

Düngerverteilung durch pneumatische Streugeräte

Von Hermann J. Heege und Klaus Rühle, Bonn*)

DK 631.333

Im Landbau der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich Mineraldünger im Werte von 3 Mrd. DM eingesetzt. Die pflanzenbauliche Wirksamkeit dieser Mineraldünger ist von der Gleichmäßigkeit der Düngerverteilung über die Fläche abhängig.

Es wird untersucht, in welchem Maße pneumatische Streugeräte zu einer Verbesserung der Gleichmäßigkeit der Düngerverteilung beitragen können. Die Voraussetzungen für eine gleichmäßige Düngerverteilung durch pneumatische Streugeräte werden aufgezeigt. Darüber hinaus behandelt der Beitrag noch den Leistungsbedarf, die Kosten und die Einsatzbereiche für pneumatische Streugeräte.

Inhalt

1. Einleitung
2. Funktion pneumatischer Streugeräte
3. Maßzahlen für die Verteilgenauigkeit
4. Verteilgenauigkeit und Ertrag
5. Methodik und Versuchsdurchführung
6. Variationskoeffizienten der Längsverteilung
7. Variationskoeffizienten der Querverteilung
8. Querverteilungsbild und Streuprofile
9. Optimierung der Querverteilung
10. Leistungsbedarf
11. Wirtschaftlichkeit des Einsatzes
12. Einsatzbereich

1. Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland werden derzeit die Handelsdünger zu 98 % in fester und zu 2 % in flüssiger Form ausgebracht. Die festen Handelsdünger wurden in der Vergangenheit überwiegend als gesackte Ware bezogen und von Hand umgeschlagen. Der Wunsch, den Umschlag der Düngemittel zu mechanisieren, führte in vielen Betrieben zur Einführung der Lose-Dünger-Kette, die darüber hinaus auch noch die Sackkosten erspart.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft gebührt Dank für die finanzielle Unterstützung dieser Untersuchungen. Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten stellte darüber hinaus die Mittel für die Beschaffung eines französischen Gerätes bereit, wofür ebenfalls gedankt wird.

**) Prof. Dr. agr. Hermann J. Heege, MSAE, ist Leiter der Abteilung Landwirtschaftliche Arbeitsverfahren am Institut für Landtechnik der Universität Bonn. Dr. agr. Klaus Rühle war wissenschaftlicher Mitarbeiter an diesem Institut und ist jetzt bei der Bayer AG, Leverkusen, tätig.*

Das Verfahren des Düngerumschlages beeinflusst die Streutechnik. Die früher vorherrschenden Kastenstreuer mit über die gesamte Arbeitsbreite reichendem Vorratsbehälter eignen sich nicht in Kombination mit der Lose-Dünger-Kette für ein Befüllen ohne Nachverteilen des Düngers von Hand. Das Befüllen des Düngervorratsbehälters im Rahmen der Lose-Dünger-Kette ohne Nachverteilen des Streugutes von Hand erfordert in der Regel Streugeräte mit zentralem Vorratsbehälter. Derartige Streugeräte mit zentralem Vorratsbehälter sind der weitverbreitete Schleuderstreuer sowie die Streuer mit pneumatischer oder mechanischer Querverförderung.

Der Schleuderstreuer bietet zwar einerseits den Vorteil eines vergleichsweise geringen Kapitalbedarfes, andererseits ist aber die mit diesem Gerät erzielte Verteilgenauigkeit oft Gegenstand der Kritik. Kennzeichnend ist insbesondere für dieses Gerät in der Regel eine große Diskrepanz zwischen der nach Prüfstandversuchen möglichen Verteilgenauigkeit und der im Feldeinsatz wirklich erzielten Verteilgenauigkeit.

Zahlreiche Prüfstandversuche haben gezeigt, daß der Schleuderstreuer bei Verwenden gekörnter Dünger und optimaler Bedienung durchaus eine hohe Verteilgenauigkeit liefern kann [1 bis 4]. Die optimale Bedienung verlangt dabei die optimale Abstimmung vieler Einflußfaktoren wie z.B. die Korngrößenverteilung des Düngers, die inneren und äußeren Reibeigenschaften des Düngers, der geometrische Ort des Düngerzulaufes auf die Streuscheibe, die Drehfrequenz der Streuscheibe, der Anstellwinkel der Wurfschaukeln und die Streumasse je Zeiteinheit.

Die zur seitlichen Begrenzung der Streubahnen abfallende Belegungsichte erfordert ein Überlappen der Streuprofile. Die optimale Überlappung kann aus den Ergebnissen von Prüfstandsversuchen abgeleitet werden; sie ist aber beim Feldeinsatz naturgemäß nur abzuschätzen und auch wiederum von den o.a. Einflußfaktoren abhängig. Kurz, die mangelnde Verteilgenauigkeit des Schleuderstreuers beim Feldeinsatz ist im wesentlichen ein Problem der optimalen Bedienung dieses Gerätes. Die alljährlich an Getreidebeständen auftretende "Streifenkrankheit" weist darauf hin, daß die Landwirte in der Regel bei der Bedienung des Schleuderstreuers überfordert sind.

Die beim Feldeinsatz auftretenden Unzulänglichkeiten in der Verteilgenauigkeit des Schleuderstreuers gaben den Anstoß zur Entwicklung neuer Streugeräte mit pneumatischer und mechanischer Querverförderung. In diesem Beitrag wird über Versuchsergebnisse mit pneumatischen Streugeräten berichtet. Streugeräte mit mechanischer Querverförderung sollen in einem späteren Beitrag behandelt werden.

2. Funktion pneumatischer Streugeräte

Bei pneumatischen Streugeräten dient Luft als Fördermedium. Der Mineraldünger wird unterhalb des zentralen Vorratsbehälters in ein luftdurchströmtes Rohrleitungssystem eingeschleust und auf pneumatischem Wege den über die Arbeitsbreite des Gerätes angeordneten Endverteilern zugeführt. Letztere sind als Prallteller, Prallfinger oder pneumatisch angetriebene Streuscheiben ausgebildet und besorgen das Breitverteilen des Düngers in überlappenden Streuprofilen.

Nach der Art der Einspeisung des Düngers in das Rohrleitungssystem kann man derzeit

1. die zentrale Düngereinspeisung und
2. die separate Düngereinspeisung

unterscheiden. Bei der zentralen Einspeisung wird der Dünger zunächst in eine vertikale Hauptrohrleitung geführt und an deren Ende mit Hilfe eines Prallkopfes den zu den Endverteilern führenden Nebenrohrleitungen zugeteilt, Bild 1. Im Gegensatz dazu wird der Dünger bei der separaten Einspeisung am Auslauf des zentralen Vorratsbehälters direkt in die einzelnen zu den Endverteilern führenden Rohrleitungen eingeleitet, Bild 2 und 3.

Der Einspeisungsprozeß selbst erfolgt in beiden Fällen unter Benutzung einer (zentrale Einspeisung) oder mehrerer (separate Einspeisung) Injektorschleusen. Zellenradschleusen werden für die Einspeisung bislang nicht benutzt.

Der Düngerzulauf vom trichterförmigen Vorratsbehälter in die Injektorschleuse erfolgt bei zentraler Einspeisung unter dem Einfluß der Gravitation durch zwei gegenüberliegende Dosieröffnungen am Boden des Vorratsbehälters. Die Einstellung des Düngerstromes geschieht durch Ändern des Querschnittes dieser Dosieröffnungen am Behälterboden. Bei separater Einspeisung hingegen wird der Düngerstrom in die Injektorschleusen durch Nockenräder dosiert, Bild 2. Die gewünschte, für alle Nockenräder gleiche Drehfrequenz wird jeweils über ein Wechselgetriebe eingestellt.

Unter den pneumatischen Düngerstreuern kann nach Art der Zuordnung zum Schlepper zwischen Anbau- und Anhängegeräten unterschieden werden.

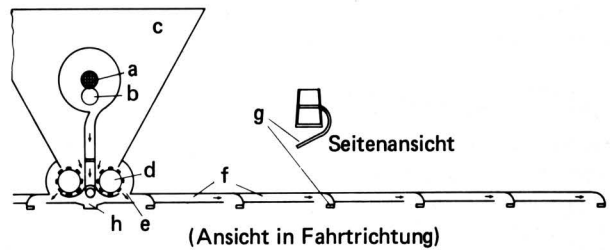
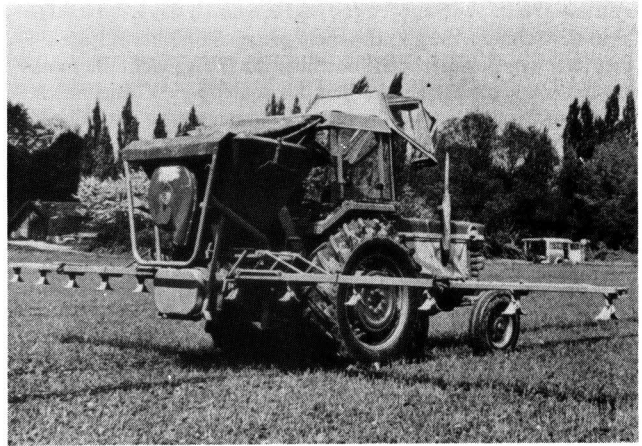


Bild 2. Pneumatisches Streugerät mit separater Düngereinspeisung.

oben: Einsatzfoto
unten: Funktionsschema

- | | |
|-------------------|-----------------|
| a Radialgebläse | e Injektordüse |
| b Drosselklappe | f Rohrleitungen |
| c Vorratsbehälter | g Prallfinger |
| d Nockenräder | h Luftkammer |

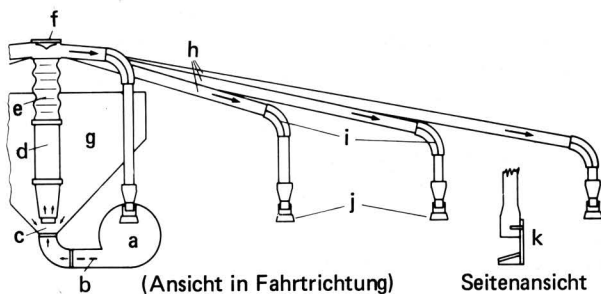
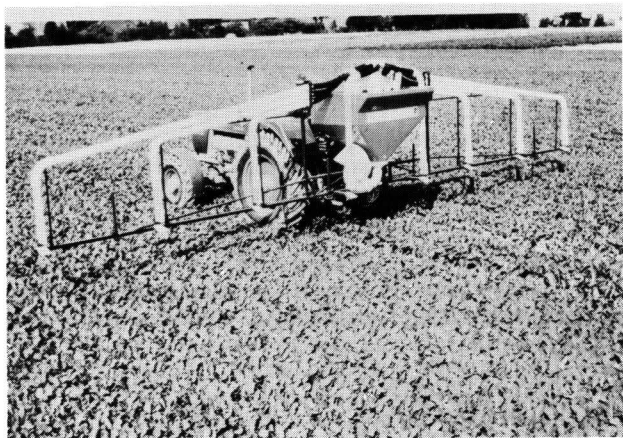


Bild 1. Pneumatisches Streugerät mit zentraler Düngereinspeisung.

oben: Einsatzfoto
unten: Funktionsschema

- | | |
|--------------------|----------------------|
| a Radialgebläse | g Vorratsbehälter |
| b Drosselklappe | h Nebenrohrleitungen |
| c Injektorschleuse | i Leitbleche |
| d, e Hauptrohr | j Prallteller |
| e Wellrohr | k Prallteller |
| f Prallkopf | |

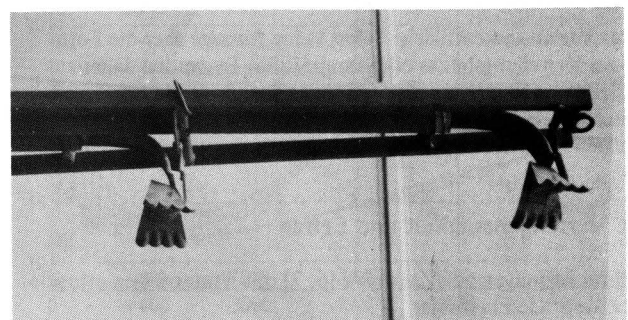
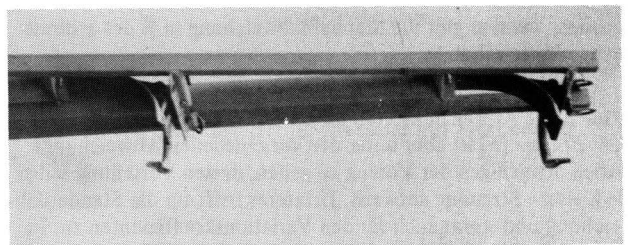


Bild 3. Endverteiler bei separater Düngereinspeisung.

oben: Prallfinger
unten: Prallteller (zweiteilig)

Pneumatische Anbaustreuer werden durch das Dreipunktgestänge des Schlepperheckkrafthebers getragen und beeinflussen daher über den Behälterinhalt und über ihr Leergewicht die Lenkfähigkeit sowie die Standsicherheit des Schleppers. Vornehmlich aus diesem Grunde beträgt die obere Volumengrenze des Düngervorratsbehälters derzeit 1000 l. Zum Heben eines Anbaustreuers mit gefülltem 1000 l Vorratsbehälter ist in der Regel mindestens die Hubkraft eines Krafthebers der Kategorie II nötig.

Pneumatische Anhängedüngerstreuer besitzen ein einachsiges Fahrgestell. Das Volumen des Düngervorratsbehälters beträgt das 2- bis 5fache desjenigen der Anbaustreuer. Mit Hilfe des größeren Vorratsbehälters soll der Zeitbedarf für das Befüllen — bezogen auf eine Gewichtseinheit Dünger — herabgesetzt werden. Das größere Gewicht der Anhängedüngerstreuer kann aber auch eine Begrenzung der Einsatzmöglichkeiten bedeuten. Einige Anbaustreuer können daher wahlweise durch Kombination mit einem einachsigen Anhänger mit kipprer Ladepritsche wie Anhängestreuer eingesetzt werden.

3. Maßzahlen für die Verteilgenauigkeit

Die Verteilgenauigkeit eines Düngerstreuers gilt als optimal, wenn auf jeder Flächeneinheit der zu düngenden Fläche die gleiche Düngermenge abgelegt wird. Abweichungen von dieser optimalen Düngerverteilung können sowohl längs zur Fahrtrichtung als auch quer zur Fahrtrichtung auftreten. Es müssen also die Längsverteilung und die Querverteilung zur Bestimmung der Verteilgenauigkeit auf einem Prüfstand ermittelt werden. Zur Kennzeichnung der Verteilgenauigkeit wird in wissenschaftlichen Arbeiten überwiegend der Variationskoeffizient benutzt:

$$s_r = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

mit:

- x_i = Düngermenge der Meßfläche i
- \bar{x} = Arithmetisches Mittel der Düngermenge aller Meßflächen
- n = Anzahl der Meßflächen
- i = lfd. Nr. der Meßfläche

Der Variationskoeffizient wird auch relative Standardabweichung genannt, denn er gibt die Standardabweichung in % des arithmetischen Mittels \bar{x} an.

Anstelle des Variationskoeffizienten wird zuweilen auch die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert \bar{x} in % angegeben. Nach R.A. Fischer [5] ist aber unter den verschiedenen Abweichungsmaßen demjenigen der Vorzug zu geben, dessen Verteilung selbst die kleinste Streuung aufweist. Letzteres trifft für die Standardabweichung und somit auch für den Variationskoeffizienten zu. In dieser Arbeit wird daher die Verteilgenauigkeit in erster Linie unter Benutzung des Variationskoeffizienten wiedergegeben.

Der Variationskoeffizient liefert keine Aussage über die Form eines Verteilungsbildes oder Streuprofiles. Es werden daher zusätzlich — soweit es zweckmäßig erscheint — die Ergebnisse grafisch durch die Abweichung in % des Mittelwertes für jeden einzelnen Meßwert (x_i) dargestellt.

4. Verteilgenauigkeit und Ertrag

Untersuchungen von Zschuppe [6, 7] mit Winterroggen erbrachten folgende Ergebnisse:

1. Eine ungleichmäßige Verteilung von Stickstoffdünger wirkt sich bei hohen Düngergaben je ha stärker ertragsmindernd aus als bei niedrigen.
2. Die Anforderungen beim Verteilen von Phosphat-, Kali- und Kalkdüngemitteln sind aufgrund der Bevorratung dieser Nährstoffe im Boden und der verteilenden Wirkung von Bodenbearbeitungsgeräten geringer.

3. Extremwerte im Verteilungsbild eines Düngerstreuers, d.h. Maxima und Minima, beeinträchtigen den Ertrag stärker, wenn sie räumlich weit auseinander liegen. Dagegen gleichen sich dicht nebeneinander liegende Extremwerte aus.

Zschuppe [6] empfiehlt aufgrund seiner Ergebnisse, als "obere Grenze für noch zulässige Abweichungen" beim Verteilen von Stickstoffdüngern einen Variationskoeffizienten von 20 % anzusehen. Als oberer Grenzwert für die Verteilgenauigkeit von Phosphat-, Kali- und Kalkdüngemitteln wird $s_r = 30\%$ vorgeschlagen.

Prummel und Datema [4] fanden in den Niederlanden den in Bild 4 wiedergegebenen Ertragsverlust bei Getreide in Abhängigkeit von der Verteilgenauigkeit des Stickstoffdüngers. Der Verlust an Körnerertrag nimmt zunächst progressiv mit der Höhe des Variationskoeffizienten zu. Ab einer Verteilgenauigkeit von etwa $s_r = 50\%$ steigt dann der Ertragsverlust mit abnehmender Verteilgenauigkeit nahezu linear an.

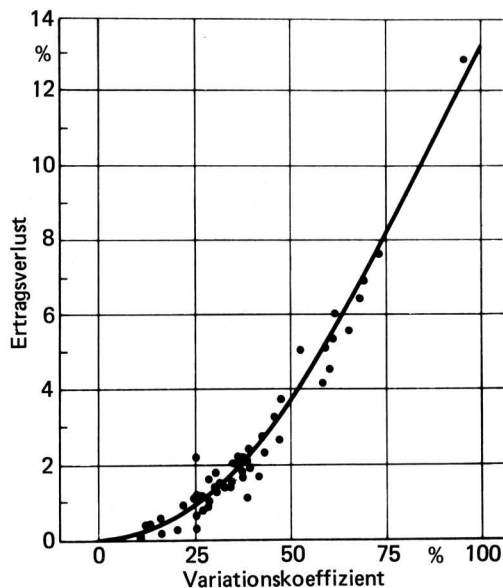


Bild 4. Ertragsverluste bei Getreide durch ungleichmäßige Verteilung von Stickstoffdünger (nach Prummel und Datema, geändert).

5. Methodik und Versuchsdurchführung

Es wurden sowohl die Längsverteilung (längs zur Fahrtrichtung gemessen) als auch die Querverteilung (quer zur Fahrtrichtung gemessen) je eines pneumatischen Anbaustreuers mit zentraler und mit separater Düngereinspeisung untersucht. Das Gerät mit zentraler Düngereinspeisung war mit acht Endverteilern (Pralltellern) ausgestattet, die im Abstand von 125 cm quer zur Fahrtrichtung angeordnet waren. Sofern beim Anschlußfahren dieser Abstand zwischen den äußeren Endverteilern gleichfalls eingehalten wird, ergibt sich somit eine Arbeitsbreite von 10 m, die in den nachfolgenden Darstellungen mit dem Kurzzeichen A_{10} gekennzeichnet ist. Das Gerät mit separater Düngereinspeisung arbeitete mit zwölf Endverteilern in Form von Prallfingern oder Pralltellern, die quer zur Fahrtrichtung einen Abstand von durchschnittlich 75 cm voneinander hatten. Unter den obigen Voraussetzungen entsteht somit eine Arbeitsbreite von 9 m (Kurzzeichen A_9).

Bei pneumatischen Düngerstreuern wird ähnlich wie bei Schleuderstreuern an den Flanken der Streubahnen weniger Dünger abgeworfen als in der Mitte. Ein Überlappen der Streubahnen ist somit auch hier erforderlich. Ein Anschlußfahren mit einer Entfernung zwischen den jeweils äußeren Endverteilern, die dem Abstand der Endverteiler am Gerät entspricht, liefert nicht von vornherein die im Hinblick auf die Querverteilung günstigste Überlappung. Wenn die einzelnen Endverteiler eines Gerätes hinsichtlich der Querverteilung unterschiedliche Streuprofile aufweisen,

so kann durchaus ein Anschlußfahren mit einer anderen Entfernung zwischen den jeweils äußeren Endverteilern ein besseres Ergebnis in der gesamten Querverteilung über die Fläche liefern. Aus diesem Grunde wurden zusätzlich mit Hilfe eines Rechenautomaten bei simulierten Anschlußfahrten mit stetig steigender Überlappung die Querverteilungsergebnisse über die gesamte Fläche ermittelt. Die dabei effektiv erzielte Arbeitsbreite ergibt sich aus der Streubreite abzüglich der halben Überlappung.

Mit zunehmender Überlappung und somit verringerter Arbeitsbreite ergeben sich generell geringere Variationskoeffizienten der Querverteilung; allerdings weist die Kurve der Variationskoeffizienten in Abhängigkeit von der Überlappung (Arbeitsbreite) in der Regel mehrere Minima auf. Da eine sehr starke Überlappung in arbeitswirtschaftlicher Sicht von Nachteil ist, wird beim praktischen Einsatz meistens diejenige Arbeitsbreite angestrebt, bei der mit fortlaufend wachsender Überlappung das erste Minimum des Variationskoeffizienten der Querverteilung erreicht ist. Die bei Untersuchungen über die Verteilgenauigkeit von Schleuderstreuern angegebenen Variationskoeffizienten gelten üblicherweise für dieses erste Minimum in der Querverteilung. Soweit nicht anders angegeben, wird in dieser Arbeit gleichermaßen verfahren. Die beim ersten Minimum des Variationskoeffizienten der Querverteilung sich ergebende Arbeitsbreite ist mit dem Kurzzeichen A_0 gekennzeichnet.

Die Höhe der Variationskoeffizienten ist auch von der Rasterbreite der Auffangelemente abhängig. Je breiter die einzelnen Auffangelemente sind, umso geringere Variationskoeffizienten ergeben sich. Für wissenschaftliche Untersuchungen wird in der Regel eine Rasterbreite von 20 cm benutzt, die auch für die nachfolgenden Daten gilt. Bei Gebrauchswertprüfungen (z.B. DLG-Maschinenprüfungen) ist hingegen eine Rasterbreite von 50 cm üblich, was unter sonst gleichen Voraussetzungen zu geringeren Abweichungen in der Längs- und Querverteilung führt.

Für das Ausbringen mehlförmiger Dünger eignen sich die pneumatischen Streuer noch weniger als die Schleuderstreuer. Mehlförmige Dünger werden auch nach weitestmöglicher Reduzierung der Luftgeschwindigkeit so stark aufgewirbelt, daß eine gezielte Ablage nicht möglich ist.

Zudem werden die Arbeitsbedingungen für den Schlepperfahrer durch Staubbelästigung und schlechte Sichtverhältnisse unzumutbar. Aus diesen Gründen wurden in den Untersuchungen nur granulierten Dünger eingesetzt, und zwar Kalkammonsalpeter, Mehrnährstoffdünger (15/15/15) und Harnstoff. Diese Dünger hatten in der obigen Reihenfolge mittlere Korngrößen von 2,90 mm, 3,25 mm und 1,61 mm.

Die mittleren Luftgeschwindigkeiten in den zu den Endverteilern führenden Rohrleitungen betragen 25 m/s bei zentraler Einspeisung und 21 m/s bei separater Einspeisung für Kalkammonsalpeter und Mehrnährstoffdünger. Eine Änderung dieser Luftgeschwindigkeiten, die bei Zapfwellennormdrehzahl und bei der jeweilig vom Hersteller empfohlenen Einstellung der Drosselklappe am Gebläse erzielt wurden, lieferte keine nennenswerte Verbesserung der Verteilgenauigkeit. Das Verteilen von Harnstoff erforderte niedrigere Luftgeschwindigkeiten, um eine Zerstörung der Granulate durch Aufprall zu vermeiden.

Weitere Einzelheiten können an anderer Stelle eingesehen werden [8].

6. Variationskoeffizienten der Längsverteilung

Die Güte der Längsverteilung ist bei den pneumatischen Streuergäten im wesentlichen von der Gleichförmigkeit der Düngereinspeisung in die luftdurchströmten Rohrleitungen abhängig. Sowohl die zentrale Einspeisung als auch die separate Einspeisung lieferten mit Variationskoeffizienten im Bereich von 2 bis 3 % sehr gute Längsverteilungen. Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Einspeisesystemen waren nicht nachzuweisen.

Zum Vergleich sei noch angeführt, daß die Längsverteilung auch beim Schleuderstreuer in der Regel durchaus keinen Anlaß zur Beanstandung bietet, wenngleich bei diesem Gerät der Variationskoeffizient der Längsverteilung um das Zwei- bis Dreifache höher liegt [8].

7. Variationskoeffizienten der Querverteilung

In Bild 5 bis 7 sind die Variationskoeffizienten der Querverteilung in Abhängigkeit von dem Düngerförderstrom, der Düngerart und der Arbeitsbreite (Überlappung) dargestellt. Bei zentraler Düngereinspeisung, Bild 5, ergeben sich für Mehrnährstoffdünger und Kalkammonsalpeter Variationskoeffizienten im Bereich von 4 bis 16 %, wobei im allgemeinen beim Mehrnährstoffdünger die gleichmäßigere Verteilung entsteht. Die separate Düngereinspeisung liefert für die gleichen Dünger im Ganzen etwas ungünstigere Ergebnisse, und zwar sowohl bei der Querverteilung durch Prallfänger, Bild 6, als auch durch Prallteller, Bild 7. Bei der Querverteilung durch Prallfänger verschlechtert sich die Verteilgenauigkeit mit zunehmendem Düngerförderstrom.

Der Harnstoff wurde nur mit geringem Düngerstrom verteilt, da als Folge des sehr hohen N-Gehaltes nur geringe Gaben je ha und entsprechend geringe Durchsätze nötig sind. Mit Ausnahme der höheren Werte bei separater Einspeisung und Querverteilung durch Prallteller ergeben sich Variationskoeffizienten der Querverteilung zwischen 9 und 21 %.

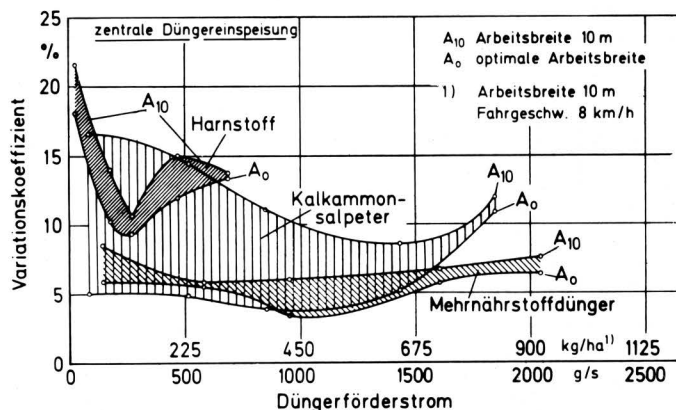


Bild 5. Verteilgenauigkeit, dargestellt durch den Variationskoeffizienten der Querverteilung, in Abhängigkeit vom Düngerförderstrom und von der Düngerart für das Gerät mit zentraler Einspeisung.

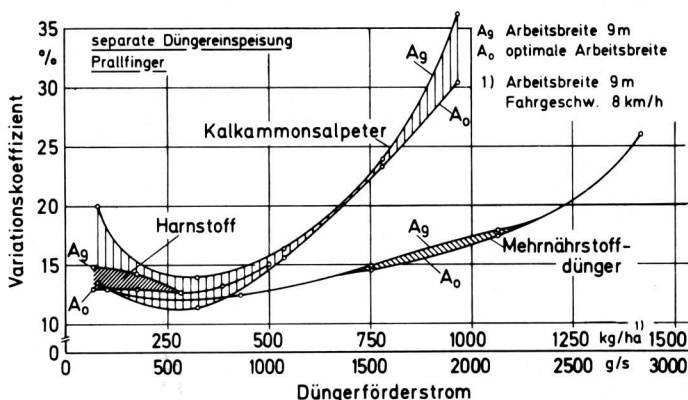


Bild 6. Verteilgenauigkeit, dargestellt durch den Variationskoeffizienten der Querverteilung, in Abhängigkeit vom Düngerförderstrom und von der Düngerart für das Gerät mit separater Düngereinspeisung und Endverteilung über Prallfänger.

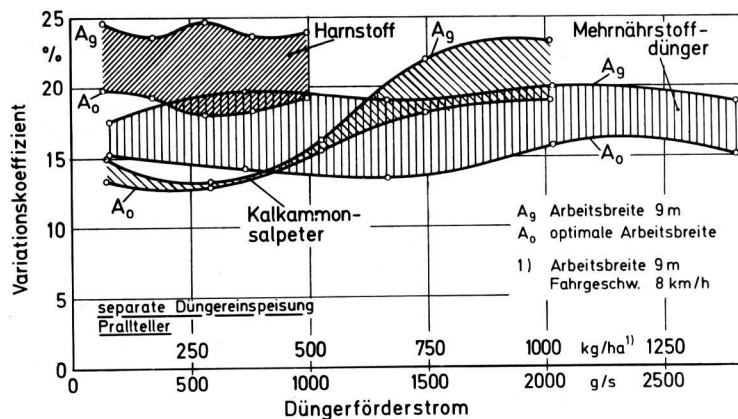


Bild 7. Verteilgenauigkeit, dargestellt durch den Variationskoeffizienten der Querverteilung, in Abhängigkeit vom Düngereinspeisungsstrom und von der Düngertyp für das Gerät mit separater Düngereinspeisung und Endverteilung über Prallteller.

Die Differenzen zwischen den Arbeitsbreiten A_{10} (zentrale Einspeisung) oder A_9 (separate Einspeisung) einerseits und der Arbeitsbreite A_0 andererseits zeigen den Einfluß des Abstandes beim Anschlußfahren auf das Verteilergebnis. Das Anschlußfahren mit einer Entfernung zwischen den jeweils äußeren Endverteilern, die dem Abstand der Endverteiler am Gerät entspricht (Arbeitsbreite A_{10} oder A_9), liefert in einigen Fällen die gleiche Verteilgenauigkeit wie das Anschlußfahren mit einer Überlappung entsprechend dem ersten Minimum des Variationskoeffizienten (Arbeitsbreite A_0). In diesen Fällen sind die Arbeitsbreiten A_{10} oder A_9 einerseits sowie die Arbeitsbreite A_0 identisch. Bei der Benutzung von Pralltellern ergeben sich allerdings sowohl bei zentraler als auch bei separater Einspeisung in vielen Fällen deutliche Unterschiede bei beiden Arbeitsbreiten in der Verteilgenauigkeit.

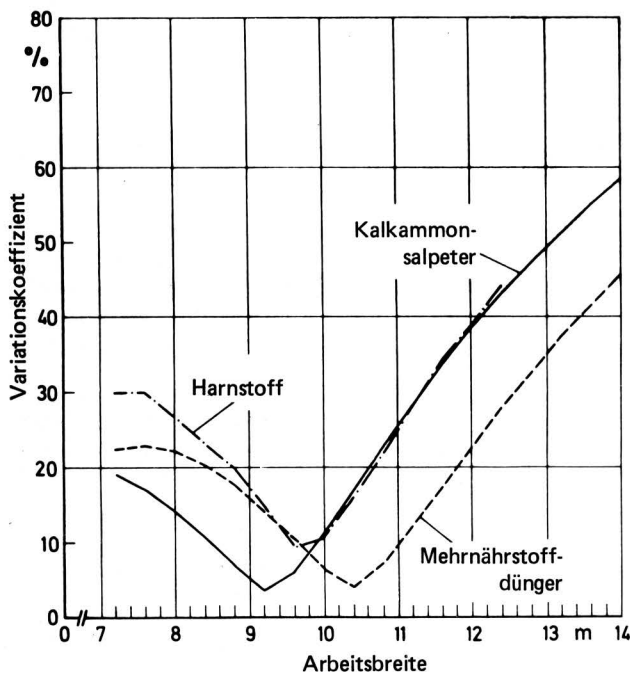


Bild 8. Verteilgenauigkeit, dargestellt durch den Variationskoeffizienten der Querverteilung, in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite bei verschiedenen Düngertypen.

Die Arbeitsbreite A_0 ist jedoch in der Regel nicht praxisrelevant. In der Praxis muß oft mit einer konstanten Arbeitsbreite operiert werden. Beim Getreidebau mit Fahrgassen ist z.B. die Arbeitsbreite des Düngereinspeisungsgerätes mit der Arbeitsbreite der Pflanzenschutz-

spritze und einem ganzzahligen Vielfachen der Arbeitsbreite der Sämaschine abzustimmen. Bei der Kopfdüngung von Hackfrüchten und Mais muß die Arbeitsbreite des Düngereinspeisungsgerätes gleichfalls einem ganzzahligen Vielfachen der Reihenweite entsprechen, da nur ein Befahren des Reihenzwischenraumes in Betracht kommt. Der Landwirt ist darüber hinaus nicht in der Lage, die der optimalen Überlappung entsprechende Arbeitsbreite A_0 jeweils zu ermitteln, zumal diese Arbeitsbreite A_0 ja auch von den wechselnden physikalischen Eigenschaften der Dünger, Bild 8, von den unterschiedlichen gewünschten Düngerdurchsätzen u.a. abhängig ist. Es sollte daher bei einem Anschlußfahren mit einer Entfernung zwischen den jeweils äußeren Endverteilern, die deren Abstand am Gerät entspricht, gleichzeitig auch die optimale Überlappung (Arbeitsbreite A_0) erreicht werden. Voraussetzung dafür ist, daß alle Breitverteilorgane die gleiche Düngermasse je Zeiteinheit abstreuen und das gleiche Streuprofil liefern.

8. Querverteilungsbild und Streuprofile

Die Querverteilung über die gesamte Fläche ist bei richtiger Überlappung nur vom Verteilungsbild abhängig, das der Streuer bei den einzelnen Fahrten über das Feld hinterläßt. Bei der pneumatischen Verteilung setzt sich dieses Verteilungsbild wiederum aus den sich überlappenden Streuprofilen der einzelnen Endverteiler zusammen.

In Bild 9 bis 11 sind über den Rastern der Auffangvorrichtung und der dazugehörigen Breite quer zur Fahrtrichtung die Streuprofile der einzelnen Breitstreuerorgane eingetragen. Durch Ordinatenaddition der Streuprofile aller Endverteiler erhält man das Verteilungsbild des gesamten Gerätes.

Das Verteilungsbild entsteht durch eine sehr starke Überlappung der einzelnen Streuprofile. Bei zentraler Düngereinspeisung, Bild 9, streut jeder Prallteller im Mittel über eine Breite von 7,6 m ab; bei einem Pralltellerabstand von 1,25 m wird somit jede Flächeneinheit von rund sechs Pralltellern bestreut.

Ähnliche Verhältnisse ergeben sich für die separate Düngereinspeisung. Die einzelnen Streuprofile erstrecken sich hierbei im Mittel jeweils über eine Breite von 4,0 m bei Verwendung von Prallfingern und 5,0 m bei Benutzung von Pralltellern. Bei einem Abstand der Endverteiler von durchschnittlich 0,75 m wird somit jede Flächeneinheit von fünf bis nahezu sieben Prallkörpern ab bestreut.

Die Form der einzelnen Streuprofile ähnelt bei dem Gerät mit zentraler Einspeisung dem Verteilungsbild eines Schleuderstreuers. Da in diesem Fall auch die Breite der einzelnen Streuprofile fast der Streubreite eines Schleuderstreuers entspricht, so wird – vereinfacht ausgedrückt – in ähnlicher Weise verteilt, wie wenn ein Schleuderstreuer bei etwa sechsfacher Überlappung und entsprechend herabgesetztem Düngerdurchsatz der Maschine mit einem Fahrspurabstand von 1,25 m eingesetzt wird. Es ist bekannt, daß bei einem derartigen Einsatz des Schleuderstreuers eine sehr hohe Verteilgenauigkeit erreicht werden kann [2, 3]; die damit verbundenen arbeitswirtschaftlichen Nachteile lassen aber ein derartiges Verfahren ausscheiden. Bei pneumatischer Verteilung kann die mehrfache Überlappung entsprechend der Zahl der Endverteiler ohne arbeitswirtschaftliche Nachteile angewandt werden.

Die in den Bildern 9, 10 und 11 dargestellten Verteilungsbilder entsprechen in grober Annäherung jeweils einem Trapez. Im Vergleich zum bekannten Verteilungsbild des Schleuderstreuers ergeben sich steilere Flanken; es ist daher ein genaueres Anschlußfahren ratsam. Es kann aber auch bei exaktem Überlappen der trapezähnlichen Verteilungsbilder keine gleichmäßige Verteilung über die Fläche erzielt werden, wenn zwischen den Flanken eines Verteilungsbildes größere Einschnitte vorhanden sind. Der nachteilige Einfluß derartiger Einschnitte innerhalb der Flanken auf die Verteilgenauigkeit wird beim Anschlußfahren nicht beseitigt, wenn, wie allgemein üblich, die Überlappung bis zum ersten Minimum des Variationskoeffizienten der Querverteilung erfolgt. Besonders

die Verteilungsbilder bei separater Düngereinspeisung, Bilder 10 und 11, zeigen sehr tiefe Einschnitte zwischen den Flanken. Die Ursache hierfür ist in den ungleichmäßig und steil verlaufenden Streuprofilen der Prallfinger und Prallteller bei separater Einspeisung zu suchen. Das Dünger-Luft-Gemisch wird nach der separaten Einspeisung zunächst in den horizontal angeordneten Rohrleitungen seitwärts transportiert und jeweils unmittelbar vor den Prallkörpern durch gekrümmte Leitbleche nach unten abgelenkt,

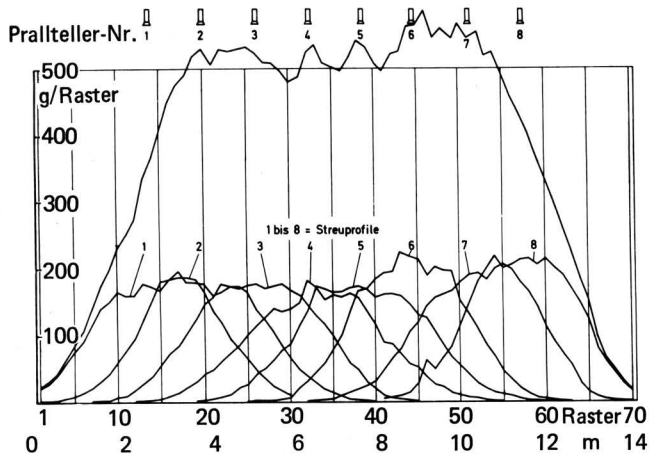


Bild 9. Verteilungsbild und Streuprofile bei zentraler Düngereinspeisung und Mehrnährstoffdünger.

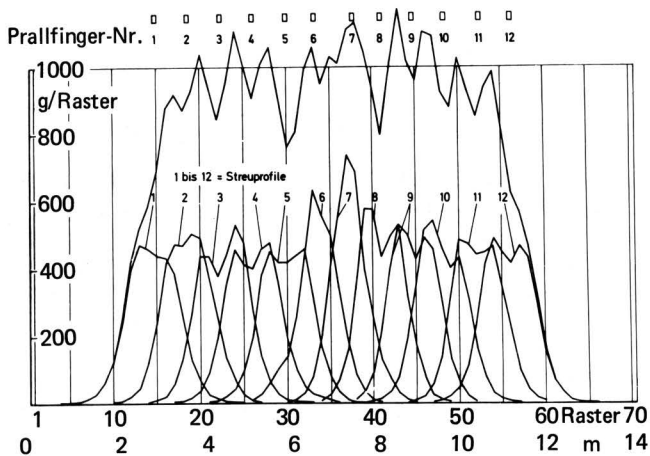


Bild 10. Verteilungsbild und Streuprofile bei separater Düngereinspeisung, Querverteilung durch Prallfinger und Mehrnährstoffdünger.

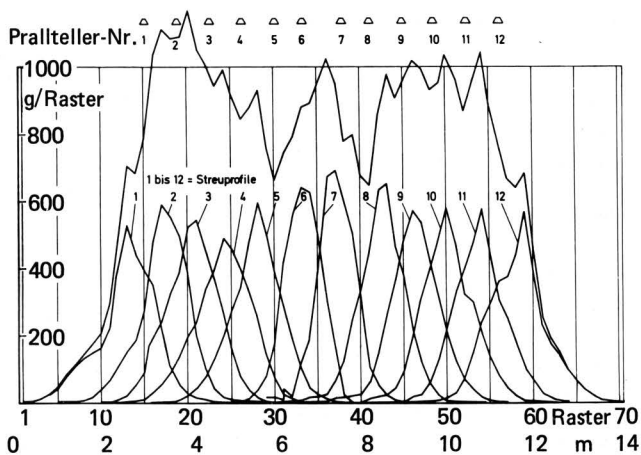


Bild 11. Verteilungsbild und Streuprofile bei separater Düngereinspeisung, Querverteilung durch Prallteller und Mehrnährstoffdünger.

Bild 3. Die Ablenkung des Dünger-Luft-Gemisches unmittelbar vor Erreichen der Prallkörper erschwert eine gezielte und gleichmäßige Beaufschlagung der Prallfinger oder Prallteller. Die Streuprofile für die Prallfinger, Bild 10, weisen im übrigen oft mittig eine Vertiefung auf, die durch Halbieren und Ablenken des Düngerstromes nach beiden Seiten des jeweiligen Prallfingers entsteht.

9. Optimierung der Querverteilung

Die Querverteilung ist im wesentlichen abhängig von:

1. der Form der Streuprofile der Prallkörper (Endverteiler),
2. der Überlappung der Streuprofile und somit vom Abstand der Prallkörper quer zur Fahrtrichtung.

Wenn im Idealfall sämtliche Prallkörper das gleiche Streuprofil z.B. in Form eines exakten Rechtecks, Dreiecks oder Trapezes aufweisen, so kann bei passender Überlappung eine völlig gleichmäßige Querverteilung erreicht werden. Dieser Idealfall ist mit tragbarem technischen Aufwand vermutlich nicht zu erreichen. Es soll deshalb untersucht werden, wie sich die Querverteilung bei den empirisch ermittelten Streuprofilen in Abhängigkeit vom Abstand der Prallkörper quer zur Fahrtrichtung ändert. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Streuprofile der einzelnen Endverteiler eines Gerätes nicht gleich sind, wenngleich auch im Prinzip Ähnlichkeiten vorliegen.

Bei einer Optimierung der Querverteilung könnten Differenzen in der Form benachbarter Streuprofile eines Gerätes durch unterschiedliche Abstände zwischen den einzelnen Prallkörpern zumindest teilweise ausgeglichen werden. Einer solchen Optimierung kommt aber nur theoretische Bedeutung zu. Bei praktischem Einsatz ergeben sich in Abhängigkeit von den physikalischen Eigenschaften der Dünger, vom Durchsatz etc. unterschiedliche Streuprofile. Der Landwirt ist nicht in der Lage, diese unterschiedlichen Streuprofile immer wieder zu erfassen und die entsprechenden einzelnen Pralltellerabstände zu berechnen. Darüber hinaus würde auch die wahlweise Änderung der Prallkörperabstände einen hohen technischen Aufwand erfordern. Es erscheint deshalb sinnvoll, von einem gleichen Abstand zwischen allen Prallkörpern eines Gerätes auszugehen.

Bei gleichem Abstand zwischen allen Prallkörpern ist für eine hohe Verteilgenauigkeit auch das gleiche Streuprofil für alle Endverteiler anzustreben. In einer Modellkalkulation wurde deshalb aus den in den Bildern 9, 10 und 11 dargestellten Streuprofilen für jede der drei Prallkörperformen das jeweilig mittlere Streuprofil ermittelt. Dieses mittlere Streuprofil wurde dann für alle Prallkörper eines Gerätes unterstellt. Der dabei erhaltene Variationskoeffizient der Querverteilung wurde den Werten bei Benutzung des individuell zu jedem einzelnen Prallkörper gehörenden Streuprofiles gegenübergestellt. Dieser Vergleich gibt Aufschluß darüber, in welchem Maß die Verteilung durch eine Vergleichmäßigung der Streuprofile verbessert werden kann. Für beide Fälle wurde in der Rechnung der Abstand zwischen benachbarten Prallkörpern eines Gerätes variiert. Die Bilder 12 bis 14 enthalten die Ergebnisse dieser Optimierungsrechnung.

Die Variationskoeffizienten verringern sich generell sowohl bei zentraler als auch bei separater Einspeisung mit abnehmendem Abstand der Prallteller und somit wachsender Überlappung; indes ergeben sich auch hier für die Kurven der Variationskoeffizienten in Abhängigkeit von der Überlappung in der Regel mehrere Minima (vergl. Abschnitt 5). Die durch gleichmäßige Streuprofile möglichen Verbesserungen in der Verteilgenauigkeit sind bei großem Pralltellerabstand im allgemeinen gering; eine Ausnahme ergibt sich lediglich für das Gerät mit Prallteller und separater Einspeisung, Bild 14. Bei den derzeit üblichen kleinen Pralltellerabständen ist aber das Vergleichmäßigen der Streuprofile als die wirksamste Methode zur weiteren Verbesserung der Verteilgenauigkeit anzusehen, Bilder 12, 13 und 14. Die Ergebnisse zeigen ansonsten sehr deutlich den Vorteil der großen Streuprofilbreite des Gerätes mit zentraler Düngereinspeisung.

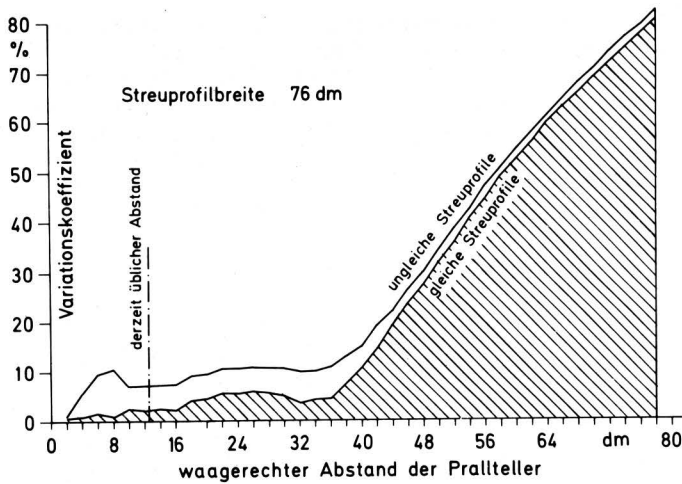


Bild 12. Variationskoeffizient der Querverteilung in Abhängigkeit vom Abstand der Prallteller; Rechenergebnis für gleiche bzw. ungleiche Streuprofile — zentrale Düngereinspeisung, Prallteller.

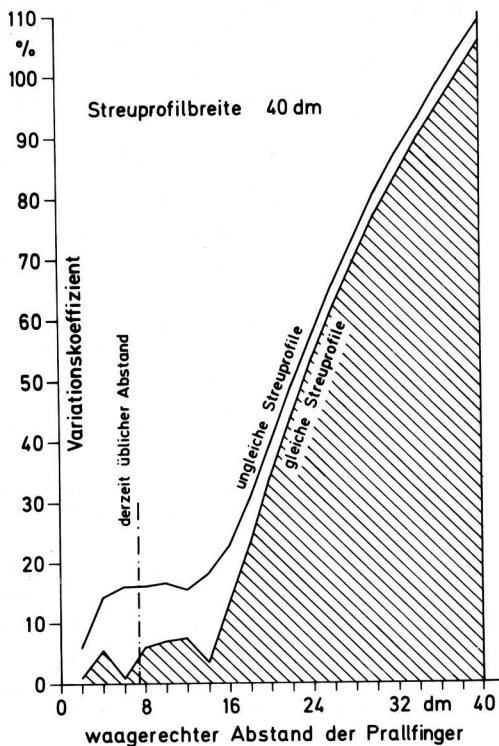


Bild 13. Variationskoeffizient der Querverteilung in Abhängigkeit vom Abstand der Prallfinger; Rechenergebnis für gleiche bzw. ungleiche Streuprofile — separate Düngereinspeisung, Prallfinger.

10. Leistungsbedarf

Der Bedarf an Motorleistung kann aufgeteilt werden in den Bedarf für die Fortbewegung von Schlepper und Gerät einerseits und für den Zapfwellenantrieb andererseits.

Für die Fortbewegung von Schlepper und Gerät ergab sich bei der Kopfdüngung von Getreide mit einer Fahrgeschwindigkeit von 9,5 km/h ein Leistungsbedarf von 9,0 kW. Der Leistungsbedarf für den Zapfwellenantrieb betrug maximal 23,6 kW bei zentraler Einspeisung und 9,5 kW bei separater Einspeisung. Der höhere Leistungsbedarf bei der zentralen Einspeisung entsteht vornehmlich als Folge des höheren Luftdurchsatzes und des höheren statischen Luftdruckes.

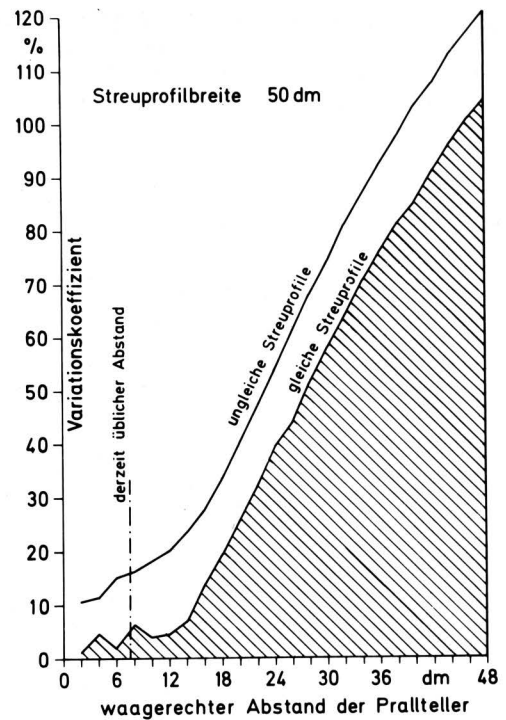


Bild 14. Variationskoeffizient der Querverteilung in Abhängigkeit vom Abstand der Prallteller; Rechenergebnis für gleiche bzw. ungleiche Streuprofile — separate Düngereinspeisung, Prallteller.

Für den Zapfwellenantrieb eines Schleuderstreuers ist nach *Seemann* [9] eine Leistung von maximal nur 1,5 kW nötig. Unterstellt man schließlich für die Fortbewegung von Schlepper und Gerät beim Einsatz des Schleuderstreuers gleichfalls den oben für die pneumatischen Streuer angegebenen Leistungsbedarf und berücksichtigt man eine Leistungsreserve von 20 % für den Schleppermotor, so ergibt sich insgesamt ein Leistungsbedarf von 40,7 kW bei pneumatischer Verteilung mit zentraler Einspeisung, von 23,1 kW bei pneumatischer Verteilung mit separater Einspeisung und 13,1 kW für den Schleuderstreuer.

Der Schlepper muß zusätzlich die zum Ausheben des Düngerstreuers nötige Hubkraft am Kraftheber aufbringen können, ohne daß Lenkfähigkeit und Standsicherheit beeinträchtigt sind. Schlepper mit einer Motorleistung unter 40 kW sind in der Regel nicht in der Lage, bei Anbaustreuern mit 1000 l Düngervorrat diese Voraussetzung zu erfüllen (s. Abschnitt 2).

11. Wirtschaftlichkeit des Einsatzes

Zur Beurteilung des wirtschaftlichen Einsatzes eines pneumatischen Düngerstreuers anstelle eines Schleuderstreuers kann ein Kosten-Nutzen-Vergleich dienen.

Bild 15 enthält die Maschinenkosten in DM je ha und Jahr, die in Abhängigkeit von der jährlich geernteten Fläche bei Einsatz eines pneumatischen Streuers und bei Einsatz eines Schleuderstreuers entstehen. In beiden Fällen sind Anbaugeräte mit 1000 l Düngervorrat unterstellt. Die Ermittlung der Maschinenkosten erfolgte nach der von *Schaefer-Kehnert* vorgeschlagenen vereinfachten Methode [10]. Der pneumatische Streuer verursacht 3,6 mal so hohe Maschinenkosten wie der Schleuderstreuer.

Auf der Nutzenseite der pneumatischen Düngerverteilung steht die möglicherweise größere Verteilgenauigkeit und ein daraus resultierender höherer Ertrag. Da das Getreide 70 % der Ackerfläche in der Bundesrepublik einnimmt und bislang lediglich für diese Frucht genaue Daten über den Einfluß der Verteilgenauigkeit auf den Ertrag vorliegen, **Bild 4**, erfolgte die Nutzenkalkulation nur für Getreideanbau.

Allgemeingültig exakte Angaben über die Verteilgenauigkeit von Düngerstreuern scheitern nun aber leider daran, daß in der Regel lediglich ein vergleichsweise weiter Bereich für die verfahrensspezifischen Variationskoeffizienten angegeben werden kann. Für grobkörnige Dünger wie z.B. Kalkammonsalpeter und Mehrnährstoffdünger ergaben sich auf dem Prüfstand bei pneumatischer Verteilung mit geeigneten Querverteilorganen Variationskoeffizienten von 4 bis 16 %, Bild 5. Falls trotz Fahrgassen ein Anschlußfahrfehler von 0,4 m entsteht, so erhöhen sich die Variationskoeffizienten der Querverteilung um 4 % auf maximal 20 %.

Für den Schleuderstreuer gilt in besonderem Maße ein weiter Schwankungsbereich in der Verteilgenauigkeit. Während *Göhlich* und *Kesten* [2] bei optimaler Abstimmung der Einflußfaktoren auf dem Prüfstand sehr gute Verteilergebnisse erzielen konnten, wurden beim praktischen Einsatz in der DDR Variationskoeffizienten von 45 bis 70 % ermittelt [11, 12, 13]. Nach *Isensee* [14] variieren die Variationskoeffizienten für den Schleuderstreuer von 4 bis 100 %. Dieser weite Schwankungsbereich ergibt sich aus den zahlreichen Einflußfaktoren, deren optimale Abstimmung leider oft nicht gelingt (s. Abschnitt 1). Bei Einsatz pneumatischer Streugeräte sind Bedienungsfehler wesentlich seltener zu erwarten. Es ist indes ähnlich wie bei derzeitigen Pflanzenschutzspritzen ein genaues Anschlußfahren mit konstanter Fahrgeschwindigkeit und Zapfwelldrehzahl nötig.

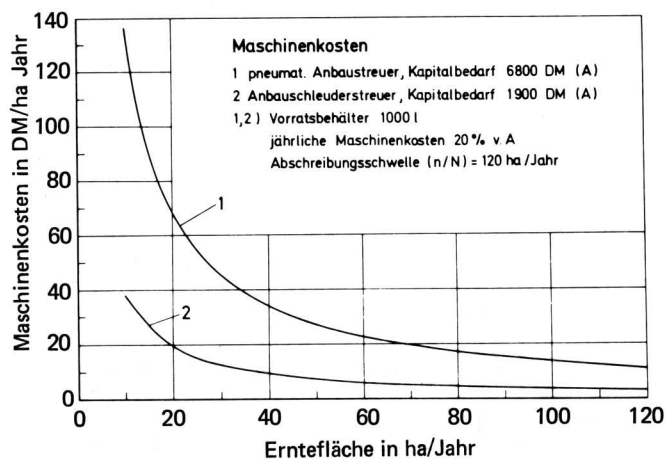


Bild 15. Kosten eines pneumatischen Anbaustreuers und eines Schleuderstreuers.

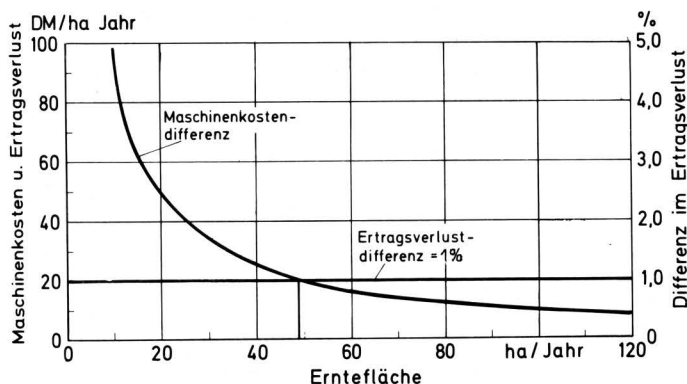


Bild 16. Differenz der Maschinenkosten und des Ertragsverlustes.

Körnerertrag 50 dt/ha
Getreidepreis 40 DM/dt

Insgesamt gesehen erfordert der wirtschaftliche Einsatz eines pneumatischen Düngerstreuers, daß die Maschinenkostendifferenz zum Schleuderstreuer nicht größer ist als der monetäre Nutzen durch die gleichmäßigere Düngerverteilung. In Bild 16 ist die Differenz in den Maschinenkosten der beiden Streusysteme im Vergleich zu

Differenzen im Ertragsverlust durch eine ungleichmäßige Düngerverteilung dargestellt. Unterstellt man z.B. beim Einsatz des Schleuderstreuers einen Variationskoeffizienten der Querverteilung von 30 bis 35 %, bei pneumatischer Düngerverteilung dagegen von rund 20 %, so ergibt sich nach *Prummel* und *Datema* [4] eine Differenz im Ertragsverlust durch ungleichmäßige Düngerverteilung von 1 %, s. Bild 4. Eine derartige Differenz im Ertragsverlust durch ungleichmäßige Düngerverteilung erfordert für den wirtschaftlichen Einsatz eines pneumatischen Streuers eine jährlich geerntete Getreidefläche von mindestens 49 ha, Bild 16. Je größer die Getreidefläche ist, umso geringere Differenzen im Ertragsverlust genügen für die Abdeckung der Mehrkosten für die pneumatische Verteilung. Bei einer Getreidefläche von 100 ha reicht deshalb eine Differenz im Ertragsverlust von 1/2 % schon aus.

12. Einsatzbereich

Pneumatische Düngerstreuer liefern ein Querverteilungsbild, das in Annäherung einem Trapez entspricht. Im Vergleich zum Schleuderstreuer zeigt das Querverteilungsbild im allgemeinen steilere seitliche Flanken. Es ist daher ein genaueres Anschlußfahren als beim Einsatz des Schleuderstreuers nötig.

Ein genaues Anschlußfahren erfordert sowohl Steuerhilfen für den Schlepperfahrer (z.B. Fahrgassen im Getreide) als auch eine hierauf abgestimmte gleichbleibende Arbeitsbreite des Düngerstreuers. Während nun aber die Arbeitsbreite eines Schleuderstreuers in Abhängigkeit von vielen Einsatzfaktoren sich ändern kann, wird bei pneumatischer Verteilung die Forderung nach einer gleichbleibenden Arbeitsbreite im wesentlichen erfüllt. Ein genaueres Anschlußfahren als beim Einsatz eines Schleuderstreuers ist folglich auch möglich.

Da pneumatische Streuer höhere Kosten verursachen als Schleuderstreuer, erscheint ihr Einsatz vornehmlich zu denjenigen Früchten und bei denjenigen Düngern sinnvoll, die eine hohe Verteilgenauigkeit erfordern. Im Vordergrund steht dabei die Verteilung fester stickstoffhaltiger Dünger zu Getreide. Ob der Einsatz in reinen Grünlandbetrieben zweckmäßig ist, ist fraglich. Das Grünland stellt vermutlich geringere Ansprüche an die Verteilgenauigkeit als das Getreide. Das Fehlen von Fahrgassen oder Pflanzenreihen erschwert hier das bei der pneumatischen Verteilung erforderliche genaue Anschlußfahren. Während auf unbestelltem Acker immerhin der Einsatz von Spuranreißern möglich ist, ist auf dem Grünland für das genaue Anschlußfahren eine Schaumpspureinrichtung nötig.

In einigen Betrieben wird schließlich auch die fehlende Eignung der pneumatischen Streugeräte für staubförmige Dünger die Einsatzmöglichkeiten noch begrenzen.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Brübach, M. u. H. Göhlich*: Der Einfluß der Düngergranulatoreigenschaften auf die Verteilung. Landtechnik Bd. 28 (1973) Nr. 9/10, S. 289/92.
- [2] *Göhlich, H. u. E. Kesten*: Einflüsse auf das Verhalten von Haufwerksströmen auf Schleuderscheiben von Mineraldüngerstreuern. Grundl. Landtechnik Bd. 22 (1972) Nr. 1, S. 11/15 u. Nr. 2, S. 43/46.
- [3] *Murat, H.*: Principes de distribution centrifuge et pneumatique. "Etudes du CNEEMA", Nr. 400, Paris-Antony 1975.

- [4] Prummel, J. u. P. Datema: Strooiregelmaat van kunst-meststrooiers en de betekenis daarvan voor de opbrengst. Landbouwmeechanisatie Bd. 13 (1962) S. 742/52.
- [5] •Weber, E.: Grundriß der biologischen Statistik. 7. Aufl., Stuttgart: G. Fischer 1972, S. 96.
- [6] Zschuppe, H.: Anforderungen an die Streugenaugigkeit von Düngerstreuern, untersucht am Einfluß ungleichmäßig verteilten Stickstoffdüngers auf den Ertrag von Winterroggen. Diss. Dt. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Berlin 1967.
- [7] Zschuppe, H.: Untersuchungen über den Einfluß der Streugenaugigkeit von Düngerstreuern auf den Pflanzenertrag. Archiv für Landtechnik (1968) Nr. 1, S. 111/20.
- [8] •Rühle, K.: Die Mineraldüngerverteilung unter besonderer Berücksichtigung pneumatischer Streugeräte. Diss. Univ. Bonn, 1975 (KTBL Schrift 198, 1975).
- [9] Seemann, B.: Maschinen für die Mineraldüngung. Agrartechnik Bd. 24 (1974) Nr. 3, S. 114/17.
- [10] •Schaefer-Kehnert, W.: Die Kosten des Landmaschineneinsatzes. Berichte über Landtechnik H. 74, Wolfratshausen 1963.
- [11] Ebert, D. u. W. Klein: Verminderung der Ertragsschwankungen bei Mähdruschfrüchten — große Ertragsreserve. Feldwirtschaft Bd. 13 (1972) Nr. 6, S. 250/52.
- [12] Hannusch, L. u. C. Schmidt: Beziehungen zwischen Ernteertrag und qualitätsgerechter Mineraldüngerausbringung in der Kooperation Görzig. Feldwirtschaft Bd. 12 (1971) Nr. 10, S. 465/67.
- [13] Jauert, R., H. Ansorge u. L. Hannusch: Durch optimale Düngung zu hohen Erträgen in der kooperativen Pflanzenproduktion. Feldwirtschaft Bd. 13 (1972) Nr. 6, S. 261/63.
- [14] Isensee, E.: Beurteilung von Arbeitsverfahren der Mineraldüngung. Die Landarbeit Bd. 24 (1973) Folge 4, S. 27.

Untersuchung der verbrennungstechnischen Eigenschaften von Getreidestroh

Von Hans Wilhelm Orth, Heinrich Peters und Uwe Köhler, Braunschweig*)

DK 662.636:633.004.12

Die Verbrennung von Stroh zur Nutzung der dabei freierwerdenden Wärme kann eine Teillösung des Strohproblems sein. Als Nutzungsmöglichkeiten bieten sich die Gebäudeheizung und die Heizung der Trocknungsanlagen in der Landwirtschaft an.

Zur Auswahl der erforderlichen Verbrennungseinrichtungen werden die bisher nicht bekannten verbrennungstechnischen Eigenschaften von Stroh in einem Versuchsofen technischer Größe ermittelt und für Strohaufwerke unterschiedlicher Schütt- und Einzelaggregatdichte beschrieben.

Es zeigte sich, daß der für eine schadstoffarme Verbrennung erforderliche Ofentyp und die gewünschte Verbrennungsgeschwindigkeit maßgeblich von der spezifischen Oberfläche des Brenngutes abhängig sind.

1. Einleitung

Die Vernichtung wertvoller Rohstoffe beim Abflammen von Getreidestroh auf dem Felde und die damit verbundene Verunreinigung und Gefährdung der Umwelt läßt erkennen, daß dieses Verfahren nur in Ausnahmefällen eine Lösung des Strohproblems sein sollte.

*) Dr.-Ing. H.W. Orth ist Wissenschaftlicher Oberrat, Ing. (grad.) H. Peters Versuchsingenieur im Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode. Dr.-Ing. U. Köhler ist Akademischer Oberrat am Institut für Wärme- und Brennstofftechnik (Direktor: Prof. Dr. techn. R. Dolezal) der Technischen Universität Braunschweig.

Betrachtet man den Heizwert dieses Materials, welcher je nach Getreideart und Feuchte bis 18000 kJ/kg und damit beinahe Werte von Holz, Torf und Braunkohlebriketts erreicht, so kann eine Teillösung des Strohproblems in der Nutzung der bei der Verbrennung freierwerdenden Wärme liegen. Als Nutzungsmöglichkeiten bieten sich die Gebäude-Heizung und die Heizung der Trocknungsanlagen in der Landwirtschaft an.

Die Wahl der erforderlichen Verbrennungseinrichtungen richtet sich in erster Linie nach den verbrennungstechnischen Eigenschaften des verwendeten Brennstoffes [1].

Für den Brennstoff Stroh, welcher in unterschiedlich aufbereiteter Form eingesetzt werden kann, sind diese Eigenschaften nicht bekannt. In der vorliegenden Arbeit wurden sie für Haufwerke unterschiedlicher Schütt- und Einzelaggregatdichte wie Ballen aus Hochdruckpressen (HD-Ballen), Briketts und Häcksel wegen des einfachen Aufbaues in einem Durchbrandofen untersucht.

2. Versuchsaufbau

Der Versuchsofen besteht im wesentlichen aus einer Brennkammer mit luftgekühltem Rost und Mantel, Bild 1. Eine Kraftmeßdose a mißt den Brennstoffumsatz. Wegen der möglicherweise ungleichmäßigen Verbrennung im Ofen wird das Abgas vor Entnahme der Proben für die Analyse b in einem Mischer m vermischt. Temperaturmeßstellen sind vorhanden im Abgaskanal hinter dem Mischer (ϑ_A) und zur Kontrolle der Kühlmitteltemperatur am Kühlmittelaußlaß (ϑ_K).

Zur Beurteilung der Verbrennung werden die entstehenden Abgase mit automatischen Gasanalysengeräten auf ihren Gehalt an CO, CO₂ und O₂ hin untersucht, Bild 2. Alle Messungen erfolgen während des Versuches kontinuierlich, um auch die Vorgänge beim An- und Abfahren des Ofens zu erfassen.