

gen. Das Problem der Höhenführung über dem Boden ist bei kapazitiven weniger schwierig als bei herkömmlichen Fühlern, da die Pflanzen nicht unbedingt berührt zu werden brauchen.

Außer zur Steuerung von Vereinzelmaschinen können die kapazitiven Fühler auch zur Automatisierung anderer Aufgaben in der Landtechnik eingesetzt werden. So ist z. B. eine automatische Nachführung von Werkzeugen an Pflanzenreihen mit Hilfe dieser Fühler möglich [3]. Weiterhin können damit auf einfache Weise Kontroll- oder Zählaufgaben, z. B. bei automatischen Pflanzmaschinen, gelöst werden. Es ist aber auch daran zu denken, mit solchen Fühlern, die dann allerdings anders aufgebaut sein müßten, eine berührungslose Abstandmessung, z. B. bei der Messung der Pflugtiefe, der Höhe eines Schneidwerkes über dem Boden und dergleichen, durchzuführen.

DK 531.7:631.333.5:632.982

## Ein Versuchsstand zur Ermittlung der Verteilungsgüte von Verteilgeräten und Probleme der Auswertung

Von **Manfred Brübach**, Berlin

Mitteilung aus dem Institut für Landtechnik der Technischen Universität Berlin

*Die Gleichmäßigkeit der Verteilung von Mineraldünger und Pflanzenschutzmitteln durch die Verteilmaschinen spielt eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Wirksamkeit dieser Stoffe. Es wird ein Versuchsstand zur Messung der Verteilungsgüte von flüssigen und feinkörnigen Stoffen beschrieben und auf die Rationalisierung der Auswertung mittels einer Großrechenanlage eingegangen.*

Die Gesetzmäßigkeiten der Verteilung von körnigen und flüssigen Substanzen werden den Entwicklungen von Verteilmaschinen soweit als möglich zugrunde gelegt. Allerdings sind zahlreiche Faktoren dabei in Rechnung zu setzen, deren Größe gar nicht oder unzureichend genau abzuschätzen ist. So sind u. a. die Eigenschaften des Verteilgutes und sein Verhalten im Haufwerk nicht ausreichend bekannt. Hier hat die Forschung noch manche Grundlage zu schaffen. Der Entwicklung müssen daher Funktionsuntersuchungen parallel laufen, die häufig nur als praxisnaher Versuch auszuführen sind.

Um derartige Untersuchungen an Verteilmaschinen und Verteilgütern rationell und so genau als möglich durchführen zu können, wurde im Institut für Landtechnik der Technischen Universität Berlin eine Versuchsanlage erstellt, mit Hilfe derer die Verteilungsgüte beim Ausbringen von festen und flüssigen Mineraldüngerarten sowie von Pflanzenschutzmitteln überprüft und optimiert werden kann. Die Anlage, die in den beiden letzten Jahren seit ihrer Erstellung laufend verbessert wurde, und die Auswertmethoden werden nachfolgend erläutert.

### Der Versuchsstand

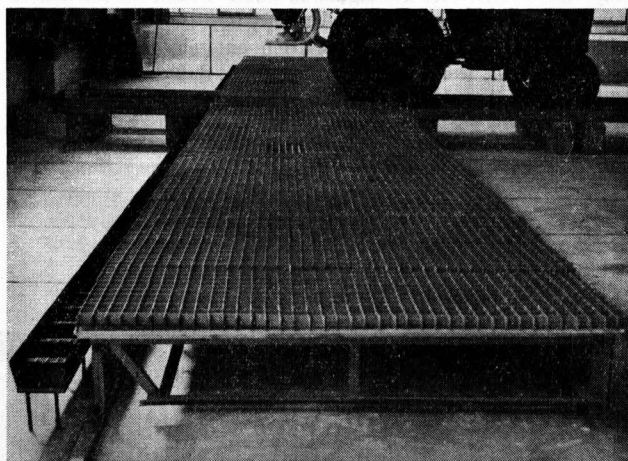
Die Auffanganlage ist 15,20 m breit und hat in Fahrtrichtung eine Länge von 2,00 m, **Bild 1 und 2**. Diese Fläche ist mit unter 90° abgewinkelten Duraluminium-Blechen belegt, so daß eine Rinnenfläche mit 100 mm breiter Teilung entsteht. Die Rinnen verlaufen parallel zur Fahrspur. Unmittelbar über den Blechen ist ein 50 mm hoher Kartonraster (50 mm × 50 mm) angeordnet, der ein unkontrolliertes Springen der aufprallenden Teilchen weitgehend verhindert. Die Auffangrinnen in der Fahrspur sind durch überfahrbare Gitterroste abgedeckt.

Zum Entleeren der Rinnen nach einem Verteilversuch mit Feststoffen wird die Auffanganlage hydraulisch um 70° gekippt. Dazu ist die Anlage in 5 Felder unterteilt. Bei Verteilversuchen mit Flüssigkeiten, bei denen der Kartonraster entfernt ist, ist die Anlage schon während des Versuchs um 5% geneigt. Das auslaufende Gut wird zur Auswertung in Kunststoffkästen aufgefangen.

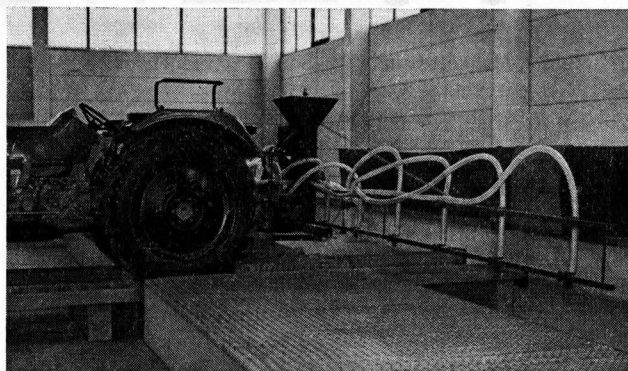
*Dipl.-Ing. Manfred Brübach ist wissenschaftlicher Assistent am Institut für Landtechnik der Technischen Universität Berlin (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Horst Göhlich).*

### 5 Schrifttum

- [1] *Achenbach, H. P.*: Reflaxdüsen für berührungslose Schaltauflösung. Herion Informationen (1969) Heft 1, S. 30/32.
- [2] *Gego, A.*: Ein Beitrag zum Problem der gesteuerten maschinellen Vereinzeln von Zuckerrüben. Diss. T. H. Aachen 1968. Ref. in: Grndl. Landtechn. **18** (1968) Nr. 6, S. 235.
- [3] *Hesse, H., und Chr. v. Zabeltitz*: Untersuchung von optischen und elektrischen Fühlern für automatische Vereinzeln- und Nachführungssysteme. Grndl. Landtechn. **18** (1968) Nr. 3, S. 107/12.
- [4] *Hesse, H.*: Ein automatisches Nachführungs- und Vereinzeln-system mit kapazitiven Fühlern. Vortrag auf dem Kolloquium über Automatisierung in der Landtechnik am 24. und 25. April 1969 in der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.



**Bild 1.** Gesamtansicht der Auffanganlage.



**Bild 2.** Ein im Institut entwickeltes, pneumatisch arbeitendes Verteilgerät für Feingranulat wird getestet.

### Genauigkeitsanforderung

Die 100-mm-Teilung erlaubt eine Meßwertaufnahme je 100 mm Breite bzw. je 200, 300 ... mm. Wie genau die Auswertung zu erfolgen hat, hängt zunächst wesentlich von dem ausgebrachten Gut ab. Für flüssige oder feste Pflanzenschutzmittel ist eine möglichst feine Teilung erforderlich. Für Düngergaben sind je nach Art des Hauptnährstoffs weniger hohe Anforderungen an die Ab-lagegenauigkeit gestellt.

Gefordert wird in jedem Falle, daß die Verteilungsgüte, d. h. die Gleichmäßigkeit der Ablage, groß ist, wenn also die auf einer möglichst kleinen Flächeneinheit deponierte Menge möglichst wenig vom Mittelwert aller pro Flächeneinheiten abgelegten

Mengen abweicht. Die Abweichungen aller Meßwerte vom Mittelwert dienen als Grundlage für eine quantitative Angabe der Gleichmäßigkeit der Verteilung.

Als Wertzahlen gelten hierbei die lineare Abweichung  $e$  und die quadratische Abweichung  $s$ , wobei

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \cdot \frac{100}{\bar{x}} [\%] \quad (1),$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \cdot \frac{100}{\bar{x}} [\%] \quad (2),$$

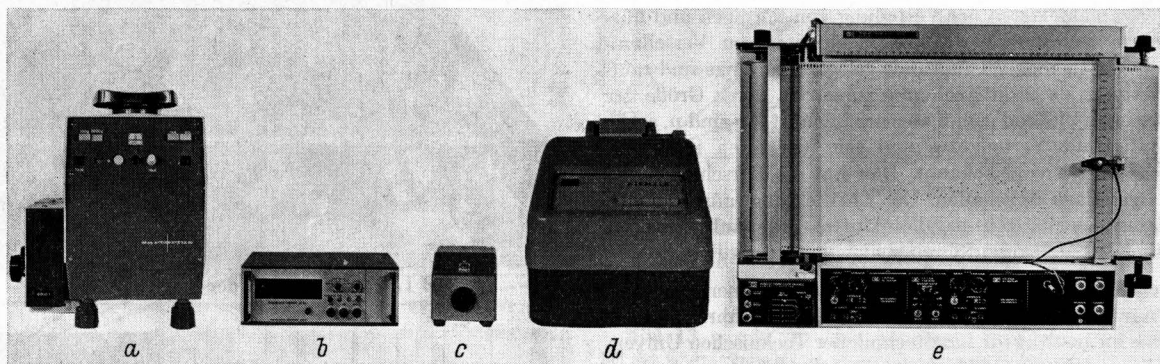
worin  $x_i$  die Meßwerte  $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ ;  $n$  die Anzahl der Meßwerte und

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

der arithmetischer Mittelwert der Meßwerte sind.

Bei den zu untersuchenden Verteilmaschinen kann man davon ausgehen, daß bei konstanter Fahrgeschwindigkeit in Fahrtrichtung keine Ablageschwankungen (Welligkeit) auftreten. Dies ist beim Ausbringen von Flüssigkeiten unter Druck mittels Düsen ohne Einschränkung der Fall. Auch wenn feste Partikel mittels Schleuderscheiben ausgebracht werden, entsteht keine nachweisbare Welligkeit, wenn man davon ausgeht, daß die Anzahl  $z$  der Schleuderscheibenabwürfe pro Meter Fahrstrecke größer als 5 ist:

$$z = 0,06 \cdot i \cdot \frac{n}{v} > 5 \quad (3),$$



**Bild 3.** Meßkette zur Aufnahme der Versuchswerte:

- a elektronische Waage
- b Digitalvoltmeter als Analog-Digital-Umsetzer und Anzeigerät
- c Auslösevorrichtung, die stufenweise oder gleichzeitig die nachgeschalteten Geräte anspricht
- d Drucker für digitale Registrierung
- e X-Y-Schreiber für analoge Darstellung

wobei  $i$  die Anzahl der Schaufeln,  $n$  die Scheibendrehzahl in  $1/\text{min}$  und  $v$  die Fahrgeschwindigkeit in  $\text{km/h}$  sind.

Für den weiter unten als Beispiel angeführten Versuch ist  $i = 3$ ,  $n = 460$   $1/\text{min}$  und  $v = 10$   $\text{km/h}$ .

Daraus errechnet sich die Anzahl der Abwürfe pro Meter Fahrstrecke

$$z = 0,06 \cdot 3 \cdot \frac{460}{10} = 8,3.$$

Daher ist die Vereinbarung, nur die Querverteilung als Maß für die Verteilungsgüte heranzuziehen, erlaubt.

Welche Querverteilung ist bei Mineraldünger-Verteilungen sinnvoll? Dies hängt wesentlich davon ab, welchen Einfluß unregelmäßig ausgebrachter Dünger auf den Pflanzenwuchs und den Ernteertrag hat. Darüber liegen u. a. Untersuchungen aus jüngster Zeit vor [2]. Offensichtlich lassen sich keine allgemein gültigen Richtlinien hinsichtlich ausreichender Verteilgenauigkeit aufstellen; die Forderung der Ablagegenauigkeit richtet sich nämlich nach der Bodenart, nach der Pflanze, nach der Düngertart und schließlich nach dem Zeitpunkt der Ausbringung.

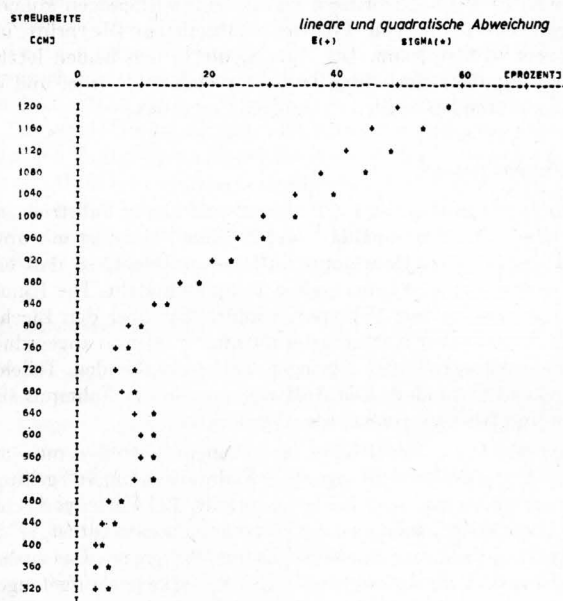
## Die Meßwert-Registrierung

Die Aufnahme der Meßwerte bei der oben beschriebenen Anlage erfolgt mittels einer elektronischen Meßkette, **Bild 3**: die einzelnen Düngermengen werden auf eine elektronische Waage gegeben, wobei die Meßwertanzeige an einem Digitalvoltmeter erfolgt. Diesem angeschlossen ist ein X-Y-Schreiber, der nach Auslösung durch Knopfdruck in der entsprechenden Ordinatenhöhe einen Meßpunkt markiert und den Papiervorschub betätigt. Nachgeschaltet ist ein Drucker, der das Meßergebnis zahlenmäßig registriert. Diese Meßanordnung liefert so von einem Breitverteilversuch unmittelbar eine grafische Darstellung der Verteilung und eine Zahlenkolonne, die als Grundlage für die weitere Auswertung dient.

## Die Auswertung

Die Auswertung erfolgt mit Hilfe eines Rechenprogrammes auf einer Großrechenanlage [1]. Als Auswertungsergebnis erhält man eine Druckfahne, in der dargestellt sind:

1. allgemeine Daten, Einstellungsmerkmale;
2. das Streubild ohne Überlappung (Zahlenwerte und Zeichnung) mit Angabe der Gesamtmenge und des Seitenverhältnisses;
3. das Streubild nach Überlappung bei optimaler Arbeitsbreite für Rundfahrt mit Angabe des Abweichungswertes  $s$  in %, der Auslaufmenge in  $\text{kg}/\text{min}$  und der Hektargaben  $V$  in  $\text{kg}/\text{ha}$  bei verschiedenen Arbeitsgeschwindigkeiten;
4. die Maßzahlen der Abweichung bei verschiedenen Arbeitsbreiten (in Stufen von 0,40 m) tabellarisch und grafisch;
5. die entsprechenden Diagramme und Zahlenwerte für Gegenfahrt.



**Bild 4.** Abweichungsdiagramm für ein aufgenommenes Streubild. Zu jeder Arbeitsbreite zwischen 3 m und 12 m kann die zugehörige quadratische Abweichung  $s$  abgelesen werden. Bei diesem Beispiel bleibt  $s$  bis zu 9 m Arbeitsbreite unter 20%.

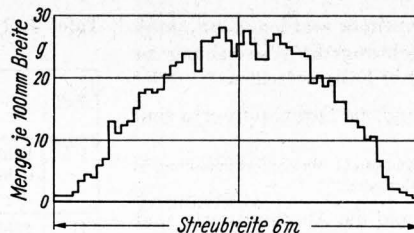
Als wichtigstes Ergebnis ist die grafische Darstellung der Abweichungswerte in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite anzusehen, **Bild 4**. Der Kurvenverlauf zeigt, welche Toleranzen der Arbeitsbreite beim Anschlußfahren tragbar sind, ohne daß die Abweichungswerte ein zulässiges Maß (z. B.  $s \leq 20\%$ ) überschreiten. Dieser Kurvenverlauf ist für einen Streuer charakteristisch und, wie eine Vielzahl von Versuchen bestätigt, für alle Düngerarten ähnlich.

Daher bedienen sich sowohl Hersteller von Verteilgeräten als auch die Düngerindustrie häufig dieser modernen Anlage, einerseits zur Funktionsuntersuchung und Verbesserung der Maschine, andererseits zur Prüfung der Streufähigkeit neuer Mineraldüngerprodukte.

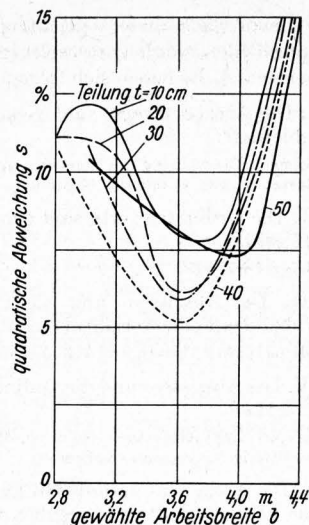
### Einfluß der Teilung auf den Aussagewert

In welchem Maße die Abweichungswerte differieren können, wenn verschiedene Teilungen der Berechnung zugrunde gelegt werden, wird für einen Streuversuch mit feinkörnigem Streugut dargelegt, **Bild 5**. Die Abweichungskurven für die Teilungen 10, 20, 30 und 40 cm haben an derselben Stelle (bei  $b = 3,6$  m) ein Minimum, lediglich die Kurve für die Teilung 50 cm zeigt ein abweichendes Bild, da das Minimum bei  $b = 4,0$  m liegt.

Die unterschiedlichen Ergebnisse in Abhängigkeit von der gewählten Teilung mögen für die Praxis von untergeordneter Bedeutung sein. Selbst für Maschinenprüfungen, wie sie die DLG-Prüfstelle in Braunschweig-Völkenrode durchführt, ist eine Teilung der Streubreite in 50 cm bei der Meßwertaufnahme noch gerechtfertigt. Sollen aber die Einflüsse von veränderten Konstruktionsdetails einer Verteilmaschine oder die Streubildveränderung bei einem geänderten Korngrößenspektrum des Verteilgutes untersucht werden, so ist eine möglichst kleine Teilung notwendig.



**Bild 5.** Streudiagramm und quadratische Abweichung  $s$  in Abhängigkeit von der gewählten Arbeitsbreite bei verschiedenen Teilungen.



### Zusammenfassung

Es wurde ein Versuchsstand für die Aufnahme von Verteilungsbildern senkrecht zur Fahrtrichtung für Breitverteilergeräte, die Flüssigkeiten oder Feststoffe ausbringen, beschrieben. Die Auswertung der Versuche ist durch den Einsatz hochwertiger Meßgeräte und durch die programmierte Auswertung weitgehend rationalisiert. Damit sind Versuchsserien ohne großen Zeitaufwand durchführbar, die eine gesicherte Aussage über die Funktionsfähigkeit einer Maschine zulassen.

### Schrifttum

- [1] Mathes, A., und W. Preisberg: Das Auswerten landtechnischer Versuchsreihen mit programmgesteuerten Rechenanlagen. *Grundl. Landtechn.* 17 (1967) Nr. 4, S. 155/59.
- [2] Zschuppe, H.: Untersuchungen über den Einfluß der Streugenauigkeit von Düngerstreuern auf den Pflanzenenertrag. *Arch. Landtechn.* 7 (1968) H. 1, S. 111/20.

DK 518.5:624.131

## Die mathematische Ableitung der Ausgleichsgeraden mit einem Beispiel aus der Bodenmechanik

Von Rolf Ahlers, Braunschweig-Völkenrode

Aus den Arbeiten des Instituts für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

Bei Versuchen wird vielfach der mehr oder weniger breite Streubereich einer abhängigen Meßgröße durch eine durch den Punkthaufen der Meßwerte gelegte Kurve veranschaulicht bzw. ersetzt. Soll die Kurve als Grundlage für weitere Berechnungen dienen, so sind die Parameter des gewählten Kurventyps in einer Ausgleichsrechnung so zu bestimmen, daß die Summe der Abweichungsquadrate ein Minimum wird. Die behandelte Ableitung des allgemeinen Falles einer Ausgleichsgeraden ist gekennzeichnet durch die beliebige Richtung der Abweichung der Meßpunkte von der Ausgleichsgeraden. Aus versuchstechnischen Gründen kann eine bestimmte Richtung vorgegeben sein. In Sonderfällen, bei denen die Abweichung in Richtung einer Koordinate bzw. senkrecht zur Ausgleichsgeraden verläuft, vereinfacht sich die allgemeine Ableitung. In einem Zahlenbeispiel wird für die Meßwerte eines bodenmechanischen Versuchs die Ausgleichsgerade berechnet, bei der die Abweichung gleichmäßig in beide Koordinatenrichtungen aufgeteilt ist.

Die Darstellung von Versuchsergebnissen in Diagrammform macht diese anschaulicher und läßt die Abhängigkeit der veränderlichen Größen besser erkennen. Vielfach ist es erforderlich, die Meßgrößen mit theoretisch gewonnenen Werten zu ver-

gleichen. Infolge zahlreicher versuchs- und meßtechnisch bedingter Fehlerquellen oder auch unbekannter Einflüsse stimmen die Versuchsergebnisse in der Regel nicht mit den theoretischen Werten überein; die Meßpunkte liegen in einem mehr oder weniger breiten Streubereich und bilden einen sogenannten Punkthaufen. Vielfach genügt es, durch diesen Punkthaufen eine Ausgleichsline nach visueller Beurteilung zu legen. Eine rechnerische und deshalb genauere Bestimmung der Ausgleichsline wird nötig, wenn sie zum Beispiel als Eingangsgröße für weitere Berechnungen benutzt werden soll.

Als einfachster Fall soll hier auf den linearen Zusammenhang zweier Veränderlicher eingegangen werden. Die in der Ausgleichsrechnung zum Standard gewordene „Methode der kleinsten Quadrate“ (besser: „Methode der kleinsten Fehlerquadratsumme“) nach Gauß wird hierbei als Annäherungskriterium verwendet.

### Fehlerabweichungen von der Ausgleichsgeraden

Mit der „Methode der kleinsten Quadrate“ erfolgt die Bestimmung der Ausgleichsgeraden, indem die Summe der Quadrate der Abweichungen  $A_i$  minimiert wird:

$$\sum_{i=1}^N A_i^2 = \text{Minimum}^1) \quad (1).$$

<sup>1)</sup> Die Bedeutung der Formelzeichen und Begriffe siehe „Verwendete Formelzeichen“.

Ing. (grad.) Rolf Ahlers ist technischer Mitarbeiter im Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Wolfg. Baader) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.