

## Untersuchungen an Schleuder-Düngerstreuern

Institut für Landtechnik, Berlin

In den Jahren 1958 bis 1961 wurden eingehende Untersuchungen über Aufbau, Arbeitsweise und Düngerverteilung von Schleuderstreuern durchgeführt. Die erarbeiteten Ergebnisse wurden von HOLLMANN zu einer wissenschaftlichen Arbeit zusammengefaßt [1]. Die folgende Abhandlung geht im wesentlichen auf diese Arbeit zurück, wobei versucht werden soll, in knapper Form die sowohl für den Konstrukteur als auch den Benutzer solcher Maschinen interessantesten Resultate zu erfassen und darzustellen. Einige theoretische Überlegungen und eine kritische Gegenüberstellung der Bewertungsmethoden für Düngerstreuer sollen zum Verständnis der Zusammenhänge und zur Begründung der verwendeten Auswertungsmethode beitragen. Konstruktive Details und Hinweise auf die Mechanik der Schleuderstreuer wurden von MARKS [2; 3] bereits veröffentlicht. In die Untersuchungen sind ausschließlich horizontale Schleuderscheiben ohne Windschutz einbezogen — ein Streuer mit Vertikal-Streuwerk wurde nur vergleichsweise getestet.

Systematische Streuveruche mit einem Düngerstreuer-Modell im natürlichen Maßstab 1:1 gaben Aufschluß über den Einfluß der wichtigsten Bauelemente, und zwar über die

Schleuderscheibe (Schaufeln, Drehzahl, Durchmesser) und die Zuführungsvorrichtungen einschließlich Rührwerk (Art, Größe und Anordnung zur Scheibe).

Weitere Aggregate wie Vorratsbehälter, Antriebs Elemente, Blenden und andere Zusatzeinrichtungen wurden nur am Rande mit untersucht. Die Versuche gestatteten zugleich einen Düngemittelvergleich (Art, Körnung, Brauchbarkeit für Schleuderstreuer). Im Anschluß an die mit dem Modell angestellten Versuche folgten solche mit serienmäßigen Düngerstreuern, wobei sich die Übereinstimmung der beiden Versuchsreihen überprüfen ließ.

### Die Frage der Versuchsauswertung

Für die Charakterisierung der Düngerverteilung von Schleuderstreuern müssen aus verschiedenen Gründen andere Auswertungsmethoden und Wertzahlen verwendet werden als bei Breitstreuern. Abgesehen von der etwa fünffachen Streubreite und damit auch einem fünfmal so großen Versuchsumfang von Schleuder- gegenüber Breitstreuern werden sie immer mit seitlicher Überlappung der Streubahnen gefahren. Daher muß bei der Auswertung zuerst die Streubreite mit der günstigsten Verteilung ermittelt und sodann diese Verteilung in geeigneter Weise bewertet werden. Hierfür stehen eine Reihe von Wertzahlen zur Verfügung, deren Eignung und Anwendbarkeit zu untersuchen war. Gangbare Berechnungsverfahren mußten erst entwickelt werden.

Um die Streubilder verschiedener Streuer, Einstellungen oder Düngemittel untereinander vergleichen zu können, muß die gewählte Wertzahl unter gleichwertigen Bedingungen reproduzierbare Ergebnisse liefern, sie muß aber auch versuchstechnisch brauchbar, das heißt nicht zu aufwendig und möglichst anschaulich sein. Im vorliegenden Fall handelt es sich nicht um sogenannte zufällige Häufigkeitsverteilungen, sondern um fast ausschließlich systematisch bedingte Mengenverteilungen über eine Fläche. Die Wertzahlen stellen hier keine Fehlergrößen, sondern maschinen- oder düngerbedingte Gütemaße dar, beinhalten also eine Aussage über das Verhältnis der erreichten zur angestrebten Arbeitsgüte.

Folgende Wertzahlen wurden auf ihre Eignung untersucht:

- die „Variationsbreite  $v$ “ (Extremwert-Methode);
- die „durchschnittliche Abweichung  $e$ “ (lineare Methode);
- die „mittlere Abweichung  $s$ “ (quadratische Methode) und
- die „Ertragswertzahl  $w$ “ (physiologische Methode).

#### Variationsbreite

Als Variationsbreite  $v$  bezeichnet man allgemein die Differenz zwischen dem größten und kleinsten Versuchswert eines Ver-

suches. Um einen Vergleich verschiedener Streuveruche zu ermöglichen, werden die erhaltenen Wertzahlen in Form ihres Variabilitätskoeffizienten, also unter Beziehung auf das zugehörige Versuchsmittel, ausgedrückt durch

$$v = \frac{x_{max} - x_{min}}{\bar{x}}, \quad (1)$$

wobei  $x_{max}$ ;  $x_{min}$  die Extremwerte nach oben und unten und  $\bar{x}$  den Mittelwert des Versuches bedeuten.

Die Variationsbreite läßt sich leicht und schnell ermitteln, hat den Vorteil großer Anschaulichkeit und gestattet eine einfache Beurteilung des Versuchsmaterials, so daß sie bei Düngerstreuer-Prüfungen häufig angewandt wurde. Allerdings stellen nach WERER [4] zwölf Versuchswerte die obere Grenze für die Anwendbarkeit der Extremwert-Methode dar. Werden Breitstreuer-Standversuche mit nicht mehr als zehn Auffangkästen vorgenommen, kann die Variationsbreite durchaus sinnvoll und zweckmäßig sein, bei Schleuderstreuer-Versuchen mit 20 bis 50 Versuchswerten ist sie dagegen nicht mehr anwendbar.

#### Durchschnittliche Abweichung

Unter der durchschnittlichen Abweichung  $e$  eines Streuveruches versteht man allgemein die absolute, das heißt vorzeichenfreie Summe der linearen Einzelabweichungen, bezogen auf die Anzahl der Versuchswerte, also

$$e = \frac{\sum |x - \bar{x}|}{N}, \quad (2)$$

wobei  $x$  die Versuchswerte,

$\bar{x}$  der Mittelwert des Versuches =  $\frac{\sum x}{N}$  und

$N$  die Anzahl der Versuchsglieder sind.

$N$  stellt die tatsächliche Anzahl der Versuchsglieder dar, die sich bei Schleuderstreuern durch die seitliche Überlappung auf  $n = b'/a$  reduziert, wobei  $b'$  die gewählte Streubreite und  $a$  die Breite der Auffangelemente (in m) darstellt. Daraus ergibt sich folgende Grundformel für  $e$  bei Schleuderstreuer-Versuchen (in Form des Variabilitätskoeffizienten):

$$e = \frac{\sum |x - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}}. \quad (3)$$

Für die Bedürfnisse der Streubild-Auswertung ist die obige Grundformel jedoch wenig geeignet, und es wurden hierfür zwei Berechnungsformeln entwickelt, die je nach Art des Versuchsmaterials und der Auswertungsaufgabe angewendet werden:

$$e = \frac{2 \sum \left( \frac{x}{\bar{x}} - 1 \right)}{n} \quad \text{für } \frac{x}{\bar{x}} > 1 \quad (4)$$

$$e = 2 \sum \left( \frac{x}{\sum x} - \frac{1}{n} \right) \quad \text{für } \frac{x}{\sum x} > \frac{1}{n} \quad (5)$$

In beiden Fällen werden nur die positiven Abweichungen, das heißt die Werte, bei denen  $x > \bar{x}$  ist, berücksichtigt und verdoppelt. Dieser Rechenvorteil beruht darauf, daß bei der durchschnittlichen Abweichung die Summe der positiven gleich derjenigen der negativen Einzelabweichungen ist. Gl. (4) wird zweckmäßigerweise dann angewendet, wenn die definitive Streubreite und damit der Mittelwert  $\bar{x}$  bekannt oder, wie beispielsweise bei Breitstreuern, vorgegeben ist. Muß man dagegen die optimale Streubreite erst ermitteln, was durch stufenweise fortschreitende Berechnung des  $e$ -Wertes für eine große Anzahl (10 bis 20) aufeinander folgender Breiten geschieht, ist es wesentlich zweckmäßiger, ein einziges

Mal die Prozentmengen  $\frac{x}{\sum x}$  zu berechnen und daraus die Differenzen zu dem Subtraktionsglied  $1/n$ , das nun aus einer Tabelle ablesen kann, zu summieren.

Die durchschnittliche Abweichung ist für die Streuversuchs-Auswertung unter verschiedenen Bezeichnungen seit langem eingeführt und weist hierfür auch eine Reihe von Vorteilen auf: sie ist verhältnismäßig einfach und anschaulich und bei Versuchen mit nicht zu vielen Einzelwerten auch gut reproduzierbar. Insbesondere ist sie bei der Anwendung eines geeigneten Verfahrens relativ einfach zu berechnen und ermöglicht eine hohe Auswertungsleistung, was sie besonders für Schleuderstreuer-Versuche geeignet erscheinen läßt. Andererseits weist die durchschnittliche Abweichung auf Grund der linearen Abweichungsbewertung und der Indifferenz gegenüber positiven und negativen Abweichungen auch einige Nachteile auf, die ihre Anwendbarkeit beschränken und stets den zusätzlichen Vergleich der tatsächlich aufgenommenen Streubilder erfordern. Vor allem werden die Verteilungsunterschiede bei einer größeren Anzahl von Einzelwerten (über 50) leicht nivelliert, das heißt viele relativ kleine Abweichungen ergeben denselben  $e$ -Wert wie wenige große Extremwerte, die in ihrer Auswirkung jedoch wesentlich ungünstiger sind.

#### Mittlere Abweichung

In ihrer allgemeinen Form ist die mittlere Abweichung definiert durch die Quadratwurzel aus der Summe der Abweichungsquadrate, bezogen auf die Anzahl der Freiheitsgrade

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (6)$$

oder der Versuchswerte

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}} \quad (7)$$

Die Verwendung von  $N$  als Bezugsgröße für die mittlere Abweichung ist zwar weniger gebräuchlich, sie ist aber, wie LORENZ [5] begründet, ebenso richtig, andererseits ergeben sich dadurch außerordentliche Vereinfachungsmöglichkeiten für die Berechnung, so daß im folgenden in dieser Form ausgegangen wird. Im übrigen sind die daraus resultierenden Unterschiede bei dem vorliegenden Versuchsmaterial ( $N \approx 50$ ) minimal (Fehler  $\approx 1\%$  von  $s$ ), so daß man in Fällen, bei denen es sich nicht um Häufigkeits-, sondern um Flächenverteilungen handelt,  $s$  immer auf die Anzahl der Versuchsglieder beziehen kann.

Aus der Grundformel (Variabilitätskoeffizient)

$$s = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} \quad (8)$$

wurden für die praktische Auswertung ebenfalls zwei Anwendungsformeln entwickelt:

$$s = \frac{\sum x^2}{\bar{x} \sum x} - 1 \quad (9)$$

$$s = \frac{n \sum x^2}{(\sum x)^2} - 1 \quad (10)$$

Die mittlere Abweichung beruht auf der Quadrierung der Einzelabweichungen und ist daher überall da angebracht, wo entweder sehr viele Einzelwerte (über 50) oder charakteristische Extremwerte vorliegen. Für „Feldverteilungs-Versuche“, bei denen der Dünger über einen gewissen Streubahnabschnitt in natürlicher Lagerung aufgenommen wurde, erwies die mittlere Abweichung eine gute Eignung, und der Auswertungsaufwand ist dabei nicht wesentlich größer als bei Anwendung der linearen Methode. Auch für Schleuderstreuer-Versuche ist die quadratische Methode grundsätzlich am besten geeignet, da sie besser als die lineare Methode die tatsächlichen Ertragsauswirkungen wiederzugeben vermag. Jedoch ist, bedingt durch die jeweils erforderliche Breiten-Ermittlung, der Auswertungsaufwand hierbei außerordentlich hoch, nach unseren Erfahrungen für die lineare Methode etwa 1 Stunde je Versuch, für die quadratische Methode das dreifache und für die — im folgenden noch behandelte — physiologische Methode etwa 1 Tag je Versuch. Ein Vergleich der Methoden sollte daher zeigen, ob nicht auf Grund der einfacheren Verhältnisse auch die lineare Abweichung gleichwertige Ergebnisse zu liefern vermag.

#### Vergleich von durchschnittlicher und mittlerer Abweichung

Bei Bildung des Quotienten aus den beiden Wertzahlen

$$\frac{e}{s} = \frac{\sum |x - \bar{x}|}{\sqrt{n \sum (x - \bar{x})^2}} \quad (11)$$

gilt die Gesetzmäßigkeit  $\frac{e}{s} \leq 1$ , das Verhältnis beider Wertzahlen beträgt also im Höchsthalle 1; dieser Fall ist dann gegeben, wenn alle Einzelabweichungen gleich groß sind. In jedem anderen Falle ist die durchschnittliche Abweichung kleiner als die mittlere, und zwar abhängig vom Extremwert-Verhältnis. Wenn alle Wertstufen etwa gleich wahrscheinlich sind beziehungsweise gleich oft vorkommen, beträgt das Verhältnis  $\frac{e}{s} = 0,87$  ( $e : s = 1 : 1,15$ ).

Diese Verteilungsform ist bei Schleuderstreuern die Regel, oft liegt sie sogar noch „günstiger“, das heißt, sie weist relativ kleinere Extremwerte auf, so daß man allgemein ein Verhältnis von  $e : s = 1 : 1,1$  unterstellen kann. Die mittlere Abweichung unterscheidet sich bei Schleuderstreuer-Versuchen also nur unwesentlich von der durchschnittlichen, beide Methoden sind für diesen Fall gleichwertig in der Aussage.

Dazu soll nachfolgend noch ein durchgerechnetes Versuchsbeispiel graphisch und zahlenmäßig wiedergegeben werden. In Bild 1 ist links das Streubild eingezeichnet, auf der rechten Seite sind die Abweichungskurven der verschiedenen Wertzahlen wiedergegeben. Zum Vergleich wurde auch die Ertragswertzahl mit einbezogen, in der Darstellung (unterbrochener Linienzug) allerdings im Verhältnis 1:10 überhöht. Wie daraus hervorgeht, verläuft die durchschnittliche Abweichung über die ganze Breite immer dicht unterhalb der mittleren Abweichung, die optimale Streubreite ist nach beiden Methoden dieselbe (auch nach der physiologischen Abweichungsbewertung). Eine große Anzahl weiterer mit beiden Wertzahlen ausgewerteter Streuversuche ergab dasselbe Bild.

#### Ertragswertzahl

Als Ertragswertzahl  $w$  bezeichnet man das prozentuale Verhältnis des Durchschnitts aus der Summe der Einzelerträge zum Ertrag bei durchschnittlicher Düngermenge oder Vollertrag, mit anderen Worten, das Ertragsverhältnis von ungleichmäßiger zu gleichmäßiger Verteilung. Den einzelnen Versuchswerten  $x$  werden hierbei Relativerträge  $y$  (in Prozent des Höchstwertes  $A$ ) nach dem MITSCHERLICHschen Wirkungsgesetz zugeordnet:

$$y = A (1 - 10^{-cx}) \quad (12)$$

wobei  $A$  den Höchstwert (= 100) und  $c$  den konstanten Wirkungsfaktor (für  $N = 0,2$ ;  $K_2O = 0,4$ ;  $P_2O_5 = 0,6$ ) bedeuten. Diese Methode wurde von HEYDE [6] ausgearbeitet, mit dem Ziel, die Streuarbeit von Düngerstreuern möglichst exakt durch die zu erwartende Ertragsminderung auszudrücken und so mit Hilfe eines physiologischen Maßstabes den Unweg über die in keinerlei Beziehung zum Ertragsverhalten stehenden mechanischen Wertzahlen zu vermeiden.

Bei der Berechnung der Ertragswertzahl  $w$  werden zuerst die Ertragszahlen  $y$  über den gesamten interessierenden Wertebereich ermittelt und in sogenannten Ertragstabellen niedergelegt.

Danach werden die Versuchswerte durch die Ertragswerte ersetzt und ihr Durchschnitt ins Verhältnis zum Ertragswert des Mittelwertes gesetzt. Bei Feldverteilungs-Versuchen, ebenso bei Versuchen mit festliegenden Streubreiten, bieten sich auf diese Weise verfahrenstechnisch gewisse Vorteile, bei Schleuderstreuern ergibt sich jedoch infolge der Überlappung, bei der mit der Streubreite auch die Streumengen wechseln, ein untragbar hoher Auswertungsaufwand.

Abgesehen davon liegen aber in der Methode selbst durch Nichtberücksichtigung wichtiger Einflüsse wie des Nährstoffgehaltes im Boden und der Schädigung durch Überdüngung, um nur die wichtigsten zu nennen, gravierende Fehlerquellen, so daß die ermittelten Ergebnisse oft im Gegensatz zu den tatsächlichen Auswirkungen stehen. Bei Berechnung mit Hilfe der Ertragswertzahl ergibt sich für Phosphat-Dünger, gleiche Verteilung vorausgesetzt, der höchste, für Kali ein mittlerer und für Stickstoff-Dünger der geringste Ertragsabfall. Das ist bedingt durch die Wirkungsfaktoren  $c$ , steht aber im Widerspruch zu jeder Erfahrung und liegt daran, daß die Bodengehalte generell vernachlässigt werden, die bei  $P_2O_5$ - und  $K_2O$ - um Größenordnungen höher als bei N-Düngern liegen. Weiterhin stellen sich, insbesondere wenn man mit der Düngergabe an die obere zulässige Grenze herangeht, schon bei geringer lokaler Überdosierung Depressions-

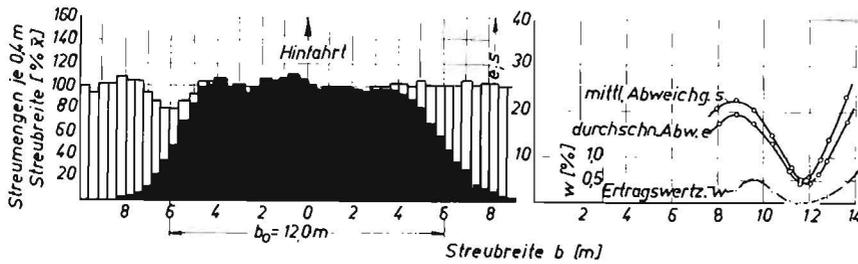


Bild 1: Vergleich der Abweichungskurve verschiedener Wertzahlen

schäden ein, vor allem bei Halmfrüchten, welche die Ertragsminderung gegenüber der Ertragswertzahl  $w$  um ein Mehrfaches überschreiten. Die Ertragswertzahl hat zwar im allgemeinen die gleiche Tendenz wie die beiden anderen Wertzahlen (s. Bild 1), insbesondere zeigt sie die gleiche optimale Streubreite, ansonsten liegt sie mit ihren Werten jedoch so dicht an der Interpolations- und Versuchsfehlergrenze, daß sie für exakte Vergleiche nicht anwendbar erscheint.

**Auswertungsverfahren**

Bei Versuchen mit Schleuderstreuern müssen zwei voneinander abhängige Größen ermittelt werden, nämlich die Streubreite und die Abweichung, dazu auch noch der Abweichungsverlauf über die Breite, aus dem sich Rückschlüsse über die Toleranz der Maschine gegenüber Fehlern in der Fahrweise ziehen lassen.

Unter Streubreite ist die „optimale Streubreite“, also die Breite mit der geringsten Abweichung vom Mittelwert, zu verstehen. Die hierbei festgestellte Abweichung gilt als Gütemaß für den betreffenden Versuch.

Bisher wurde bei den in den Prüfungsstationen verschiedener Länder durchgeführten Schleuderstreuer-Versuchen die Streubreite nur auf Grund von Schätzungen angenommen, die Streubilder wurden nur in Form der Absolutmengen- oder Prozentmengen-Diagramme wiedergegeben, immer aber ohne Überlappung, so daß hieraus nur ein sehr unvollkommener Eindruck über die Verteilungsgüte zu gewinnen war. Die britische NIAE beschäftigte sich eingehender mit diesem Problem. Nachdem dortige Versuche, die Breiten-Auswertung mit Hilfe von Elektronenrechnern vorzunehmen, an dem zu großen Programmier-Aufwand gescheitert waren, wurde eine visuelle Methode entwickelt, die mit Hilfe von auf Wellglas gelegten Kunststoffstangen verschiedener Färbung eine variable Wiedergabe des Streubildes erreicht und so mit mehr oder weniger Genauigkeit die günstigste Streubreite ermittelt [7], allerdings keine Angaben über den Abweichungsverlauf in Abhängigkeit von der Breite ermöglicht.

Aus diesen Gründen wurde von HOLLMANN [1] ein Verfahren entwickelt, mit dem man die optimale Streubreite, die minimale Abweichung und den Abweichungsverlauf ohne allzu großen Arbeitsaufwand rechnerisch exakt ermitteln kann. Dieses Verfahren beruht auf dem einfachen Grundgedanken, daß man die Abweichung für sämtliche in Frage kommenden oder interessierenden Streubreiten-Stufen einzeln errechnet. Die graphische Darstellung ergibt eine „Abweichungskurve“, aus der die gesuchte optimale Streubreite bei minimaler Abweichung hervorgeht. Zugleich ist der Anstieg der Kurve ein Maß für die Toleranz des Streuers. Flacher Anstieg besagt, daß Abweichungen von der optimalen Streubreite nur eine geringfügige Verteilungs-Verschlechterung nach sich ziehen, was stets anzustreben ist, während ein steiler Anstieg auf eine sehr geringe Breiten-Toleranz und damit ein hohes Fehlerrisiko bei falscher Fahrweise hinweist. Wegen der Einzelheiten des Berechnungsganges sei auf die Veröffentlichung der wissenschaftlichen Arbeit verwiesen [1].

**Zusammenhänge zwischen Verteilung und Ertrag**

Obwohl exakte Angaben über den Einfluß der Verteilung auf den Ertrag nur durch Düngungsversuche gemacht werden können, sollen durch eine rechnerische Untersuchung über diese Zusammenhänge Anhaltspunkte herausgearbeitet werden. Als Wertzahl für die Abweichungen von der gewünschten Düngermenge wird in diesem Fall die durchschnittliche Abweichung  $e$  verwendet.

Eine bestimmte durchschnittliche Abweichung kann auf sehr verschiedenartige Verteilungen der Einzelwerte zurückgehen. Im

äußersten Fall kann die Abweichung nur durch zwei Extremwerte verursacht sein. Dieser Fall sei als „extreme Verteilung“ bezeichnet. Es können aber auch sämtliche Abweichungen gleich groß sein, wobei die geringsten Ertragsminderungen zu erwarten sind. Dieser Fall ist als „optimale Verteilung“ zu verstehen. Schließlich können alle Wertgrößen gleich oft auftreten, ein Fall, der bei Düngerstreuern die Regel ist und als „gleichförmige Verteilung“ bezeichnet wird. Wenn man die Einzelwerte aus der Querverteilung bei Düngerstreuerexperimenten in ansteigender Reihenfolge über die Breite anordnet, erhält man für die gebräuchlichen Düngerstreuer die in Bild 2 wiedergegebenen Diagramme. Diese beziehen sich auf Versuche mit gleicher durchschnittlicher Abweichung. Wie daraus zu ersehen ist, weisen sämtliche Düngerstreuer in ihrer Querverteilung eine Verteilungsform auf, die etwa der oben beschriebenen gleichförmigen Verteilung entspricht, so daß man diese als Standard-Verteilung für einen Abweichungs-Ertrags-Vergleich heranziehen kann.

Wichtigste Voraussetzung für eine Berechnung der Ertragsabhängigkeit von der Verteilung ist eine Erkenntnis des Ertragsverhaltens. Untersucht man die Verhältnisse in der Praxis, so zeigt sich, daß bei den meisten Blattfrüchten der Ertrag in Abhängigkeit von der Düngergabe etwa der MITSCHERLICHschen Ertragsfunktion entspricht. Dagegen ergibt sich bei Halmfrüchten auf Grund der außerordentlich starken Depressionsschäden bei Überdüngung infolge Lagerens ein starker Ertragsabfall, der im einzelnen schwer vorauszusagen ist. Die Einzelheiten sind ausführlich in der einleitend erwähnten Arbeit von HOLLMANN [1] dargestellt und können dort verglichen werden. In Tafel 1 sind auszugsweise die errechneten Ertragsminderungen für die Abweichungsstufen von  $e = 5\%$  bis  $30\%$ , einmal bei schädigungsfreiem Ertragsverlauf entsprechend dem Wirkungsgesetz, zum andern bei depressivem Ertragsverlauf wiedergegeben. In der ersten Spalte sind jeweils die Ertragsausfälle bei „gleichförmiger

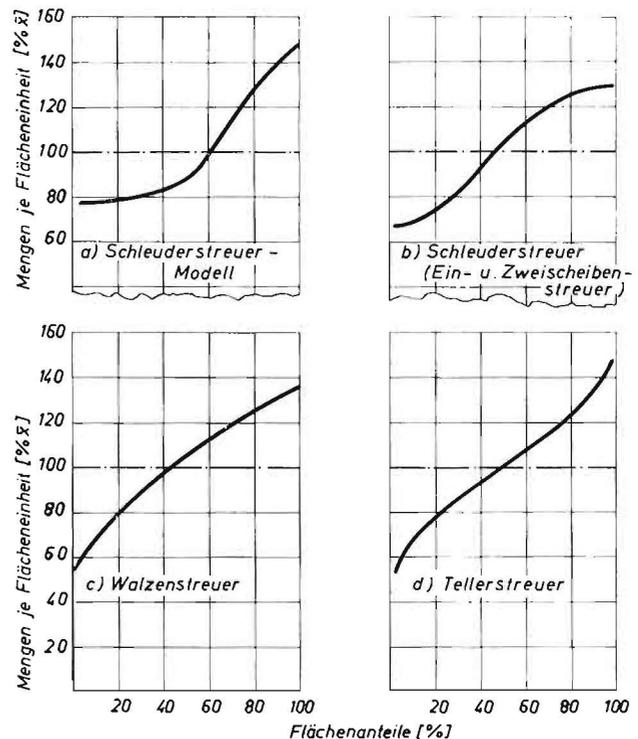


Bild 2: Vergleich der Wertverteilung verschiedener Streuertypen bei gleicher durchschnittlicher Abweichung ( $e = 20\%$ )

**Tafel 1: Errechnete Ertragsminderungen bei schädigungsfreiem und depressivem Ertragsverlauf**

Durchschnittliche Abweichung $e$ von $\bar{x}$	Schädigungsfreier Ertragsverlauf (Hypothese A) <sup>1)</sup>			Depressiver Ertragsverlauf (Hypothese B) <sup>1)</sup>		
	„Gleichförmige“ Verteilung	„Optimale“ Verteilung	„Extreme“ Verteilung	„Gleichförmige“ Verteilung	„Optimale“ Verteilung	„Extreme“ Verteilung
[%]	[%]			[%]		
5	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3
10	0,2	0,1	0,4	0,5	0,5	4,0
15	0,4	0,3	0,7	1,0	0,7	7,8
20	0,8	0,6	1,4	3,0	1,0	11,5
25	1,2	0,9	2,3	5,4	1,3	15,2
30	1,7	1,3	3,3	8,6	1,6	17,5

<sup>1)</sup> Vgl. Bild 3

Verteilung“, wie sie bei Düngerstreuern die Regel ist (s. Bild 2) aufgeführt, in den folgenden beiden Spalten die Ausfälle bei „optimaler“ und „extremer Werteverteilung“. Wichtigstes Ergebnis dieses Abweichungs-Ertrags-Vergleichs sind die außerordentlich großen Schwankungen, denen die Ertragsauswirkung, gleiche Abweichung vorausgesetzt, unter verschiedenen praktischen Bedingungen unterliegt. Bei einer Abweichung von  $e = 20\%$  kann die Ertragsminderung zwischen 0,6% bis 11,5% betragen, bei  $e = 30\%$  zwischen 1,3% bis 17,5%. Daher sind allgemeine Schlüsse von der Größe der Abweichung auf das Maß der Ertragsauswirkung nicht möglich, jedoch lassen sich aus dem errechneten Zahlenmaterial Aussagen über das Fehlerrisiko und die zulässigen Toleranzen machen.

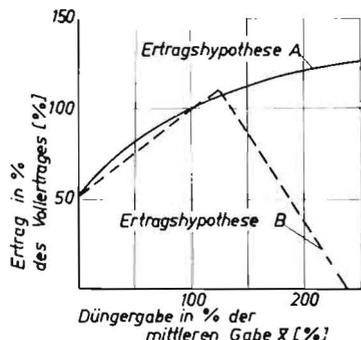
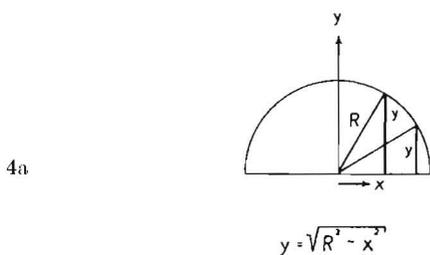
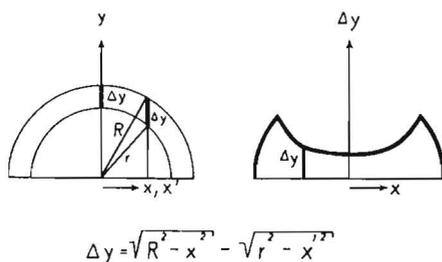


Bild 3: Hypothetischer Ertragsverlauf in Abhängigkeit von der N-Düngergabe für Blatt-(A) und Halmfrüchte (B)



4a



4b

$$\Delta y = \sqrt{R^2 - x^2} - \sqrt{r^2 - x^2}$$

Bild 4: Streumenge  $y$  beziehungsweise  $\Delta y$  bei der theoretischen Annahme, daß der Streuer einen Halbkreis (Bild 4a) oder einen Halbkreisring (Bild 4b) gleichmäßig bestreut

Unter gleichbleibenden Bedingungen ergeben steigende Abweichungen grundsätzlich zurückgehende Erträge. Der Ertragsrückgang liegt bei Blattfrüchten, Futter- und ähnlichen Pflanzen im Mittel unter 1% bei einer Durchschnitts-Abweichung von 20% und unter 2% bei 30% iger Abweichung. Demgegenüber muß man bei Halmfrüchten schon mit einer 3%igen Korn-Ertragsminderung für 20% ige und mit etwa 10%iger Minderung für 30% Abweichung im Mittel rechnen. Unter Einbeziehung extremer Verteilungsformen ergeben sich noch wesentlich stärkere Ertragsausfälle.

Während für Abweichungen unter  $e = 10\%$  auch bei ungünstigen Bedingungen nur minimale Ertragsrückgänge auftreten können, steigt das Ausfallrisiko ab  $e = 20\%$  erheblich an. Aus diesem Grunde wurden die Grenzwerte für einwandfreie, gute Düngerverteilung bei  $e = 10\%$  und für noch tragbare Düngerverteilung bei  $e = 20\%$  festgelegt. Darüber hinausgehende Abweichungen müssen hiernach als eine nicht mehr tragbare Verteilung angesehen werden. Diese Werte sind, wie die späteren Ausführungen über die Verteilung von Schleuderstreuern zeigen werden, von der technischen Seite her auch ohne weiteres zu erzielen.

Wie weiter aus Tafel 1 hervorgeht, steigen die Ertragsminderungen nicht linear mit der Abweichung, sondern progressiv an, zum Beispiel bewirkt ein Abweichungsanstieg von 0% auf 15% einen Ertragsrückgang um 1%, ein Abweichungsanstieg von  $e = 15\%$  auf 30% schon einen Rückgang um 7,5% des Vollertrages. Daher muß bei Schleuderstreuern sowohl hinsichtlich der Konstruktion als auch der Arbeitsweise darauf geachtet werden, daß grobe Verteilungsfehler, die hohe Abweichungen zur Folge haben, auf alle Fälle vermieden werden, während Unterscheidungen im Bereich kleiner Abweichungen uninteressant sind.

#### Modellversuche

Geht man von der Annahme aus, daß ein auf der Stelle stehender Schleuderstreuer einen Halbkreis voll ausstreut, so ergäbe sich, sobald er sich in Bewegung setzt, eine Querverteilung nach der Formel  $y = \sqrt{R^2 - x^2}$  (Bild 4a). Dabei bezeichnet  $y$  die Streumenge, die entlang der Fahrbahn auf eine Linie im Abstand  $x$  vom Scheitelmittelpunkt fällt. Tatsächlich bestreuen Kreisringstreuer Kreisringstücke,  $y$  folgt also der Kreisringformel  $y = \sqrt{R^2 - x^2} - \sqrt{r^2 - x^2}$  (Bild 4b), die aber nur angewendet werden kann, wenn ein ganzer Halbkreisring symmetrisch zur Fahrachse bestreut wird. Die mittlere Säulenhöhe  $\bar{y}$  entspricht der Fläche des Halbkreisringes, geteilt durch die Grundlinie  $2R$ :

$$\bar{y} = \frac{R^2 \cdot \pi - r^2 \cdot \pi}{2R} = \frac{\pi}{4R} (R^2 - r^2)$$

Werden die nebeneinanderliegenden bestreuten Streifen überlappt, so wird nicht durch  $2R$ , sondern um den um die Überlappung geringeren Betrag geteilt:

$$\bar{y} = \frac{R^2 \pi - r^2 \pi}{2R - 2h} = \frac{\pi (R^2 - r^2)}{4(R - h)} \quad (h = \text{Überlappungsbreite})$$

Die Überlappung der Fahrbahnen bedeutet demnach eine Streumengenerhöhung je Flächeneinheit. Man darf daher auch nicht von der Wurfweite, sondern muß von der tatsächlichen (= optimalen) Streubreite ausgehen, die man durch richtige Überlappung gewinnt. Diese optimale Streubreite liegt den graphischen Darstellungen in den Bildern 5 bis 8 zugrunde, in denen die mathematischen Zusammenhänge sichtbar werden. Dabei wurden zugleich wichtige Erkenntnisse über den Einfluß der Asymmetrie, des Streuwinkels<sup>1)</sup> und der Ringbreite auf die Verteilung gewonnen, die sich in den Modellversuchen bestätigten:

Verschiebt sich der Streubereich<sup>2)</sup> seitlich aus der Mittellage, so steigt die Ungleichmäßigkeit stark an (Bild 5);

Streuwinkel unter  $180^\circ$  wirken sich auf die Verteilung günstig aus (Bild 6);

größere Ringbreiten beeinflussen die Gleichmäßigkeit der Arbeit von Schleuderstreuern günstig (Bild 7).

<sup>1)</sup> Erklärung des Begriffs „Streuwinkel“ siehe Bild 11.

<sup>2)</sup> Erklärung des Begriffs „Streubereich“ siehe Bild 11.

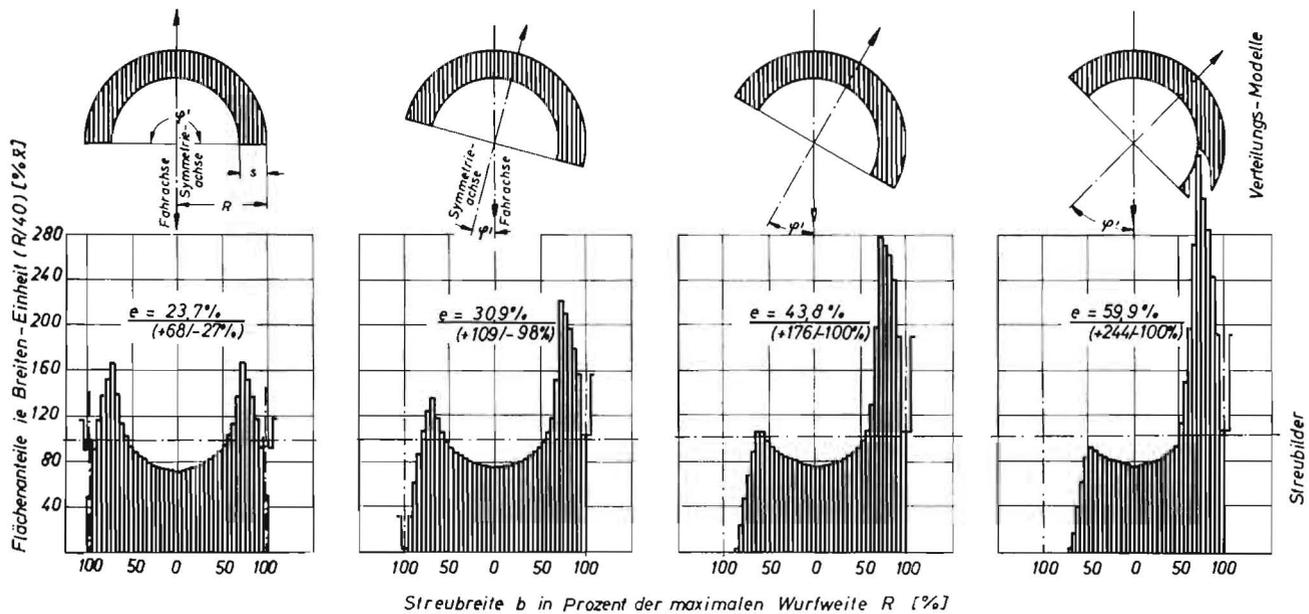


Bild 5: Einfluß der Lageverschiebung des Streubereichs auf die Verteilung

Veränderungen des Streuwinkels wirken sich weitaus stärker auf die Gesamtverteilung aus als Veränderungen der Ringbreite (vgl. Bilder 6 und 7).

Die Modellversuche wurden in der Maschinenhalle (Bild 8) mit einer in allen Einflußfaktoren veränderlichen ringsum streuenden Scheibe in natürlicher Größe durchgeführt. Es wurde jeweils ein 90°- beziehungsweise 180°-Sektor aus dem Streubereich ausgeblendet und erfaßt. Der Dünger wurde in Auffangkästen von 20 × 40 cm Seitenlänge aufgefangen, die zur Verhütung des Springens der Körner mit Gittereinsätzen versehen waren.

Einleitende Testversuche mit einer unbewehrten Scheibe (ohne Streuschaukeln) ergaben bei Scheibendrehzahlen von 500, 1000 und 2000 U/min, daß fast der gesamte Dünger in einem Ring von 0,4 bis 1 m Entfernung vom Scheibemittelpunkt zu Boden fällt (Scheibenhöhe 0,75 m, Scheibendurchmesser 500 mm). Unbewehrte Schleuderscheiben ergeben demnach keine brauchbare Dünger-Verteilung. Bei zwei auf der Scheibe von 500 mm  $\varnothing$  angebrachten Mitnahmeschaukeln kann bereits oberhalb 350 U/min kein Dünger mehr frei ablaufen, bei drei und mehr Schaukeln wird ohne Rücksicht auf Drehzahl, Scheibengröße und Aufgabepunkt — in den üblichen praktisch ausgeführten Grenzen — aller Dünger von diesen erfaßt und abgestreut. Die Stellung der Schaukeln zum Radius beeinflusst die Abwurfgeschwindigkeit — damit auch die Wurfweite — und die Lage des Streubereichs. Ohne größeren

Aufwand sind nur Schaukelstellungen von  $-10^\circ$  bis  $+30^\circ$  zur Radialstellung ausführbar. Schwenkt man die Schaukeln um den peripherie-äußersten Punkt, so erbringt die Verstellung im Drehsinn eine Minderung der Wurfweite und die Rückstellung das Gegenteil. Für je  $10^\circ$  Veränderung des Anstellwinkels kann mit etwa 10% Zu- beziehungsweise Abnahme in den oben angeführten Grenzen gerechnet werden (Bild 9). Im gleichen Sinn wie die Wurfweite  $w$  verändert sich die wirksame Streubreite  $b$ . Die Verteilungsgüte ist dadurch allein nicht zu verbessern. Bei großen Scheiben läßt sich aber durch Rückstellung der Schaukeln die Symmetrie des Streubildes besser einregulieren.

Einen entscheidenden Einfluß auf die Verteilung einer Streuscheibe übt die Scheibenumfangsgeschwindigkeit aus. Bei den in dieser Hinsicht ausgeführten Versuchen zeigte sich ein deutlicher Einfluß der Düngemittelkörnigkeit, auf die später noch ausführlich eingegangen wird. Wie aus Bild 10 hervorgeht, steigt sowohl die mittlere Wurfweite  $w_z$  als auch die Ringbreite mit zunehmender Scheibendrehzahl an. Bei mittel- bis grobgekörntem Dünger (Düngerkörnungen s. später) ergab sich bei Zunahme der Umfangsgeschwindigkeit von 8 bis 18 m/s eine Verdoppelung der Wurfweite von 3 bis über 6 m. Bei feinerem Dünger geht der Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit zunehmend zurück, unterhalb 0,2 mm Korngröße wirkt sie sich überhaupt nicht mehr aus. Angenähert richtig ist die Faustregel, daß bei mittel- bis grob-

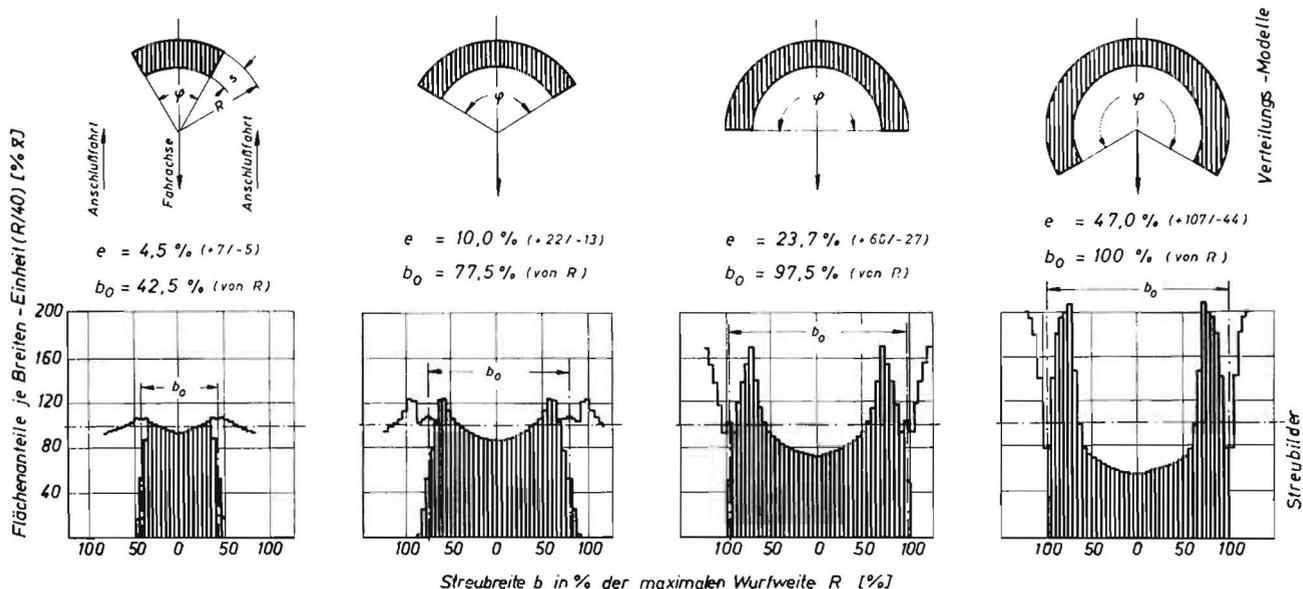


Bild 6: Einfluß der Größe des Streuwinkels auf die Verteilung

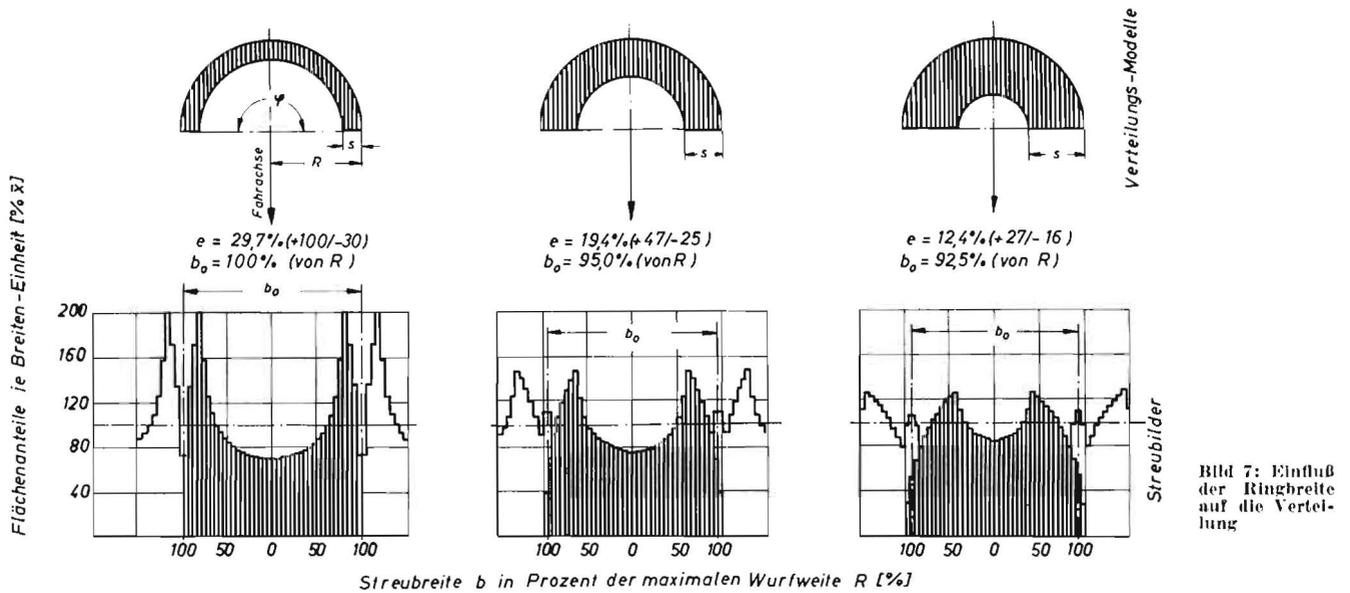


Bild 7: Einfluss der Ringbreite auf die Verteilung

körnigem Dünger Streubreite [m] = Scheibenumfangsgeschwindigkeit [m/s] ist<sup>3)</sup>. Neben der Wurfweite beziehungsweise Streubreite wirkt sich die Drehzahl auch auf die Ringbreite aus. Steigende Drehzahlen (300 bis 800 U/min) haben steigende Ringbreiten zur Folge. Damit läßt sich mit Hilfe der Drehzahl auch die Verteilungsgüte verbessern. Bei grobem Superphosphat brachte der Drehzahlanstieg von 300 auf 800 einen Abfall der linearen Abweichung von 23 auf 10%, bei feinkörnigem (gesiebt) NPK von 21 auf 14% vom Mittelwert. Diese Versuchsergebnisse bestätigen, was zuvor durch die graphische Darstellung über die Auswirkungen einer Ringbreitenvergrößerung gesagt wurde.

Die Scheiben von Schlenderstreuern werden im allgemeinen außermittig beschießt, wobei die Lage des Streubereiches vom Abstand des Aufgabepunktes von der Scheibenmitte und der Lage zur Fahrachse abhängt. Eine zur Klärung dieser für den Konstrukteur außerordentlich wichtigen Zusammenhänge besonders angesetzte Versuchsreihe ergab, daß mit zunehmendem Abstand von der Scheibenmitte der Lagewinkel und geringfügig auch der Streuwinkel zurückgehen. Was unter Lage- und Streuwinkel zu verstehen ist, sagt am besten Bild 11.

Setzt man den Aufgabeabstand ins Verhältnis zum Radius der Scheibe und stellt diese Abhängigkeit auf einfach logarithmischem Papier dar, so erhält man eine geradlinige Relation (Bild 12) zwischen den beiden Größen, die auf einen gesetzmäßigen und allgemein gültigen Zusammenhang schließen läßt. Bei einer Scheibe von 500 mm Durchmesser kann man beispielsweise für einen Abstandsbereich von 20 bis 150 mm mit einem Rückgang des Lagewinkels von 300 auf 125° rechnen, das heißt, 1 mm größerer Abstand von der Scheibenmitte bedeutet einen Rückgang des

<sup>3)</sup> Gilt von 8 bis 15 m/s Umfangsgeschwindigkeit, Scheibenhöhe 700 bis 800 mm über Boden und für radiale Schaufelstellung



Bild 8: Versuchsanordnung für Modellversuche in der Maschinenhalle des Instituts

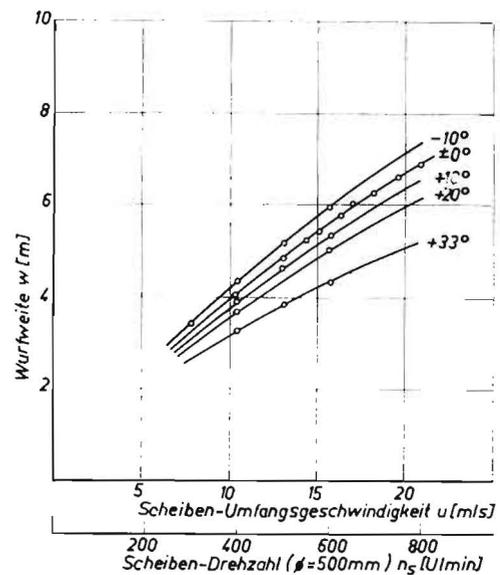


Bild 9: Abhängigkeit der Wurfweite von der Umfangsgeschwindigkeit bei verschiedenen Schaufel-Anstellwinkeln

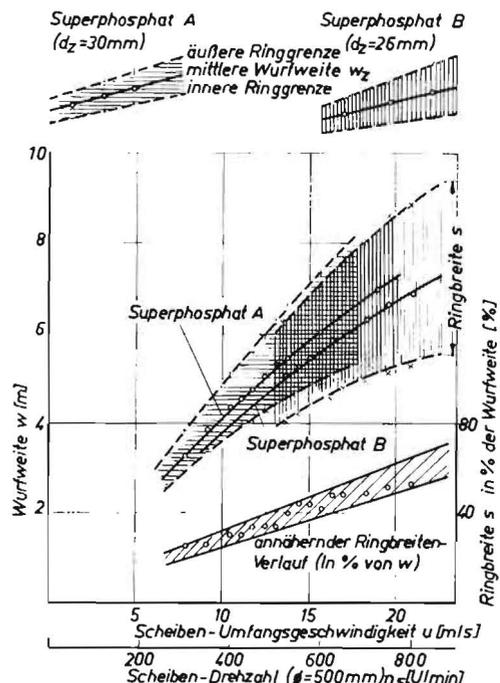


Bild 10: Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit auf Wurfweite und Ringbreite bei verschieden gekörntem Material

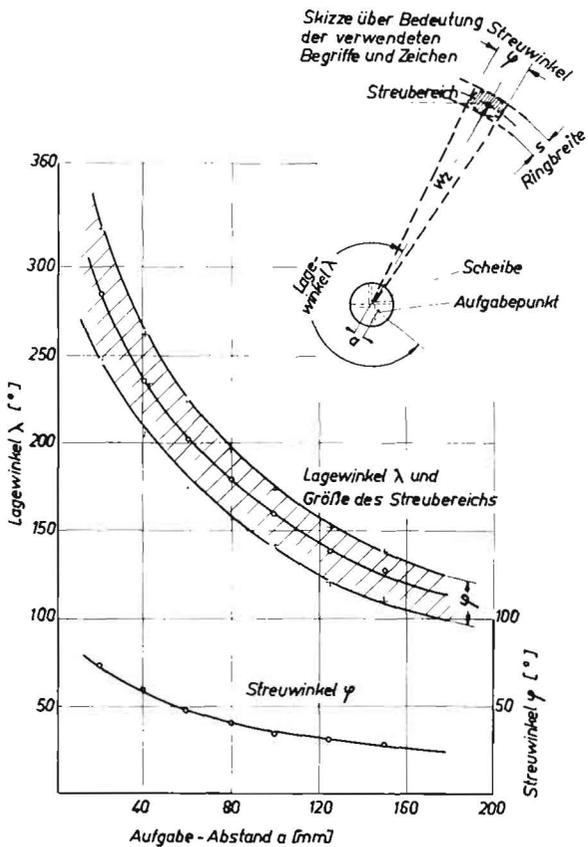


Bild 11: Abhängigkeit des Lage- und des Streuwinkels vom Abstand  $a$  des Aufgabepunktes von Scheibenmitte

Lagewinkels um etwa  $1^\circ$ . Das erklärt sich daraus, daß die Körner, wenn man sie weiter von der Scheibenmitte entfernt auf die Scheibe aufgibt, nicht mehr solange mitgenommen werden und bereits früher die Scheibe verlassen. Würde man die Körner unmittelbar am Scheibenrand aufgeben, so würde das Korn etwa tangential abgeschleudert werden. Der Schnittpunkt der Linie für den Lagewinkel in Bild 12 für das Verhältnis  $\frac{r}{a} = 1$  ist dann bei  $90^\circ$  zu suchen.

Außer dem Aufgabe-Abstand wirken sich auch noch die Aufgabemenge, die Körnung und die Feuchte des Streugutes auf den Lagewinkel aus. Erhöhte Streumengen, feinere Körnung und zunehmende Feuchte führen zu einer Verminderung des Lagewinkels, was auf größere Reibung des Streugutes auf der Scheibe zurückzuführen ist.

### Einfluß der Düngerkörnung

Bei den Versuchen über den Einfluß der Scheibendrehzahl, der Schaufelanordnung und anderer Faktoren spielte, wie bereits erwähnt, die Düngerkörnung mit hinein. Um die Abhängigkeit der Wurfweite (Streubreite) und der Verteilungsgenauigkeit von der Düngemittelkörnung zu erfassen, wurden besondere Versuchsreihen eingerichtet.

Zunächst mußte eine Kennzeichnung der Düngersorten vorgenommen werden. Als bestes Merkmal für die in den Versuchen verwendeten Düngemittel stellte sich die mittlere Korngröße heraus, die durch Siebanalysen bestimmt wurde. Als mittlere Korngröße wurde der Zentralwert  $Z$  genommen [8], der sich nach Bild 13 als Schnittpunkt der Mengenhalbierenden mit dem Prozentanteil der Durchgangssumme durch die Siebklassen ergibt. In die Versuche wurden möglichst charakteristische Düngersorten einbezogen, von feinem abgiesbten Rhe-Ka-Phos von 0,2 bis 0,5 mm bis zu grobem Superphosphat mit einer mittleren Korngröße von 3 mm. Untersucht werden sollte der Einfluß der Düngerkörnung auf Wurfweite und Verteilungsgüte, mit dem Ziel, ein Urteil über die Verwendbarkeit einiger handelsüblicher gekörnter Düngersorten beziehungsweise daraus hergestellter Siebungen in Schleuderstreuern zu gewinnen.

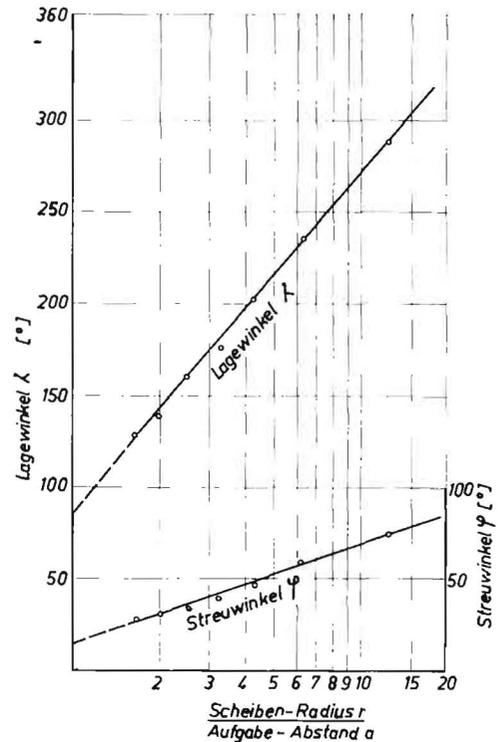


Bild 12: Abhängigkeit des Lage- und des Streuwinkels vom Verhältnis  $\frac{r}{a}$

Hinsichtlich der Wurfweite läßt sich das Ergebnis der Versuche in folgendem zusammenfassen:

über 3 mm durchschnittlicher Korngröße wird die Wurfweite fast gänzlich von der Umfangsgeschwindigkeit der Scheibe bestimmt; zwischen 1 bis 3 mm von Umfangsgeschwindigkeit und Korngröße und

unterhalb 1 mm ausschließlich von der Korngröße.

Bei 600 U/min ergab sich in den Versuchen folgendes Verhältnis der mittleren Korngröße zur Wurfweite:

mittlere Korngröße [mm]: 0,3:0,6:1,3:1,7:2,4:3,0

relative Wurfweite [%]: 36:50:70:80:90:100.

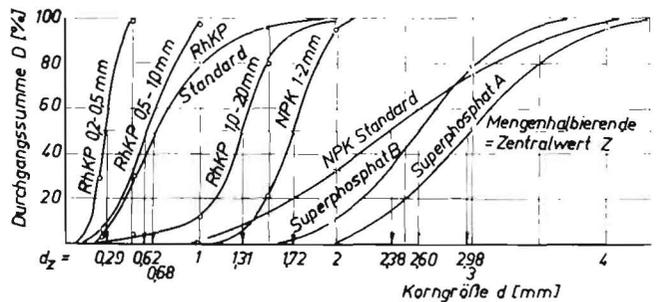


Bild 13: Durchgangssummen-Verteilung zur Bestimmung der mittleren Korngröße  $d_z$

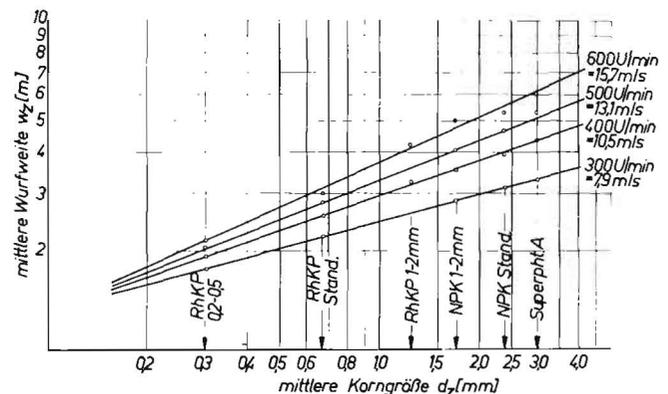


Bild 14: Wurfweiten-Verlauf bei verschiedenen Drehzahlen in Abhängigkeit von der Korngröße

In Bild 14 ist der Wurfweitenverlauf verschiedener Drehzahlen in Abhängigkeit von der mittleren Korngröße auf Potenzpapier dargestellt. Dadurch läßt sich die Ermittlung der richtigen Streubreite für ein bestimmtes Düngemittel soweit vereinfachen, daß die Streubreite eines beliebigen Düngemittels sofort ablesbar ist, wenn bei einem bestimmten Streuertyp die mittleren Korngrößen und optimalen Streubreiten für zwei (möglichst unterschiedliche) Düngemittel bekannt sind.

Auch über den Einfluß der Korngrößenzusammensetzung wurde eine Anzahl von Versuchen vorgenommen, um daraus Hinweise auf das günstigste, beziehungsweise anzustrebende Korngrößenspektrum zu bekommen. Düngemittel verschiedener Korngrößenzusammensetzung können zwar die gleiche mittlere Wurfweite erbringen, sich aber in der Strengringbreite unterscheiden. Dabei ergeben Düngemittel mit breiterem Korngrößenspektrum etwas geringere Abweichungen, was die bereits früher gefundene Beziehung zwischen Ringbreite und Streugleichmäßigkeit bestätigt. Im allgemeinen ist aber zu sagen, daß, gleiche mittlere Korngrößen

vorausgesetzt, die Korngrößenzusammensetzung — innerhalb der produktionstechnisch möglichen Grenzen — einen vergleichsweise geringen Einfluß auf die Endverteilung hat.

#### Schrifttum

- [1] HOLLMANN, W.: Untersuchungen über die Düngerverteilung von Schleuderstreuern. Dissertation Berlin 1962, im Druck
- [2] MARKS, K.: Zur Problematik der Schleuderdüngerstreuer. Landtechnische Forschung 9 (1959), S. 21—24
- [3] MARKS, K.: Die neuen Schleuder-Düngerstreuer. Landtechnik 14 (1959), S. 126—129
- [4] WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik. Gustav-Fischer-Verlag, Jena 1957
- [5] LORENZ, P.: „Anschauungsunterricht in mathematischer Statistik“, S. Hirzel-Verlag, Leipzig 1955
- [6] HEYDE, H.: Zur Bewertung der Streugenauigkeit von Düngerstreuern. Landtechnische Forschung 7 (1957), S. 53—56
- [7] HEPHERD, R. Q., and D. A. PASCAL: The transverse distribution of Fertilizer by conventional types of distributors. Journal of agricultural engineering research 46 (1958), S. 95—107
- [8] BATEL, W.: Einführung in die Korngrößenmeßtechnik. Springer-Verlag, Berlin 1960

(Wird fortgesetzt)

## RUNDSCHAU

### Fernbedienung von landwirtschaftlichen Seilbahnen

Für Transportarbeiten in Steillagen, einschließlich terrassierten Steillagen, ist der Einsatz einer Seilbahn wirtschaftlich, wenn diese mit wenig Arbeitszeitaufwand und ohne große körperliche Anstrengung aufgebaut beziehungsweise versetzt werden kann und eine Arbeitskraft zur Bedienung der Antriebsaggregate sowie zum Beladen des Transportbehälters ausreicht.

Dieselbe Arbeitskraft, die den Transportbehälter belädt beziehungsweise entlädt, bedient die Antriebsaggregate der Seilbahn durch eine Fernbedienungsanlage, ohne den Standort wechseln

zu müssen. Damit kann die zweite Arbeitskraft, die ausschließlich zum Ein- und Auskuppeln der Antriebsaggregate notwendig war, eingespart werden. Gleichzeitig fällt das Zeichen- beziehungsweise das Signalgeben vom Belader zum Mann an den Antriebsaggregaten weg. Mit dem Wegfallen des Signalgebenmüssens und der damit verbundenen Möglichkeit eines falschen Verstehens wird die Unfallgefahr automatisch verringert.

Leicht versetzbare Seilbahnen [1] werden seit einigen Jahren bereits vom Handel angeboten. Die Möglichkeiten der Einmannarbeit beim Transport mittels Seilbahnen wurden an einer Versuchsanlage studiert und werden in diesem Beitrag diskutiert.

#### Aufbau der Versuchsanlage

Zum Antrieb der Seilbahn wurde ein Stoppmotor ausgewählt, der konstruktiv Elektromotor und Bremse vereinigt. Diese beiden Bauelemente sind so aufeinander abgestimmt, daß bei abgeschaltetem Motor die Bremse automatisch wirksam wird. Im Bedarfsfall kann ein elektrisch oder mechanisch arbeitendes Bremslüftgerät installiert werden.

Dieser Stoppmotor und eine Seilwindentrommel wurden auf eine gemeinsame Grundplatte aufgeschraubt. Die Seilwinde, mit der die an dem Trageil hängende Laufkatze und Transportbehälter mittels einem Zugseil bergwärts gezogen, talwärts herabgelassen wird, erhält ihren Antrieb vom Motor.

#### Angewendete Schaltgeräte

Mit den nachstehend aufgeführten Schaltgeräten kann der Motor willkürlich, auch aus der Ferne aus dem Stillstand auf Linkslauf (entspricht Bergfahrt), auf Rechtslauf (entspricht Talfahrt) und aus der Fahrt auf Halt (entspricht Bremsung) geschaltet werden.

1. Direkt am Motor wurde ein Dreifach-Drucktaster installiert (Bild 1), damit auch vom Standort des Motors aus die Seilbahn in Betrieb genommen werden kann. Ebenfalls direkt am Motor wurde ein Handschalter angebracht, mit dem die Motordrehzahl (DAHLANDER-Schaltung) im Verhältnis 1:2 verändert werden kann. Für den Seilbahnbetrieb hat sich die kleine Drehzahl, mit der eine Transportgeschwindigkeit von 0,7 m/s erreicht wurde, als günstiger erwiesen. Bei der noch möglichen Transportgeschwindigkeit von 1,4 m/s kam es vor, daß die Laufkatze vom Trageil gesprungen ist.

2. Mit einem zweiten Dreifach-Drucktaster, am Ende eines vieradrigen Schaltkabels angeschlossen, ist eine sichere Schaltung von fern möglich (Bild 2). Das Schaltkabel wird je nach Bedarf entlang der Seilbahn ausgelegt.

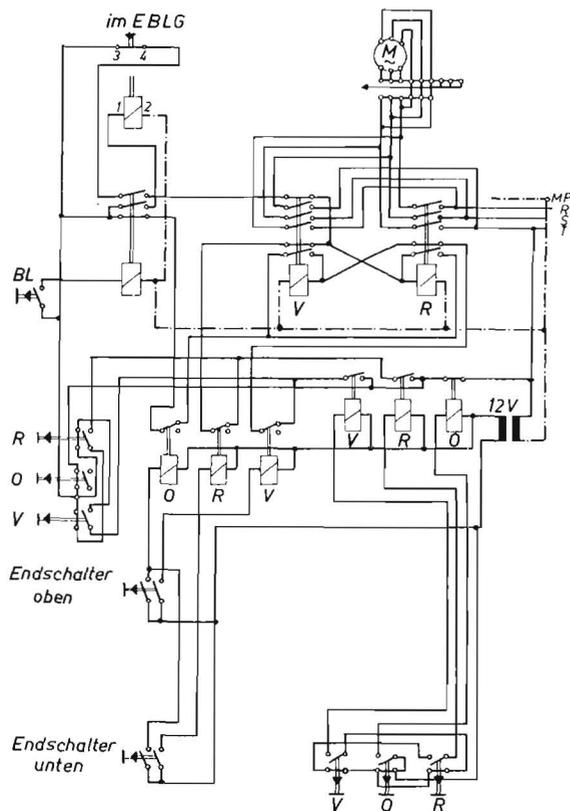


Bild 1: Schaltplan einer Drucktastenfernsteuerung für den Stoppmotor an der Seilwinde

Der Standort des Dreifachdrucktasters (unten rechts) kann entsprechend der Länge des 4-adrigen Schaltkabels verändert werden. Aus Sicherheitsgründen ist die Betätigungsspannung für die Relais Schwachstrom. O = Stopp; V = Rücklauf (entspricht Bergfahrt); R = Rechtslauf (entspricht Talfahrt); EBLG = Elektrobremslüftgerät; BL = Taster für Bremslüfter