speiseöffnungen in Kauf nehmen. Mit körnigem Dünger (über 1 mm Korngröße) und kleiner bis mittlerer Einstellung (bis 500 kg/ha) lieferte der

Zweischeibenstreuer eine gleichmäßige Düngerverteilung mit durchschnittlichen Abweichungen unter $e = 10\%$ und Extremwerten unter 20% , wie sie auch von den besten Breitstreuern nicht überboten werden. Das unterste Streubild in Bild 23 kann dafür als charakteristisch angesehen werden. Die Streubreite liegt zwischen 9 und 10 m, bei einer ausreichenden Streubreiten-Toleranz von $b_0 \approx 1$ m.

Wie Versuche mit verschiedenen Scheiben-Drehzahlen zeigten, bleibt der Drehzahl-Einfluß bei diesem Streuer gering. Von Bedeutung kann allerdings wie bei allen Maschinen eine durch Drehzahlschwankungen des Schleppers hervorgerufene Streubreiten-Änderung sein, während die Verteilungsgüte durch die Drehzahl kaum berührt wird. Im Bereich üblicher Drehzahlen, beispielsweise von 550 → 400 Zapfwellen-U/min, ging die Streubreite bei gekörntem Dünger nur um 1,0—1,5 m zurück, was etwa noch im Toleranzbereich lag.

Dagegen war ein auffälliger Einfluß der Mengen-Einstellung auf Streubreite und Verteilungsgüte festzustellen. Körniger Dünger brachte zwischen kleiner und großer Einstellung (150 → 600 kg/ha) Breiten-Unterschiede von etwa 2,5 m oder 25% und einen Abweichungs-Anstieg auf das Doppelte bis Vierfache; allgemein lagen bei großen Einstellungen die Abweichungswerte zwischen $e = 10-20\%$ bei körnigem und $e = 20-30\%$ bei feinem Dünger.

Eine ähnliche Wirkung übte auch die Korngröße des Streugutes aus. Für die einzelnen Korngrößen-Klassen ergaben sich im Mittel etwa folgende Streubreiten-Relationen:

Durchschnittliche Korngröße d , [mm]	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,0
relative Streubreite	60	75	85	92	96	100

Feiner Dünger weist also etwa 60% der Streubreite von gekörntem auf, während die Unterschiede bei Korngrößen über 1 mm mit 10—15% im Toleranzbereich liegen. Feinere Körnungen bedingten durchweg eine Verschlechterung der Verteilungsgüte. In Bild 23 sind die Streubilder von vier verschiedenen Korngrößen bei normaler Einstellung untereinander gestellt. Sie lassen deutlich die stufenweise Verschlechterung (von $e = 7\%$ bei gekörntem auf $e = 24\%$ bei feinem Dünger) sowie auch die Ursachen dafür erkennen, nämlich ansteigende Gipfelwerte im äußeren und Fehlmengen im mittleren Fahrbahnbereich.

Tafel 2: Technische Daten der für die Flächenverteilungs-Versuche verwendeten Schleuderstreuer

	Streuer C	Streuer D	Streuer E	Streuer F
Maße und Gewichte				
Gesamthöhe [mm]	1000	1100	1150	1200
Gesamthöhe angebaut [mm]	1500	1250	1480	1200
Wandneigung [°]	65	45	60	35
Leergewicht [kg]	110	120/180*	133	190
Fassungsvermögen [l]	330	325	195	~ 100
Streuorgan				
Form der Streuscheibe	rund, plan	aufgelöst, plan	rund, plan	kegelmantelförmig (Anstiegswinkel 9°)
Scheibenzahl	2	1	1	1
Schaufelzahl	je 2	6	6	10
Scheibenhöhe über Boden [mm]	750	500	750	750
Scheiben-Durchmesser [mm]	360	830	400	830**)
Scheiben-Drehzahl***) [U/min]	720	405/326*)	540	250
Umfangsgeschwindigkeit [m/s]	13,7	17,6/14,5*)	11,2	9,2
Speisevorrichtung				
	Öffnungen seitlich in Behälterwandung, Trichter nicht auf Scheibe aufliegend	Auslaufzylinder mit verdrehbarem Verschlusszylinder	Auslaufzylinder mit einseitig anliegender Verschlussmanschette	Auslaufzylinder mit verdrehbarem Verschlusszylinder
Öffnungswinkel [°]	2 mal etwa 30	3 Öffnungsschlitze etwa 90 (85—95)	etwa 200—300	2 Öffnungsschlitze
Auslaufzylinder-Durchm. [mm]	—	200	150	135
Durchtrittsfläche [cm ²]	50	50	nicht feststellbar	57
Regelbereich (bei gekörntem Dünger) [kg/ha]	etwa 50→900	etwa 50→800	nicht untersucht	nicht untersucht
Rührvorrichtung				
	2 kurze Winkelmesser; wahlweise Rührkörbe	normal ohne Rührvorrichtung; wahlweise Rührkorb	gegenseitig umlaufendes Winkelmesser (1:4 untersetzt)	ohne jegliche Rührvorrichtung
Anmerkungen				
*) erstere Werte jeweils für Anbau-, letztere für gezogenen Streuer				
**) tatsächliche Drehkreis-Durchmesser der Schaufeln 770 und 660 mm				
***) bei Anbaustreuern für 540 Zapfwellen-U/min, bei gezogenen Streuern für 2 m/s Fahrgeschwindigkeit				

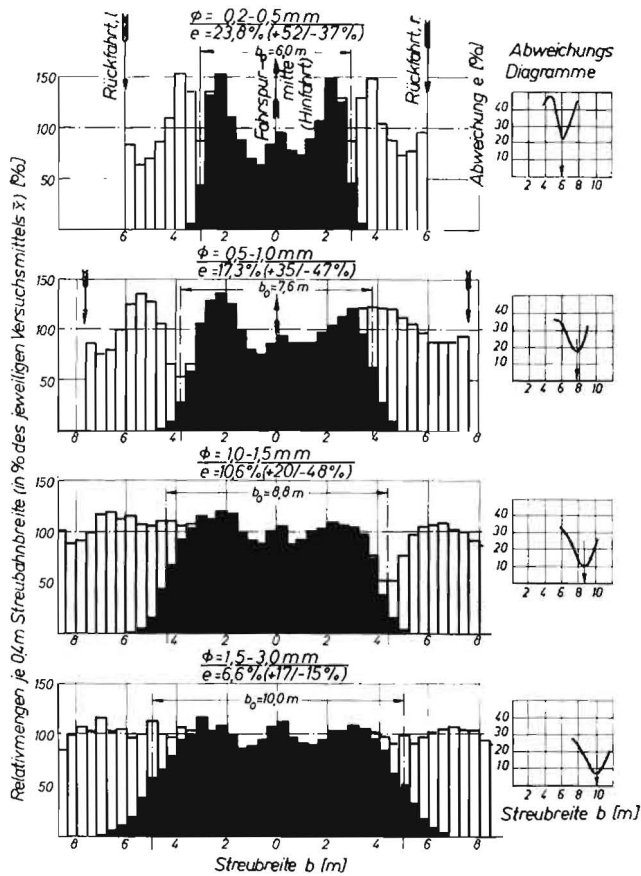


Bild 23: Düngerverteilung verschiedener Korngrößen beim Streuer C

Mengen:

Sorte Ø [mm]	Einstellung: C 3	
	M_T [kg/min]	M_F [kg/ha]
0,2-0,5	52	718
0,5-1,0	48	522
1,0-1,5	39	368
1,5-3,0	35	288

Schaufel-Rückstellung: Beim Streuer C ließ sich eine der beiden Streuschaufeln jeder Scheibe um etwa 15° gegen den Radius zurückstellen. Entsprechende Vergleichsversuche mit feinem Dünger und mit großen Einstellungswerten bei grobem Dünger ergaben dadurch eine sehr deutliche Verbesserung der Verteilung. So ging beispielsweise die Abweichung bei feinem Dünger von $e = 17,3\%$ bei radialen auf $e = 8,9\%$ bei rückgestellten Schaufeln zurück. Bei großer Einstellung (Nitrophoska; $d_s = 2,4$ mm; $M_F = 580$ kg/ha) ergab sich ein Abweichungsrückgang von $e = 12,8\%$ auf $e = 8,1\%$. Damit verbunden war allerdings auch ein Rückgang der optimalen Streubreite um etwa 25%. Feuchter Dünger, der ebenso wie feiner Dünger eine höhere Reibung entlang den Schaufeln aufweist, sollte aus demselben Grunde mit rückgestellten Schaufeln gestreut werden.

Der Einfluß der Scheibenhöhe über Boden auf die Wurfweite hatte sich, wie in Teil I ausgeführt, bei theoretischen Berechnungen als relativ gering herausgestellt. Diese Frage ist für die Praxis von gewisser Bedeutung, da bei niedrig angeordneten Scheiben der Windeinfluß und auch die Staubeentwicklung geringer sind und sich wesentliche arbeitstechnische Vorteile durch geringere Einfüllhöhen ergeben. Bei Versuchen mit verschiedenen Drehzahlen wurden folgende Relativwerte für die Streubreite (theoretische Werte für die Wurfweite zum Vergleich darunter gesetzt) ermittelt:

Scheibenhöhe über Boden [mm]	750	700	600	500
Versuchswerte (relativ)	100	98	94	89
Theoretische Werte (relativ)	100	97	90	81

Die angegebenen Werte gelten für körnigen Dünger. Bei feinem Dünger ist der Höheneinfluß auf Grund der größeren Luftreibung

noch geringer. Auf die Verteilungsgüte hatte die Scheibenhöhe keinerlei Einfluß. Die Abweichungswerte der Parallelversuche lagen durchweg bei $e = 8\%$. Wegen der sonstigen damit verbundenen Vorteile sollte die Scheibenhöhe bei Schleuderstreuern allgemein nicht höher als 500 mm liegen, wodurch, bei entsprechender Behältergestaltung, eine Gesamthöhe von rund 1,25 m eingehalten werden kann.

Zur Überprüfung der Möglichkeiten des sogenannten Grenzstreuens, also des möglichst gleichmäßigen Ausstreuens von Grenzstreifen, wurden mit dem Streuer C einige Versuche mit nur einer streuenden Scheibe vorgenommen. Wie das Streubild in Bild 24 zeigt, läßt sich das angestrebte Ziel auf diese Weise nicht verwirklichen, vielmehr ist der Mengenabfall nach der Mitte (gegen die andere Scheibe) hin flacher als nach außen. Das gilt nicht nur für Zweischeiben-, sondern auch für alle Einscheibenstreuer, bei denen versucht wird, durch extremes Verdrehen der Aufgaböffnung ein besseres Grenzstreuen zu erzielen. Tatsächlich erreicht man damit bestenfalls eine schmalere Streubahn bei schlechterer Verteilung. Die bis jetzt einzige Möglichkeit für das Grenzstreuen besteht darin, mit stark herabgesetzter Drehzahl und entsprechend kleiner Einstellung so dicht wie möglich am Feldrand entlang zu fahren.

Streuer D

Beim Streuer D handelt es sich um einen Einscheibenstreuer mit „aufgelöster“ Schleuderscheibe und Auslaufzylinder. Die Scheibe besteht aus einem inneren Zuteilring mit daran angeschweißten halbkreisförmigen Streuschaufeln. Der auf der Scheibe aufliegende Auslaufzylinder hat eine aus drei parallelen Vertikalschlitzen bestehende Speisöffnung, welche seitlich durch einen Verschlußzylinder geregelt und als Ganzes nach beiden Seiten hin verdreht werden kann. Der Gesamt-Öffnungswinkel beträgt etwa 90°, der Streuwinkel entsprechend 120—150° je nach Düngerart.

Durch die Versuche mit dem Streuer D sollte, abgesehen von der Drehzahl, der Einfluß der Mengeneinstellung und Korngröße auf die Gleichmäßigkeit, insbesondere auf die Symmetrie des Streubildes, untersucht und die Auswirkung der Zylinder-Verdrehung überprüft werden. Allgemein zeigte der Einscheibenstreuer D, immer unter der Voraussetzung eines ausgeglichenen Mengenverhältnisses beider Streubahnhälften, bei sämtlichen untersuchten Düngersorten und über den gesamten Mengen-Einstellbereich, eine gleichmäßige Düngerverteilung mit Abweichungen zwischen $e = 3-10\%$ und Extremwerten zwischen 10—25%. Das mittlere Streubild in Bild 26 kann dafür als Beispiel dienen. Auf Grund des etwa trapezförmigen, nach außen flach abfallenden Streubildes waren die Überlappungszonen außerordentlich breit und, dadurch bedingt, auch die Streubreiten-Toleranzen ($b_0 \pm 1-2$ m) entsprechend groß.

Ein feststellbarer Einfluß der Scheiben-Drehzahl trat, ebenso wie beim Streuer C, nur bei Korngrößen über 1 mm zu Tage; der Streubreitenrückgang lag ebenfalls bei etwa 2—2,5 m oder etwa 25% im üblichen Drehzahlbereich (400 → 300 U/min) und damit noch innerhalb der Toleranzgrenze. Der Streuer D weist von allen inländischen Fabrikaten die höchste Scheiben-Umfangsgeschwindigkeit ($c_u = 17,6$ m/s) und dadurch auch große Streubreiten (11—13 m bei gekörntem Dünger) auf.

Auch bei diesem Streuer ergaben sich teilweise erhebliche Einflüsse der Korngröße und der Mengeneinstellung auf die Symmetrie des Streubildes und damit sekundär auch auf die Verteilungsgüte und Streubreite. Bild 25 zeigt den Streubreiten-Verlauf einer

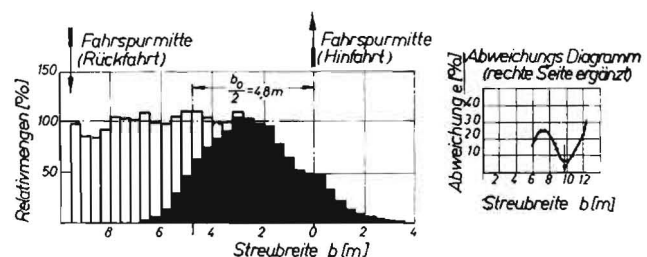


Bild 24: Versuch über das Grenzstreuen mit Streuer C

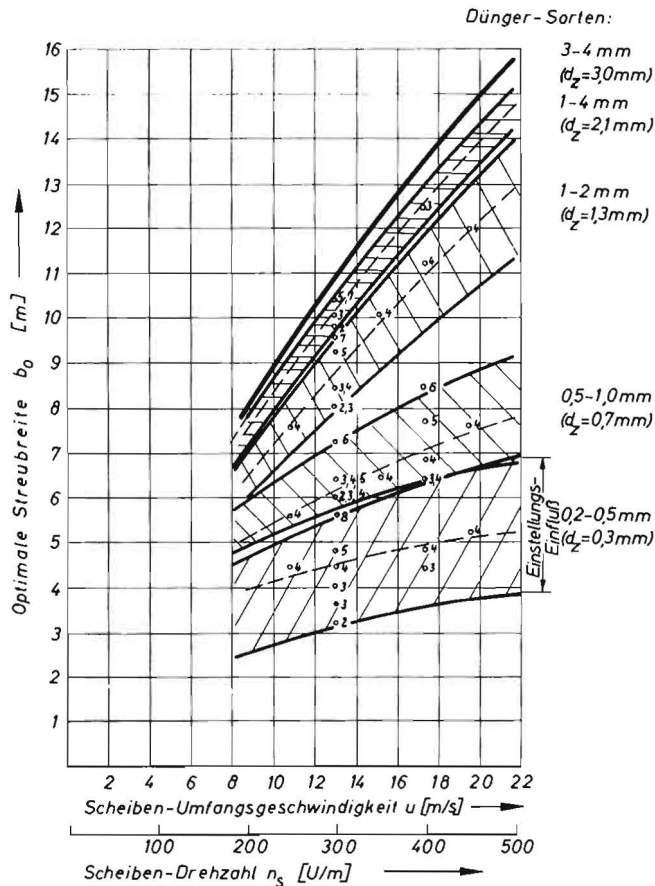


Bild 25: Streubreiten-Verlauf für Streuer D bei verschiedenen Korngrößen

Reihe untersuchter Korngrößen. Bei feineren Körnungen ergibt sich eine starke Abhängigkeit der Streubreite von der Mengeneinstellung. Bei feinem Dünger erhöht sich die Streubreite von kleiner zu großer Einstellung um 2–3 m oder fast auf das Doppelte. Zurückzuführen ist diese Einstellungs-Abhängigkeit auf die Vergrößerung des Öffnungswinkels infolge der seitlichen Regelung sowie auf den bereits in den Modellversuchen festgestellten Mengeneffekt, wonach größere Aufgabemengen auch zu einer Vergrößerung des Mitnahme- und insbesondere Streuwinkels führen.

Düngerkörnung und Mengeneinstellung wirken sich bei Einscheibenstreuern auf die Symmetrie des Streubildes aus. Aus diesem Grunde hat Streuer D einen drehbaren Auslaufzylinder. Bild 26 zeigt die Streubilder dreier Parallelversuche mit gekörntem Dünger, bei denen der Auslaufzylinder in Stufen von 15° entgegen dem Scheibendrehimm verdreht wurde. Wie die Streubilder verdeutlichen, bewirkt eine solche Verdrehung schon Mengenunterschiede zwischen den Streubahnhälften von 24–36% und einen Abweichungsanstieg von $e = 8\%$ auf 25 beziehungsweise 36%. Bei feinerem Dünger (< 1 mm) wird, wie Versuchsreihen zeigten, eine Nachstellung des Zylinders um etwa $5 \rightarrow 10^\circ$ entgegen dem Scheibendrehimm erforderlich. Dagegen ist bei größeren Öffnungsweiten, soweit die Öffnung entgegen der Scheibendrehrichtung erfolgt, eine Zylinderverstellung im allgemeinen nicht erforderlich, da dann die Verlagerung der Aufgabzone durch den bereits erwähnten Mengeneffekt kompensiert wird. Allerdings muß, insbesondere bei Unterteilung der Speiseöffnung in mehrere Einzelschlitze, auf exakte Fertigung sowohl des Öffnungs- wie auch des Verschlußzylinders geachtet werden. Die ersten Versuche mit dem Streuer D ergaben beispielsweise ein stark asymmetrisches Streubild bei kleinen Einstellungen bis 300 kg/ha, der Auslaufzylinder mußte hierbei, um ein ausgeglichenes Seitenverhältnis zu erzielen, bis auf 30° (!) entgegen dem Scheibendrehimm verstellt werden. Dieser Fehler war auf eine ungenügende Übereinstimmung der Öffnungsschlitze im Auslaufzylinder mit den Deckungssegmenten im Verschlußzylinder zurückzuführen, wodurch bei kleinen Einstellungen die drei Schlitze ungleichmäßig freigegeben wurden. Nach Einbau einer vom Hersteller verbesserten Speisevorrichtung ist dieser Fehler nun behoben.

Streuer E

Die Besonderheit des Einscheiben-Anbaustreuers E liegt in seiner Speiseöffnung, die aus einer kippbaren Verschlußmanschette gebildet wird, welche am hinteren Ende von einer Spannfeder nach unten gegen den Kegelpfopf der Streuscheibe gedrückt und an der Vorderseite in zwei Punkten von einer höhenverstellbaren Gabel getragen wird. Der Unterstützungspunkt der Gabel liegt dabei genau in Behältermitte, wodurch die Mittelachse des Streuwinkels mit der Fahrachse zusammenfällt [9]. Durch das angewandte Regelprinzip ergeben sich sehr große Streuwinkel bis über 300° je nach Korngröße. Das führt nach den theoretischen Berechnungen von Versuchsmodellen (s. Teil I) zu sehr ungleichmäßigen, stark gipfförmigen Verteilungsbildern. In Bild 27 sind drei Streubilder des Streuers aufgeführt, wobei die oberen beiden die Verteilung der Originalausführung wiedergeben, das untere die Verteilung nach einer hier vorgenommenen geringfügigen Verbesserung (s. u.). Die Aufgabzone auf die Scheibe in radialer Richtung liegt etwa bei $\frac{r}{4}$, was nach den Erfahrungen der Modellversuche für gekörnten Dünger einen Lagewinkel von etwa 200° bedingt, bei feinem Material noch um rund 10° mehr. Die Konstruktion des Streuers ist aber nur auf einen Lagewinkel von 180° ausgelegt, wodurch sich die in den Versuchen ermittelten stark einseitigen Streubilder mit Mengenunterschieden beider Streubahnhälften von etwa 20% und Abweichungswerten von $e = 20-30\%$ ergeben. Dazu kamen, wie aus den oberen beiden Streubildern in Bild 27 hervorgeht, noch außergewöhnlich starke Verteilungsschwankungen, die durch ein Hin- und Herpendeln der seitlich nicht geführten Verschlußmanschette verursacht wurden. Um dieses zu unterbinden und gleichzeitig das Streubild so weit wie möglich zu verbessern, wurde die Verschlußmanschette durch

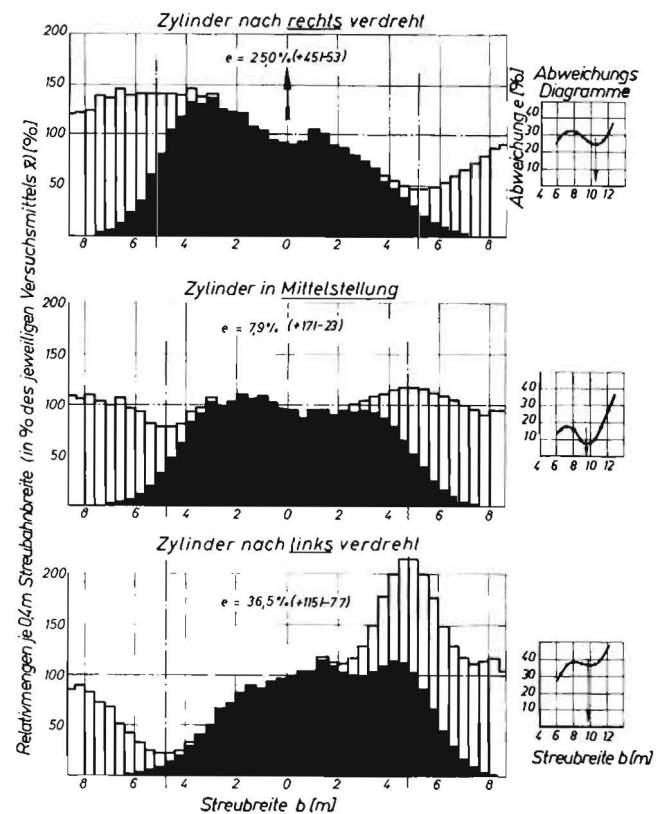


Bild 26: Düngerverteilung beim Streuer D in Abhängigkeit von der Seitenverstellung des Auslaufzylinders

Versuchsdaten:

Zylinderstellung	Mengen		Breite b_0 [m]	Seiten-Verhältnis S_1' [%]
	M_T [kg/min]	M_P [kg/ha]		
-15°	10,7	86	10,4	62:38
0°	11,5	100	9,6	49:51
+15°	10,9	95	9,6	32:68

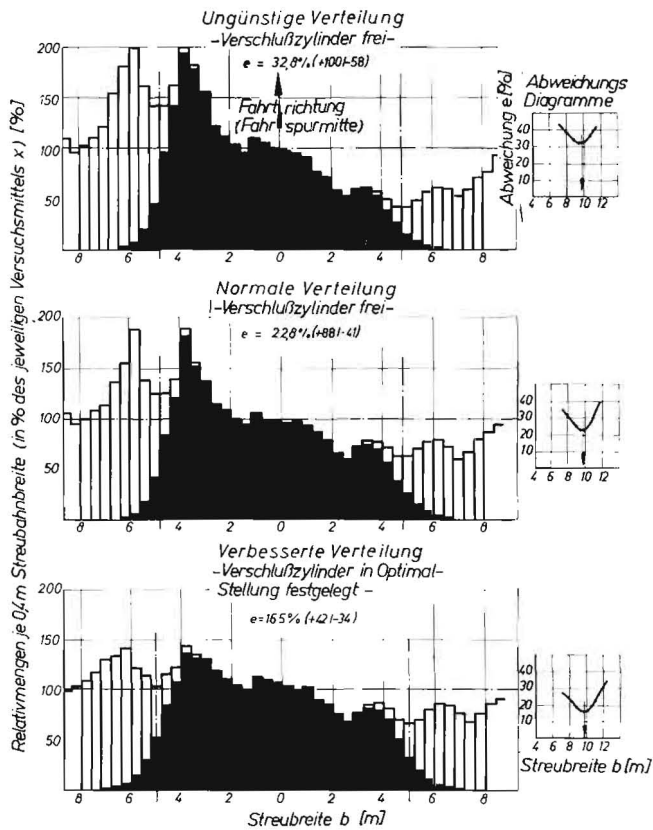


Bild 27: Düngerverteilung bei Streuer E in Originalausführung und nach Vornahme von Korrekturen

einen Anschlag an der hinteren Druckfeder seitlich fixiert, wodurch das Seitenverhältnis mehr ausgeglichen und die Abweichung auf die Hälfte gesenkt werden konnte.

Streuer F

Beim Streuer F handelt es sich um einen lauftradgetriebenen Anhängestreuer mit einem sogenannten Zulauftrichter, also ohne eigentlichen Vorratsbehälter, der aus einer Kalkschleuder heraus entwickelt wurde und sowohl im Streuaggregat wie auch in der Speisevorrichtung von anderen Streuern stark abweichende Lösungen aufweist. Die Maschine besitzt eine nach oben gewölbte, extrem große Schlennderscheibe, die mit zehn in zwei verschiedenen Längen ausgeführten und um etwa 15° gegen Radius zurückgestellten Schaufeln besetzt ist. Die Speisevorrichtung besteht aus zwei getrennten, aus einem großen Auslaufzylinder ausgesparten Einzelöffnungen, die durch einen Verschlusschieber seitlich entgegen dem Scheibendrehung geöffnet werden. Zwischen den beiden Öffnungsschlitzen befindet sich ein geschlossenes Segment mit einer Winkelbreite von $90 - 55^\circ$ (je nach Öffnungsweite); der Gesamt-Öffnungswinkel beträgt etwa 135° . Auslaufzylinder und Streuschauflern sind nicht verstellbar.

Die bei den Versuchen ermittelte Streubreite lag für gekörnten Dünger bei 10 bis 11 m. Bei einer planen Scheibe gleicher Umfangsgeschwindigkeit (9 m/s) und einer Schaufelrückstellung von $+15^\circ$ ergaben die Modellversuche eine Streubreite von 7,5 m für normal gekörnten Dünger; durch die tellerförmige Ausführung der Scheibe (Anstiegswinkel = 9°) wird also die Streubreite um etwa 50% erhöht, was den theoretischen Berechnungen entspricht. Allerdings hat eine tellerförmige Scheibe auch eine größere Staubentwicklung und Windanfälligkeit zur Folge.

In Bild 28 ist die Querverteilung des Streuers F mit gekörntem Dünger bei kleiner und großer Streumenge wiedergegeben. Die Streubilder sind stark einseitig mit Mengenunterschieden von 10 bis 20% zwischen den Streubahnhälften und weisen hohe Gipfelwerte in Verbindung mit einem ausgeprägten mittleren Minimum auf. Die Abweichungswerte lagen bei $e = 30\%$ bei einem Extremwert-Verhältnis von 1:4. Diese ungleichmäßige Verteilung wird verursacht durch die Art und Anordnung der Speiseöffnung. Wäre die Speiseöffnung in Form eines zusammenhängenden Schlitzes ausgeführt, ergäbe sich als Streubereich ein Halbkreisring, dessen

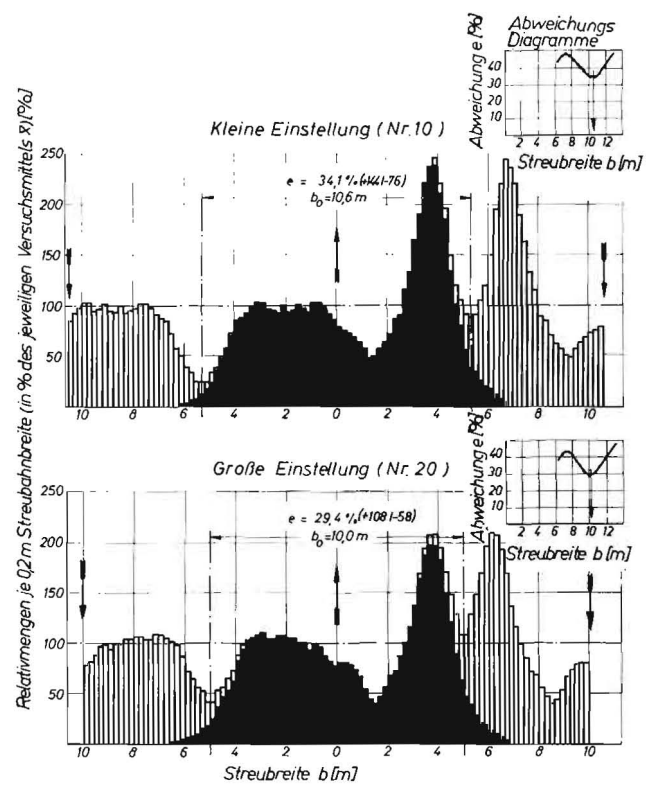


Bild 28: Düngerverteilung des Streuers F mit gekörntem Streugut bei verschiedenen Mengeneinstellungen

Querverteilung bereits deutliche seitliche Gipfel aufweist. Blendet man, wie das beim vorliegenden Streuer der Fall ist, den mittleren Teil des Öffnungswinkels aus, so bleiben im Streubild praktisch nur noch die seitlichen Gipfel erhalten und steigen auf ein Mehrfaches der mittleren Werte an. Um eine Verbesserung der Verteilung zu erzielen, müßten die weit auseinander liegenden Einzelschlitze zu einer einzigen Öffnung zusammengefaßt werden, wodurch sich der Öffnungswinkel von 135° auf etwa 75° reduzieren ließe. Gleichzeitig müßte der Anlaufzylinder drehbar angeordnet und für körnigen Dünger um rund $10-15^\circ$ im Scheibendrehungsinne verstellt werden können, womit sich das ungleiche Seitenverhältnis ausgleichen ließe. Für feinen Dünger (z. B. Kalk) ergibt sich allerdings auf der Scheibe ein gewisser Ausgleich des Düngerstroms.

Zusammenfassung

Wie die Vergleichsuntersuchungen an verschiedenen serienmäßigen Schleuderstreuern ergaben, läßt sich sowohl mit dem Zweiwie auch mit dem Einscheibenprinzip eine gleichmäßige Düngerverteilung bei Schleuderstreuern erzielen. Voraussetzung ist die richtige Anordnung der Speiseöffnung, die sich relativ einfach durch einen Mengenvergleich beider Streubahnhälften festlegen läßt. Durch Modellversuche waren allgemeine Angaben über den Lagewinkel schon früher gewonnen worden.

Die Streubreite erwies sich bei Schleuderstreuern in erster Linie abhängig von der Korngröße, außerdem von der Scheibenumfangsgeschwindigkeit und auch von der Mengeneinstellung. Feiner Dünger unter 0,5 mm mittlerer Korngröße weist im allgemeinen die halbe Streubreite wie gekörnter (über 1,5 mm) auf. Bei gekörntem Material über 1—1,5 mm liegen die Breitenunterschiede im Toleranzbereich für die Einhaltung des Fahrspurabstandes. Feine Düngemittel und größere Einstellungen gaben im allgemeinen auch eine ungleichmäßigere Verteilung. Wie an Beispielen bewiesen wurde, läßt sich der Korngrößen- und Mengeneinfluß aber durch entsprechende konstruktive Lösungen ausgleichen. Innerhalb gekörnten Materials über 1,5 mm mittlerer Korngröße konnten Unterschiede in der Verteilungsgüte nicht mehr festgestellt werden. Die Düngerfeuchte, über die bis jetzt nur Testversuche angestellt wurden, verschlechtert sowohl die Mengen- als auch die Flächenverteilung.

Schrifttum

- [9] KÖHLER, H. J.: Schleuderstreuer-Konstruktionen. Landtechnische Forschung 10 (1960), S. 22—25

Résumé

Wilhelm Hollmann and Albert Mathes: "Examinations on Centrifugal Fertilizer Spreaders."

The authors report on examinations with centrifugal fertilizer spreaders basing on tests with a spreader model and on those with regular machines made by industry. The report begins with a comparison of the testing and evaluating methods applied in fertilizer spreading experiments. As results of the model experiments carried out in an engine room, the effect of the peripheral speed of the disc, of the disc armourings, and of the feeding device on the spreading amount, spreading width and uniformity of distribution could be judged. Thus interesting indications as to the influence of the fertilizer condition were also obtained.

For the experiments with regular fertilizer spreaders a collecting device had been arranged out of doors which permitted the fertilizer distribution of the stationary spreader to be taken up over the whole spreading width. The experiments of comparison showed that a uniform fertilizer distribution can be achieved by machines of the one-disc system and two-disc system as well. Presupposition is of course an appropriate arrangement of the machines, especially with respect to the regulation and location of the feed inlet, a skilfull handling, above all concerning the maintaining of a constant number of revolutions with a properly chosen speed, and the use of suitable fertilizers. An impairment of the results by wind effects had been excluded in the experiments.

Wilhelm Hollmann et Albert Mathes: «Recherches sur les distributeurs centrifuges.»

Les auteurs décrivent les essais effectués avec un prototype de distributeur d'engrais centrifuge et avec des distributeurs fabriqués en série par l'industrie. Ils commencent leur étude par une comparaison des méthodes d'essai et d'interprétation utilisées pour les distributeurs centrifuges. Les essais avec le prototype réalisés dans un hall de machines, ont permis d'évaluer l'influence de la vitesse périphérique des plateaux, de l'armature du plateau et des dispositifs d'alimentation sur la quantité distribuée, la largeur et la régularité de distribution. On a pu tirer de ces essais également des notions intéressantes sur l'influence des caractéristiques de l'engrais distribué.

Pour essayer les distributeurs d'engrais fabriqués en série, on a installé sur le terrain un dispositif de réception qui a permis d'enregistrer les courbes de distribution sur toute la largeur utile des distributeurs entièrement portés. Les essais de comparaison ont montré que l'on peut obtenir une distribution uniforme aussi bien avec les distributeurs à un plateau qu'avec les distributeurs à deux plateaux. Il est toutefois indispensable que la machine soit conçue de façon appropriée, en particulier en ce qui concerne le réglage et la disposition de l'orifice d'alimentation, que la manœuvre soit correcte, en particulier, que le nombre de tours soit maintenu constant et que les passages successifs s'enchaînent bien. On a pris soins pendant les essais que les résultats ne soient pas affectés par l'influence du vent.

Wilhelm Hollmann y Albert Mathes: «Investigaciones en repartidoras centrifugas de abonos.»

Los autores informan sobre investigaciones en repartidoras centrifugas de abonos, hechas en ensayos con un modelo, y de otros hechos con máquinas construidas en serie por la industria. Precede al informe una comparación de los métodos empleados, tanto para los ensayos como para la evaluación. Los ensayos hechos con el modelo que se hicieron en una sala de máquinas, permitieron apreciar la influencia que ejerce la velocidad periférica del disco, la construcción de éste y los dispositivos de alimentación en la cantidad repartida, en el ancho y en la uniformidad de la dispersión. Al mismo tiempo han podido ganarse indicaciones interesantes sobre la influencia que ejercen las condiciones del abono.

Para los ensayos con repartidoras de serie se construyó un dispositivo colector en campo libre que permitía recoger la imagen de dispersión sobre todo el ancho de alcance de la repartidora, montada de manera estacionaria. Ensayos comparativos con repartidoras de un disco y de dos discos demostraron que puede conseguirse el reparto uniforme con las unas y con las otras, siendo sin embargo condición que la construcción de las máquinas sea conveniente, especialmente en cuanto a la disposición de las aberturas de alimentación y su ajuste, que el manejo sea conveniente, especialmente en cuanto a la conservación invariable del número de rotaciones, a la velocidad de marcha acertada, así como el empleo de abonos favorables. Para los ensayos se habían tomado disposiciones que impidiesen la influencia del viento en los resultados.

Hans Bickel:

Der Strömungswiderstand von Dürrfutter in Abhängigkeit von der Strömungsrichtung

Gutsverwaltung und landwirtschaftliche Versuchsanstalt, Liebefeld-Bern

Die in der schweizerischen Praxis angewendeten Heubelüftungsanlagen sind untereinander in der Art und der räumlichen Anordnung des Luftverteilsystems recht verschieden. Dementsprechend weichen auch die in den Anlagen auftretenden Strömungswiderstände unter sonst gleichen Bedingungen voneinander ab. Da die Kenntnis des Strömungswiderstandes der Anlagen, und zwar sowohl der Anlagen im engeren Sinn als auch des in sie eingebrachten Dürrfutters eine wichtige Voraussetzung für die zweckmäßigste Anlegung des Luftverteilsystems und die Wahl des Lüfters ist, stellt sich die Frage, ob die bisherigen Kenntnisse über diesen Widerstand ausreichen. Diese Kenntnisse stützen sich im wesentlichen auf Ergebnisse amerikanischer und deutscher Arbeiten, die wie früher in dieser Zeitschrift zusammenfassend beleuchtet haben [1]. In jenen Arbeiten wurden Modellanlagen verwendet, bei denen die Luft zur Hauptsache nur senkrecht zur Heuschichtung strömen konnte. Diese Bedingungen sind bei den meisten Anlagen der Praxis nicht erfüllt. Hier strömt die Luft teilweise auch parallel zur Heuschichtung. Da zu vermuten war, daß der Strömungswiderstand durch die Strömungsrichtung im lagernden Heu stark beeinflußt wird, stellte sich die Aufgabe, das zur Zeit vorliegende Untersuchungsmaterial durch neue Versuche zu erweitern.

Zur Lösung der gestellten Aufgabe führten wir in den Jahren 1958/59 Versuche mit Großmodellen verschiedenartiger Heubelüftungssysteme durch. Es zeigte sich jedoch bald, daß schlüssige Ergebnisse nur durch Messungen an Kleinmodellen erwartet werden konnten. Solche Versuche wurden alsdann 1959/60 durchgeführt. Sämtliche Versuche mit den Groß- und Kleinmodellen sollen später in einer besonderen Arbeit eingehend beschrieben

werden. An dieser Stelle seien in gekürzter Form lediglich die Ergebnisse der Kleinmodellversuche vorweggenommen.

Versuche und Ergebnisse

Aus einem Heustock wurden zweimal je zwei zur gleichen Schicht gehörende Heuwürfel von 50 cm Kantenlänge herausgeschnitten. Diese Würfel wurden auf vier Seiten runderum luftdicht vergipst und somit luftdicht eingewandert¹⁾. Das erdangewanderte Heu wurde zur Messung des Strömungswiderstandes in der in Bild 1 und 2 dargestellten Modellanlage verwendet. Das Einwandern wurde so vorgenommen, daß bei zwei Würfeln die Luft nur senkrecht (Vertikalbelüftung), bei den beiden anderen Würfeln nur parallel (Horizontalbelüftung) zur natürlichen Schicht des Heus strömen konnte. Zudem konnte das Flächenverhältnis f/F_s beziehungsweise f/F_0 verändert werden. Es bedeuten f = Fläche der Luftübertrittsstelle von der Anlage zum Heu, F_s = Fläche des Dürrfutterwürfels senkrecht zur Luftströmung und F_0 = Fläche des Luftkanalquerschnittes.

Zur Darstellung der Ergebnisse wurde von der Widerstandsgleichung für feste Körper in einer Strömung, erweitert nach dem Vorschlag von GUILLOU [2], ausgegangen

$$p_D = c' \cdot \text{Re}^n \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^3}{2}$$

wobei

$$c' \cdot \text{Re}^n = \zeta$$

¹⁾ Es handelte sich um langes, lufttrockenes und blattreiches Naturwiesenhheu, hauptsächlich bestehend aus italienischem Raygras, Weißklee und Löwenzahn (Gräser im Rispenstadium bzw. fünfköpfig, mit Kubikmetergewichten (spez. Gewicht) zwischen 74 und 92 kg/m³)