

Entmischung bezüglich der Korngröße beim Verteilen von Mineraldünger

Von Hermann J. Heege, Kiel, und Wilhelm Hellweg, Rietberg*)

DK 631.333.5

Mehrnährstoffdünger, die unmittelbar vor dem Ausbringen durch Mischen von Einnährstoffdüngern hergestellt werden, bringen gegenüber industriell gefertigten Mehrnährstoffdüngern einige Vorteile: Sie sind preisgünstiger, sie lassen sich den individuellen Anforderungen an die Nährstoffzusammensetzung genau anpassen, und die vorherige Zwischenlagerung läßt sich vereinfachen. Für solche Mehrnährstoffdünger ist aber — im Gegensatz zu den industriell hergestellten Mehrnährstoffdüngern — eine Entmischung der verschiedenen Nährstoffkomponenten bei den nachfolgenden Gliedern der Arbeitskette nicht ausgeschlossen. Da als Hauptursache für Entmischungen Unterschiede in den Korngrößenverteilungen der Mischungskomponenten anzusehen sind, wird in diesem Beitrag untersucht, in welchem Umfang bei den derzeit üblichen Streuverfahren eine Entmischung bezüglich der Korngröße eintritt.

1. Einleitung

Die in industriellen Anlagen gefertigten Mehrnährstoffdünger weisen in der Regel in jedem Düngerkorn etwa das gleiche Nährstoffverhältnis auf. Im Gegensatz dazu enthalten die unmittelbar vorm Ausbringen aus Einnährstoffdüngern erstellten Mehrnährstoff- oder Mischdünger in jedem Korn nur die Nährstoffe der jeweiligen Mischungskomponente. In diesem Fall können daher Entmischungskräfte die Düngerpartikel der beteiligten Ausgangskomponenten wieder voneinander trennen. Voraussetzung für eine Entmischung sind unterschiedliche physikalische Eigenschaften der Ausgangskomponenten.

Genau betrachtet, können die Ursachen der Entmischung zwei Einflußgruppen zugeordnet werden:

1. den stoffabhängigen Einflüssen,
2. den prozeßabhängigen Einflüssen.

Zu den stoffabhängigen Einflüssen auf die Entmischung zählen die Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften der Mischungskomponenten wie z.B. Unterschiede in der Korngrößenverteilung, der Korndichte, der Kornform und der Oberflächenbeschaffenheit.

Die prozeßabhängigen Einflüsse auf die Entmischung ergeben sich aus den jeweiligen Umlade-, Förder- und Verteilprozessen im Laufe der Arbeitskette. Im einzelnen ist eine Entmischung immer das Ergebnis des Zusammenwirkens von stoffabhängigen und prozeßabhängigen Einflüssen. Die prozeßabhängigen Einflüsse verursachen nur dann eine Entmischung, wenn stoffabhängige Einflüsse vorhanden sind, und umgekehrt.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bonn-Bad Godesberg, gebührt Dank für die finanzielle Unterstützung dieser Untersuchungen und Herrn Dipl.-Ing. agr. Voßhenrich für die Hilfe.

*) Prof. Dr. H.J. Heege zur Zeit dieser Untersuchung Leiter der Abteilung Landwirtschaftliche Arbeitsverfahren im Institut für Landtechnik der Universität Bonn ist nun Direktor des Instituts für landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel. Dr. W. Hellweg war wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landtechnik, Bonn, und ist jetzt Abteilungsleiter bei den Rietbergwerken KG, Rietberg.

Meistens ist bei Entmischungen nur von Belang, ob die gleichmäßige Verteilung der Nährstoffe auf dem Feld beeinträchtigt wird. Entmischungen am Anfang der Arbeitskette können durch Mischvorgänge bei nachfolgenden Gliedern der Arbeitskette zumindest teilweise wieder aufgehoben werden. Wenn beispielsweise bei der Befüllung eines Großraumstreuers durch Schüttkegelbildung eine Entmischung bezüglich der Korngröße eintritt [1], so wird diese durch Mischvorgänge bei der Düngerzufuhr an das Streuaggregat teilweise wieder rückgängig gemacht. Entmischungen, die beim Verteilen des Düngers auf dem Feld auftreten, sind hingegen irreversibel. Es wird daher in diesem und einem nachfolgenden Beitrag nur die Entmischung beim Verteilen des Düngers behandelt. Die Problematik von Entmischungen am Schüttkegel beim vorhergehenden Umladen des Düngers wurde an anderer Stelle beschrieben [1].

Von den stoffabhängigen Einflüssen kommt den Unterschieden in der Korngrößenverteilung der Mischungskomponenten die größte Bedeutung zu [2]. Dieser Beitrag behandelt die Frage, in welchem Umfang bei Anwendung verschiedener Verteilverfahren eine Entmischung bezüglich der Korngröße auftritt. Der anschließende Beitrag zeigt, in welchem Maße als Folge einer Entmischung bezüglich der Korngröße die Verteilverfahren auch eine Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung verursachen.

2. Bisheriger Kenntnisstand

Eine Entmischung bezüglich der Korngröße beim Verteilen ist nicht nur wegen der möglichen Beeinträchtigung der gleichmäßigen Nährstoffverteilung über die Fläche für aus Einnährstoffdüngern erstellte Mehrnährstoffdünger von Belang. In Ausnahmefällen kann auch bei Einnährstoffdüngern die Häufung bestimmter Korngrößen auf Teilflächen der Streubahn trotz gleichmäßiger Massenverteilung zu Unterschieden in der Wirkung führen. So ist aus Untersuchungen von Mathes u. Brübach [3] bekannt, daß die Herbizidwirkung des Kalkstickstoffs stark von der Korngröße abhängt.

Die Schleuderstreuer werfen bekanntlich den Dünger vom mittleren Aufgabepunkt aus über die Streubahn. Infolge des mit zunehmender Korngröße abnehmenden Luftwiderstandskoeffizienten (Quotient aus Widerstand und Masse des Kornes) [3] erreichen kleinere Partikel eine geringere Wurfweite als die größeren Partikel [3, 4, 5]. Nach Brübach [4] fliegen Partikel mit einer durchschnittlichen Korngröße von 3 mm unter sonst gleichen Bedingungen je nach Dichte 2–3,7mal weiter als Partikel mit einem durchschnittlichen Durchmesser von 0,3 mm. Die Unterschiede in der Wurfweite werden mit abnehmender Abwurfgeschwindigkeit und Abwurfhöhe geringer [4, 5]. Die Wurfweitenunterschiede bewirken eine Anhäufung der feinen Düngeteilchen in Fahrspurnähe. In Verteilversuchen mit feinkörnigem Kalkstickstoff stieg mit der Zunahme der Entfernung von der Fahrspurmitte von 1,40 m auf 3,40 m die mittlere Korngröße von 0,67 mm auf 0,87 mm [3]. Ergebnisse von Versuchen mit grobkörnigen Düngemitteln zeigen mit dem Anstieg der Entfernung von der Fahrspurmitte von 1,50 m auf 3,50 m eine Zunahme der mittleren Korngröße von 2,73 mm auf 3,16 mm [6]. Eine Verringerung des Streuwinkels (Zentriwinkel des sektorförmigen Streubereiches) oder der Wurfweite ergibt eine geringere Entmischung bezüglich der Korngröße [3, 7]. Beide Maßnahmen senken aber auch die Arbeitsbreite und somit die Flächenleistung.

Eine weite Überlappung der Streubahnen beim Verteilen mit dem Schleuderstreuer kann die Unterschiede in der Korngrößenverteilung über die Fläche ausgleichen [8]. Da mit steigender Überlappungsbreite jedoch ebenfalls die Arbeitsbreite und die Flächenleistung sich verringern, bietet diese Methode nur begrenzte Möglichkeiten zum Ausgleich von Entmischungerscheinungen [2].

Pneumatische Verteilsysteme fördern den Dünger in einem Rohrsystem zu den gleichmäßig über die Arbeitsbreite verteilt angeordneten Endverteilern, welche die Breitverteilung vornehmen. In Untersuchungen von *Corley* [9] mit Herbizidgranulaten traten bei diesen Geräten keine Entmischungseffekte auf.

Schneckenstreuer verteilen den Dünger während der Querförderung aus verstellbaren Streuöffnungen im Schneckenmantel. Schneckenstreuer fördern größere Körner weiter in Richtung Streubahnrand als kleinere Körner. Während in der Nähe der Fahrspurmitte von dem dort abgestreuten Dünger nur etwa 10 % auf einem Sieb mit 1,2 mm Maschenweite zurückblieben, waren es bei einem Abstand von 3 m zur Fahrspurmitte schon 30 % [8]. Da bei Schneckenstreuern eine Überlappung der Streubahnen entfällt [10], besteht keine Möglichkeit, auf diese Weise die Entmischung wieder auszugleichen.

3. Zur Versuchsmethodik

Eine Entmischung bezüglich der Korngröße während des Verteilprozesses führt zu Unterschieden im Korngrößenspektrum zwischen Düngerproben von verschiedenen Orten der Streubahn. Während in einigen Bereichen bestimmte Korngrößen, z.B. die großen Partikel, gehäuft abgelegt werden, sind sie in anderen Bereichen der Streubahn unterrepräsentiert. Ist das Streumaterial ein Gemisch aus mehreren Mischkomponenten und der Anteil der Komponenten an den Korngrößenfraktionen unterschiedlich, führt eine ungleichmäßige Verteilung der Korngrößen über die Fläche auch zu einer ungleichmäßigen Nährstoffversorgung der Pflanzen.

Es stellt sich die Alternative, entweder die Ursache einer ungleichmäßigen Verteilung der Nährstoffe, nämlich die Verteilung der Korngrößen über die Fläche, zu messen, oder die Auswirkungen dieser ungleichmäßigen Verteilung der Korngrößen auf die Nährstoffverteilung durch chemische Analysen direkt zu ermitteln. Aus methodischer Sicht und im Hinblick auf das Versuchsziel bietet die Erfassung der Korngrößenverteilung mittels einer Korngrößenanalyse einige Vorzüge:

1. Die Korngrößenanalyse ermöglicht Aussagen über Ort und Umfang einer Entmischung bezüglich der Korngröße bei verschiedenen Verteilverfahren. Sie liefert dabei gleichzeitig Aufschluß über die von der Entmischung betroffenen Korngrößenklassen und kann somit Möglichkeiten zur Verhinderung von Entmischungen aufzeigen.
2. Die Korngrößenanalyse erfordert nicht unbedingt die Verwendung eines Düngergemisches aus verschiedenen Mischungskomponenten. Als Versuchsmaterial eignet sich auch ein Korngemisch aus stofflich identischen Partikeln unterschiedlicher Größe, die nur einem Düngemittel entstammen. Auf diese Weise lassen sich Einflüsse der Korndichte, der Kornform und der Oberflächenbeschaffenheit experimentell ausschalten.

Die Ermittlung der Entmischung über Nährstoffanalysen hingegen erfordert als Streumaterial ein Gemisch aus zumindest zwei verschiedenen Düngern. Die stoffliche Verschiedenheit der Mischungskomponenten ist dann in der Regel aber auch mit Unterschieden in der Dichte, Form und Oberflächenbeschaffenheit zwischen den Körnern verbunden. Es ist nicht ausgeschlossen, daß auch diese Eigenschaften die Nährstoffverteilung über die Fläche beeinflussen. Die Erfassung der Entmischung über Nährstoffanalysen erschwert also die Zuordnung von Ursache und Wirkung bei Versuchen über die Entmischung beim Verteilen.

Aus diesem Grunde wird in diesem Beitrag zunächst nur die Entmischung bezüglich der Korngröße bei den heute üblichen Verteilverfahren untersucht. Die durch eine Entmischung bezüglich der Korngröße sich ergebende Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung für die aus Einnährstoffdüngern gefertigten Mischdünger behandelt der anschließende Beitrag.

4. Versuchsdurchführung

Die Streuversuche wurden auf einem Versuchsstand in einer geschlossenen Halle durchgeführt, um den bei Feldversuchen unvermeidbaren Einfluß von Windbewegungen und Bodenunebenheiten weitgehend auszuschließen. Der Versuchsstand wurde an anderer Stelle bereits beschrieben [10]. Alle Streuer waren auf eine Düngergabe von 300 kg/ha bei einer Fahrgeschwindigkeit von 6 km/h eingestellt.

Im einzelnen kann sich eine Entmischung bezüglich der Korngröße sowohl längs der Fahrtrichtung (in der Längsverteilung) als auch quer zur Fahrtrichtung (in der Querverteilung) auswirken. Eine Entmischung längs der Fahrtrichtung kann auftreten, wenn Dünger beim Austritt aus dem Vorratsbehälter in das Streuorgan unterschiedliche Korngrößenverteilungen aufweisen. Diese sich in der Längsverteilung auswirkende Entmischung ist somit das Ergebnis von Entmischungsvorgängen, die nicht dem eigentlichen Streuprozess anzulasten sind. In den Versuchen wurde daher durch Vermeidung der Schüttkegelbildung beim Umfüllen und auf andere Weise dafür gesorgt, daß der Dünger mit gleichmäßiger Korngrößenverteilung den Vorratsbehälter des Streuers ausfüllte. Systematische Unterschiede in der Korngrößenverteilung längs der Fahrtrichtung waren somit nicht zu erwarten. Alle folgenden Untersuchungen und Ergebnisse beziehen sich auf die Korngrößenverteilung quer zur Fahrtrichtung.

Es wurden mit Hilfe eines Probeteilers von den jeweils 1 m breiten, quer zur Fahrtrichtung angeordneten Meßabschnitten von 45 m Länge (Streubahnstreifen) in dreifacher Wiederholung Proben von 100 g gezogen. Die Korngrößenanalyse erfolgte unter Verwendung einer Prüfsiebmaschine mit horizontal kreisender und vertikal schwingender Siebbewegung. Die Prüfsiebe entsprechen der Normung nach DIN 4188.

5. Verteilverfahren und Streumaterial

Die Entmischung bezüglich der Korngröße wurde an zwei Schleuderstreuern (einem Zweischeibenstreuer und einem Pendelstreuer), einem Schneckenstreuer, einem Bandstreuer und einem Pneumatikstreuer unter folgenden Bedingungen untersucht:

Zweischeiben-Schleuderstreuer

Scheibendurchmesser 380 mm;
Scheibendrehfrequenz 720 min⁻¹;
zwei Streuschaufeln je Scheibe.

Pendel-Schleuderstreuer

Länge des Streurohrs 550 mm;
Pendelfrequenz 540 min⁻¹;
maximaler Pendelausschlag 38°.

Schneckenstreuer

zweiteilige Streuschnecke, Gesamtlänge 6 m;
Durchmesser und Steigung der Schnecke 100 mm;
Schneckenfrequenz 252 min⁻¹;
fünfeckiger Förderkanal;
tropfenförmige Streuöffnungen im Abstand von 165 mm im Boden des Förderkanals;
Streuöffnungsweite am Schneckeneinlauf 13 mm, ansteigend bis auf 22,6 mm am Schneckenauslauf (Einzelheiten hierzu siehe *Hellweg* [10]).

Bandstreuer

zwei quer zur Fahrtrichtung umlaufende Förderbänder, Gesamtlänge 10 m;
 der obere Teil des Förderbandes füllt jeweils einen 80 mm hohen und 90 mm breiten Kanal;
 Förderband beidseitig im Abstand von 200 mm besetzt mit Streufingern;
 Streufinger werden an beiden Kanalseiten durch 4,6 mm hohe Streuschlitze geführt, durch die der Dünger abgeworfen wird;
 Förderbandbreite 70 mm;
 Bandgeschwindigkeit 43 mm/s;
 (weitere Einzelheiten siehe *Hellweg* [10]).

Pneumatikstreuer

zentrale Einspeisung; Zuteilung des Düngers auf 8 Verteilerrohre mittels Prallkopf;
 am Ende der Verteilerrohre Prallteller zum Breitverteilen des Düngers;
 Luftgeschwindigkeit in den Rohrleitungen 25 m/s;
 Pralltellerabstand quer zur Fahrtrichtung 1,25 m.
 (weitere Einzelheiten siehe *Rühle* [11]).

Bei den Schleuderstreuern und beim Pneumatikstreuer nimmt die pro Breitereinheit ausgebrachte Masse zu den Streubahnrändern hin ab. Zur Erzielung einer gleichmäßigen Verteilung der ausgebrachten Masse ist daher eine Überlappung der benachbarten Streubahnen nötig. Die Überlappung erfolgte auf rechnerischem Wege mit der Unterstellung, daß sich die Streubahnen in Kehrfahrt (das bedeutet Hin- und Rückfahrt an der gleichen Feldseite) überlagern. Bei dem Pneumatikstreuer wurde die Überlappung so gewählt, daß der Abstand zwischen den bei Kehrfahrt aneinandergrenzenden Pralltellern dem Pralltellerabstand innerhalb des Gerätes entsprach. Dies entspricht dem im praktischen Einsatz üblichen Vorgehen, das im allgemeinen auch eine gleichmäßige Verteilung der ausgebrachten Masse liefert.

Bei den Schleuderstreuern ist die für eine gleichmäßige Verteilung der ausgebrachten Masse erforderliche Überlappungsbreite im einzelnen von der Verteilung innerhalb der Streubahn abhängig. Je flacher die Verteilungskurve für die Masse zu den Streubahnrändern hin abfällt, umso mehr muß im allgemeinen überlappt werden, und umgekehrt.

Der Zweiseiben-Schleuderstreuer lieferte eine Streubreite von 17 m, der Pendel-Schleuderstreuer von 13 m. Die an den Rändern der Streubahn sehr flach abfallende Verteilungskurve des Zweiseibenstreuers erforderte eine stärkere Überlappung als die steiler abfallende Verteilungskurve des Pendelstreuers. Die Arbeitsbreite der Schleuderstreuer ergibt sich aus der Streubreite abzüglich der anteiligen Überlappung: sie entspricht dem Abstand der Fahrspurmitteln beim Anschlußfahren.

Als Streumaterial dienten drei Korngemische, die aus dem Phosphatdünger Novaphos erstellt wurden. Dieser Dünger wurde zu diesem Zwecke vorweg mit Hilfe einer Siebmaschine in Korngrößenklassen zerlegt. Durch Zusammenfügen und Vermischen bestimmter Korngrößenklassen wurden dann die in **Bild 1** dargestellten Korngemische I, II und III geschaffen. Die Siebrückstandssummenkurven zeigen, daß in der Reihenfolge der Korngemische I, II und III das Korngrößenspektrum sich verengt, die mittlere Korngröße (50 %-Wert) zunimmt.

6. Statistische Verrechnung und Darstellung

Da auf eine experimentelle Überlappung der Streubahnen der Schleuder- und Pneumatikstreuer verzichtet wurde, entspricht die mittels der Siebanalyse gewonnene Korngrößenverteilung in den Streubahnstreifen zunächst den Verhältnissen vor der Überlappung. Bei der rechnerischen Überlappung werden dann die Düngermassen der sich überlagernden Streubahnstreifen summiert. Dadurch ändert sich die Korngrößenverteilung im Bereich der Überlappungszone. Die Korngrößenverteilung des Düngers entspricht jetzt der mittleren gewogenen Korngrößenzusammensetzung der Massen, die bei der Überlappung addiert werden.

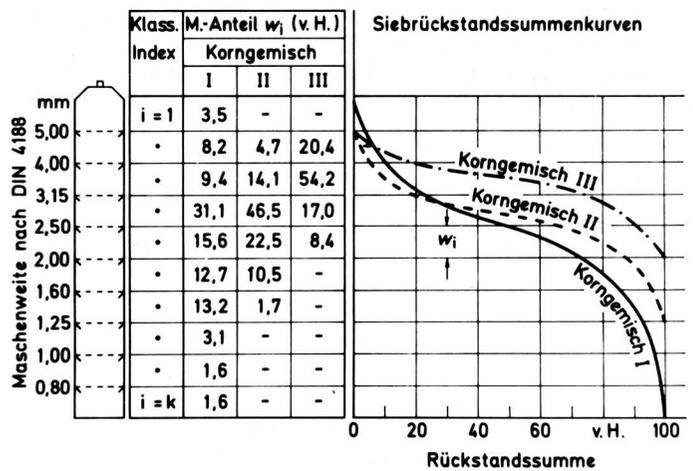


Bild 1. Rückstandssummenkurven der verwendeten Korngemische.

Es sei unterstellt, daß die Düngermassen m von den Streubahnstreifen oder Meßabschnitten j und $j + 1$ summiert die Masse für den Meßabschnitt j liefern. Für diesen einfachsten Fall lautet die Gleichung zur Berechnung des Anteiles w_{ij} der Korngrößenklasse i an der Düngermasse m_j des Meßabschnittes j :

$$w_{ij} = \frac{w_{ij} m_j + w_{i,j+1} m_{j+1}}{m_j + m_{j+1}}$$

Nach Anwendung dieser Gleichung für jeden der im Überlappungsbereich angeordneten Meßabschnitte und für jede Korngrößenklasse liegt die vollständige Korngrößenverteilung der im Überlappungsbereich abgestreuten Düngermassen vor.

Auf diese Weise wurde zum Beispiel ausgehend von der Korngrößenverteilung in den Streubahnstreifen des Pendelstreuers vor der Überlappung, **Bild 2**, die Korngrößenverteilung in den Meßabschnitten nach der Überlappung, **Bild 3**, ermittelt. Nur bei exakter Quervertelung der Düngermassen auch bezüglich der Korngröße entspricht die Korngrößenverteilung des Ausgangsdüngers der mittleren Korngrößenverteilung in den einzelnen Meßabschnitten innerhalb der Arbeitsbreite.

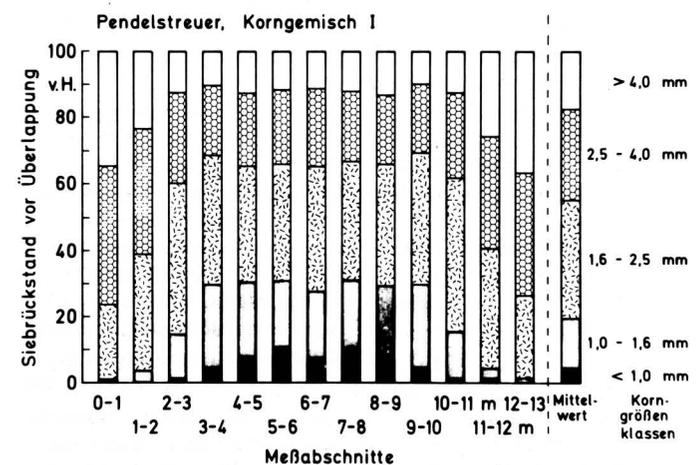


Bild 2. Massenanteile der Korngrößenklassen in den verschiedenen Streubahnstreifen (Meßabschnitten) vor der Überlappung.

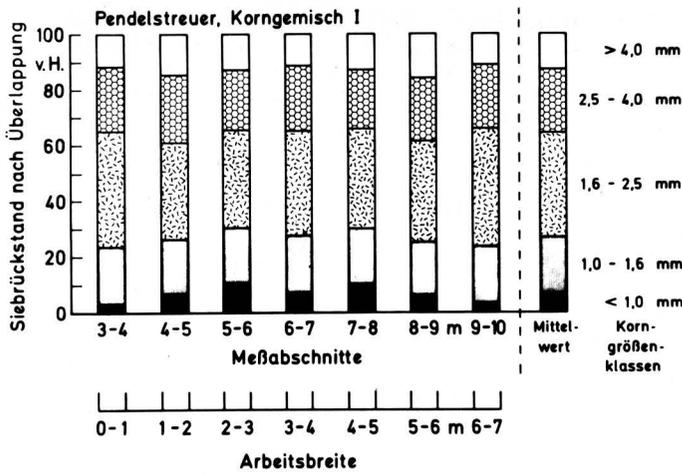


Bild 3. Massenanteile der Korngrößenklassen in den verschiedenen Streubahnstreifen (Meßabschnitten) nach der Überlappung.

Als Maßzahl für die Darstellung der Ergebnisse wird teilweise die gewogene mittlere Korngröße \bar{d} benutzt. Darüber hinaus bietet sich auch eine Maßzahl an, die aus allen positiven und negativen Abweichungen der Massenanteile der Korngrößenklassen eines Meßabschnittes von den entsprechenden Massenanteilen in der gesamten Gemischmasse des Düngers gebildet wird. Eine derartige Maßzahl ist die Summe L_j der absoluten Abweichungen des Massenanteiles w_{ij} der Korngrößenklassen eines Meßabschnittes vom Massenanteil w_i der Korngrößenklassen an der gesamten Gemischmasse. Sie wird hier als Gesamtabweichung L_j bezeichnet:

$$L_j = \sum_{i=1}^{i=k} |w_{ij} - w_i|$$

Diese Maßzahl erfaßt Entmischungsvorgänge oft präziser als z.B. die mittlere Korngröße, denn Abweichungen in der Korngrößenverteilung eines Streubahnstreifens von der mittleren Korngrößenverteilung des Düngers müssen nicht unbedingt immer auch zu Unterschieden in der mittleren Korngröße \bar{d} führen. Sie müssen sich aber definitionsgemäß immer auf die erwähnte Gesamtabweichung L_j für den Streubahnstreifen auswirken.

Zur Kennzeichnung der Entmischung bei einem Verteilverfahren bietet es sich dann an, die Gesamtabweichung L_j aller Streubahnstreifen zu mitteln. Man erhält dann die mittlere Gesamtabweichung \bar{L} des Verteilverfahrens.

Ein Nachteil der Gesamtabweichung L_j und der mittleren Gesamtabweichung \bar{L} ist jedoch, daß sie nicht erkennen lassen, in welchem Maße die Entmischung die mittlere Korngröße in den einzelnen Streubahnstreifen verändert.

7. Versuchsergebnisse

7.1 Verteilung der mittleren Korngröße über der Arbeitsbreite

In Bild 4, 5 und 6 wird die Entmischung bei den verschiedenen Streuverfahren durch die Verteilung der mittleren Korngröße über der Arbeitsbreite der Düngerstreuer dargestellt. Je mehr die mittleren Korngrößen über der Arbeitsbreite variieren, umso ungünstiger ist das Verteilverfahren hinsichtlich der Entmischung zu bewerten. Die Ergebnisse sind Mittelwerte für die drei Korngemische.

Allgemein zeigt sich, daß die Streuer mit mechanischer Querförderung (Schneckenstreuer, Bandstreuer) am stärksten entmischen, Bild 4. Besonders der Schneckenstreuer bewirkt eine starke Entmischung des Düngers bezüglich der Korngröße. Die mittlere Korngröße steigt beim Schneckenstreuer stetig mit dem Abstand von der Fahrspurmitte an. Nahe der Fahrspurmitte werden vermehrt die kleinen Kornfraktionen abgeworfen, während die gro-

ßen Körner zu den Streubahnrändern transportiert werden. Die für die 1 m breiten Streubahnstreifen bestimmten mittleren Korngrößen ergeben einen Variationskoeffizienten (Standardabweichung in % des Mittelwertes) von 19 %.

Die Entmischung des Schneckenstreuers ist das Ergebnis von zwei in ihrer Wirkung gleichgerichteten Einflüssen. Zunächst bewirkt das intensive Rühren des Düngers zwischen den Schneckenwindungen eine Schichtung des Streugutes, indem die kleineren Körner durch die Hohlräume zwischen den größeren Partikeln zum Boden des Förderkanals sinken. Die bodennahen Düngerschichten, die so mit den kleinen Körnern angereichert sind, werden als erste durch die Streuöffnungen im Schneckenmantel abgeworfen.

Dieser Entmischungseffekt wird nun aber noch verstärkt durch die zu den Schneckenenden hin wachsenden Streuöffnungsweiten, die eine gleichmäßigere Massenverteilung ermöglichen sollen [10]. Es entstehen als Folge der verschiedenen Streuöffnungsweiten zusätzlich noch Differenzen in der Verweilzeit des Düngers über den Streuöffnungen. Je kürzer die Verweilzeit des Düngers über der Streuöffnung ist, umso mehr wird der Abwurf der bodenfernen Schichten mit den größeren Körnern behindert. Es tragen somit auch die kleineren Streuöffnungen nahe der Fahrspurmitte zur Entmischung bei.

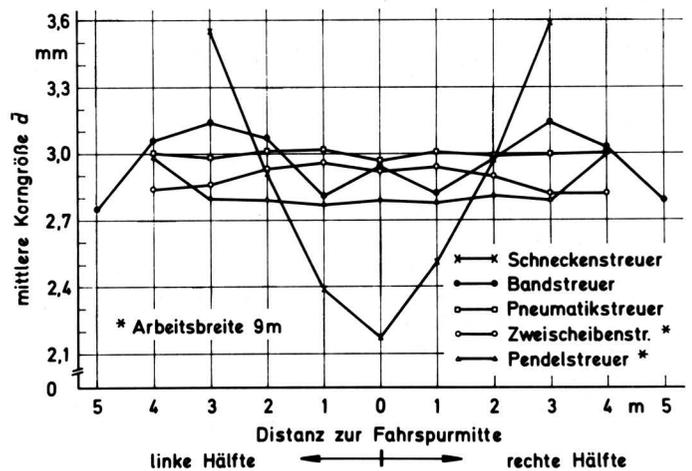


Bild 4. Mittlere Korngröße als Funktion der Entfernung von der Fahrspurmitte bei verschiedenen Streuern (Durchschnitt der drei Korngemische).

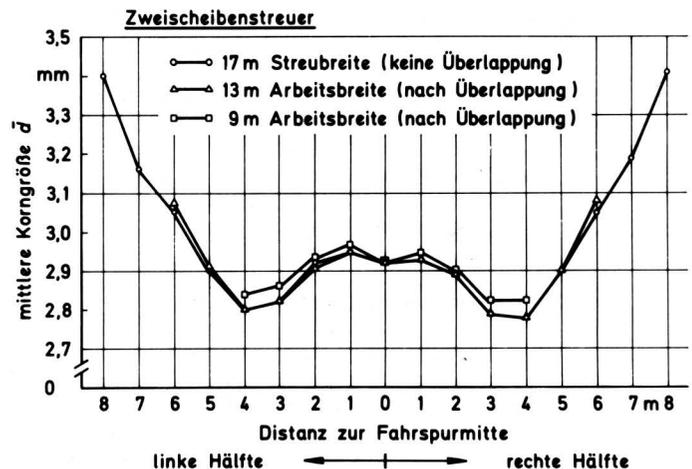


Bild 5. Mittlere Korngröße als Funktion der Entfernung von der Fahrspurmitte und der Größe der Überlappung beim Zweiseibenstreuer (Durchschnitt der drei Korngemische).

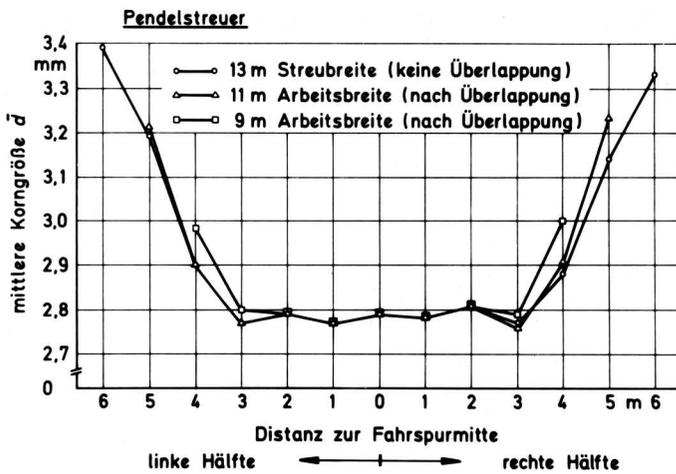


Bild 6. Mittlere Korngröße als Funktion der Entfernung von der Fahrspurmitte und der Größe der Überlappung beim Pendelstreuer (Durchschnitt der drei Korngemische).

Auch beim Bandstreuer zeigt die Verteilung der mittleren Korngröße eine deutliche Symmetrie um die Fahrspurmitte (Bild 4). Der Variationskoeffizient für die mittlere Korngröße der Streubahnstreifen ist mit 5 % aber deutlich kleiner als derjenige des Schneckenstreuers. Die mittlere Korngröße erreicht in einer Entfernung von 3 m von der Streubahnmitte ein Maximum (Bild 4). In der Streubahnmitte und nahe den Streubahnrändern sind die kleineren Kornfraktionen überrepräsentiert.

Dieser Entmischungseffekt beruht beim Bandstreuer vermutlich auf Unterschieden in der Fördergeschwindigkeit. Die Fördergeschwindigkeit ist nicht in allen waagerechten Schichten des Kanals gleich groß. Über dem Förderband ist die Fördergeschwindigkeit höher als in der Nähe der oberen Kanalwand, weil hier die Reibung des Düngers mit der Wand den Düngerfluß verlangsamt. Die Unterschiede in der Fördergeschwindigkeit bewirken ein Durchrühren des Düngers mit der Folge, daß die kleineren Körner vermehrt zum Boden des Kanals sinken, von wo sie teilweise zuerst abgestreut werden. Ein Teil der kleineren Partikel gelangt aber dabei in die Zone hoher Fördergeschwindigkeit über dem Band, wird bis vor die Stauschieber am Kanalende gefördert und dann nahe den Enden der Streuarms abgestreut.

Der Pneumatikstreuer verursacht von allen Streuverfahren die geringsten Unterschiede in der Korngröße. Der Variationskoeffizient für die mittlere Korngröße der Meßabschnitte beträgt nur 0,5 %. Das Ausbleiben der Entmischung ist auf die sehr weite Überlappung bei den Streuprofilen der einzelnen Prallteller zurückzuführen (Die Streubreite der einzelnen Prallteller ist sechs- bis siebenmal größer als ihr Abstand voneinander [11]). Die mehrfache Überstreuerung egalisiert die in der Streubahn eines einzelnen Pralltellers auftretenden Unterschiede in der Korngrößenverteilung vollständig.

Auch die Ergebnisse der Schleuderstreuer werden in hohem Maße durch die Überlappung beeinflusst, wenn auch hierbei die Streubahnen im Vergleich mit den Streubahnen der Prallteller des Pneumatikstreuers bedeutend weniger überlappt werden. An den nicht überlappten Streubahnen des Scheiben- und Pendelstreuers ergeben sich zunächst große Unterschiede in den mittleren Korngrößen der einzelnen Streubahnstreifen, da die großen Körner zu den Streubahnrändern geschleudert werden (Bild 5 und 6). Ohne Überlappung beträgt der Variationskoeffizient für die mittlere Korngröße der Streubahnstreifen 16,9 % beim Scheibenstreuer und 16,0 % beim Pendelstreuer. Mit zunehmender Überlappung nimmt die mittlere Korngröße an den Enden der jeweiligen Arbeitsbreite mehr und mehr ab. Bei der großen Überlappung des Zweischiebenstreuers entsteht dadurch sogar umgekehrt eine etwas größere mittlere Korngröße jeweils in der Fahrspurmitte. Insgesamt liegt die Entmischung bei den beiden Schleuderstreuern

nach der Überlappung auf 9 m Arbeitsbreite zwischen derjenigen beim Bandstreuer und beim Pneumatikstreuer (Bild 4). Der Variationskoeffizient für die mittlere Korngröße der Meßabschnitte beträgt dann 1,8 % beim Zweischiebenstreuer und 3,1 % beim Pendelstreuer.

7.2 Verteilung der Gesamtabweichung über der Arbeitsbreite

Als Maßzahl für die Entmischung bezüglich der Korngröße wird im folgenden die durch die Summe aller absoluten Abweichungen der Korngrößenklassen von der mittleren Korngrößenverteilung des Ausgangsgemisches definierte Gesamtabweichung (siehe Abschnitt 6) benutzt.

Im Bild 7 ist für die untersuchten Streuverfahren die mittlere Gesamtabweichung \bar{L} für das Mittel der drei Korngemische dargestellt. Auch nach dieser Maßzahl zeigen die Streuverfahren mit mechanischer Querförderung die stärkste Entmischung. Bei weitem die höchste mittlere Gesamtabweichung von 49,5 % entsteht wieder beim Schneckenstreuer. Der Pneumatikstreuer bewirkt keine nennenswerte Entmischung; die mittlere Gesamtabweichung von 2,7 % unterschreitet die Signifikanzschwelle. Die Entmischung bei den Schleuderstreuern liegt bei Überlappung auf eine Arbeitsbreite von 9 m etwas oberhalb derjenigen beim Pneumatikstreuer. Während die Entmischung – dargestellt durch die Verteilung der mittleren Korngröße über der Arbeitsbreite – beim Zweischiebenstreuer geringfügig kleiner ist als beim Pendelstreuer (Bild 4), ergibt sich nach der mittleren Gesamtabweichung eine umgekehrte Rangfolge (Bild 7).

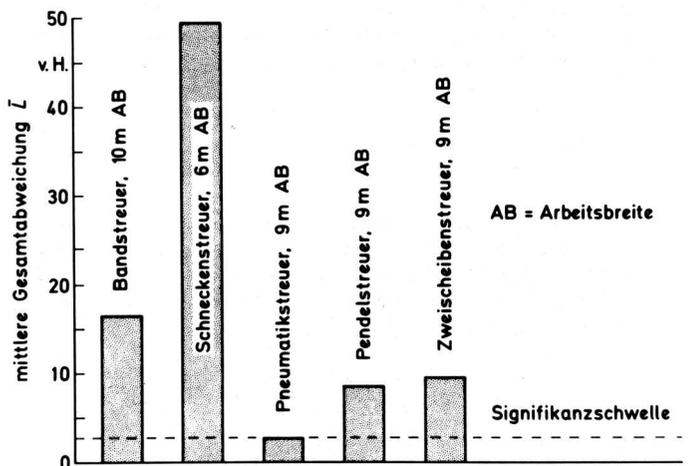


Bild 7. Mittlere Gesamtabweichung der Korngrößenanteile bei verschiedenen Streuern (Durchschnitt der drei Korngemische).

Bei einigen Verteilerverfahren übt aber die Korngrößenverteilung des auszubringenden Düngers einen sehr großen Einfluß auf die Entmischung bezüglich der Korngröße aus. Aus Bild 8 ist zu erkennen, daß die mittlere Gesamtabweichung \bar{L} bei den Schleuderstreuern und besonders beim Schneckenstreuer mit der Breite des Korngrößenspektrums steigt. Beim Bandstreuer und beim Pneumatikstreuer ist ein Einfluß der Breite des Korngrößenspektrums auf die Entmischung innerhalb des Bereiches der drei Korngemische nicht nachzuweisen.

Der Einfluß der Korngrößenverteilung auf die Entmischung ist bei den Schleuderstreuern verständlicherweise auch von der Überlappung der Streubahnen abhängig. Je größer die Überlappung ist und je geringer folglich die Arbeitsbreite der Schleuderstreuer ist, umso weniger wirkt sich ein breites Korngrößenspektrum in einer Entmischung aus, Bild 9. Besonders bei Düngern mit breitem Korngrößenspektrum gleicht somit eine weite Überlappung der Streubahnen bei den Schleuderstreuern die Unterschiede in der Korngrößenverteilung über die Fläche wieder aus.

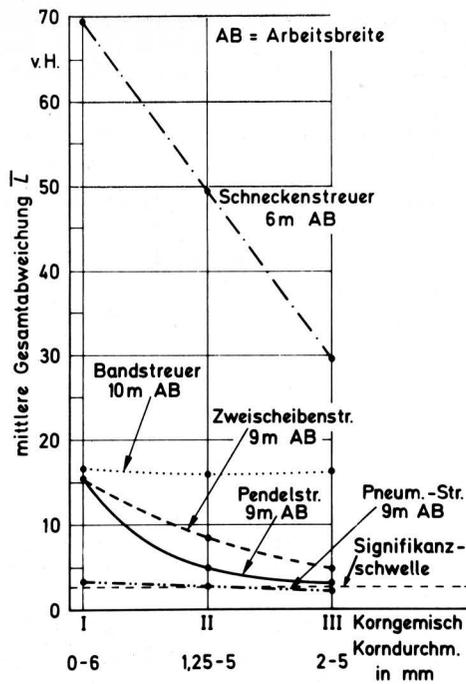


Bild 8. Mittlere Gesamtabweichung der Korngrößenanteile bei verschiedenen Streuern und Korngrößenbereichen.

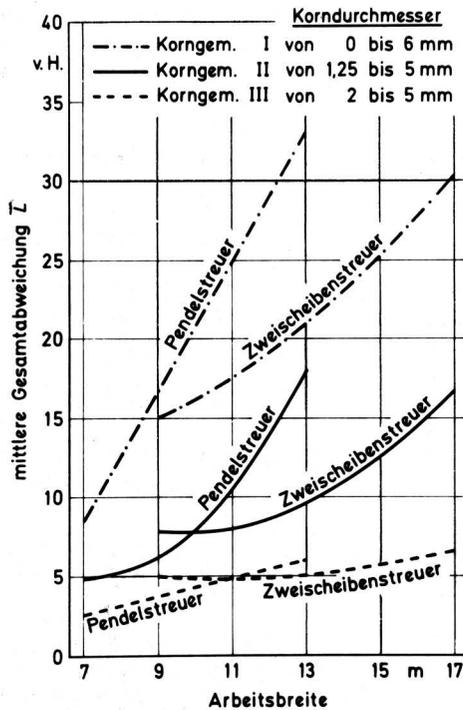


Bild 9. Mittlere Gesamtabweichung der Korngrößenanteile bei Schleuderstreuern in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite (Überlappung).

Letztlich interessiert noch, welche Streubahnstreifen oder Meßabschnitte bei den Streuverfahren vornehmlich von der Entmischung – gemessen als Gesamtabweichung L_j – betroffen sind, Bild 10. Beim Schneckenstreuer ist die Entmischung in der Fahrspurmitte und an den Streubahnrändern besonders hoch. In der Mitte jedes der beiden Streuarms ist die Gesamtabweichung geringer. Der Bandstreuer hingegen entmischt in der Fahrspurmitte und beidseitig in einer Entfernung von 4 m von der Fahrspurmitte am wenigsten. Beim Pneumatikstreuer ergeben sich erwartungsgemäß

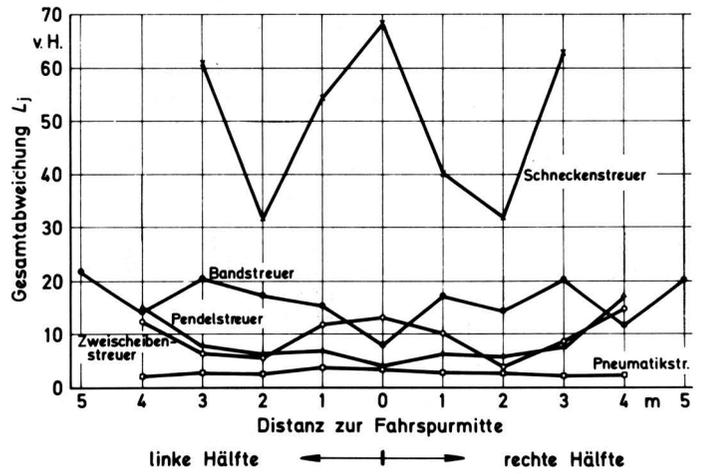


Bild 10. Gesamtabweichung der Korngrößenanteile bei verschiedenen Streuern als Funktion der Entfernung von der Fahrspurmitte (Durchschnitt der drei Kornmische).

zwischen den einzelnen Streubahnstreifen nur sehr geringe Unterschiede, die auch in keinem Fall sich als signifikant erweisen. Beide Schleuderstreuer zeigen nach Überlappung auf eine Arbeitsbreite von 9 m jeweils an den Enden der Arbeitsbreite ein Maximum in der Gesamtabweichung. Lediglich der Zweischeibenstreuer hat einen weiteren Entmischungsschwerpunkt in der Fahrspurmitte.

Mit zunehmender Überlappung ist bei den Schleuderstreuern im allgemeinen eine Verringerung der Gesamtabweichung zu beobachten, Bild 11 und 12. Diese Verringerung betrifft vornehmlich jeweils die peripheren Meßabschnitte.

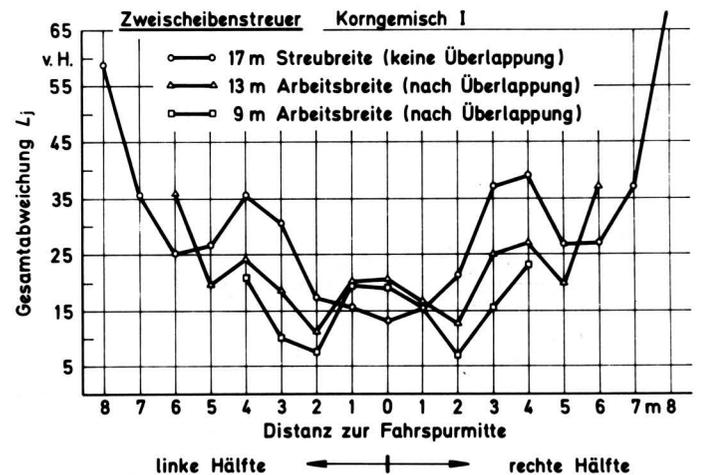


Bild 11. Gesamtabweichung der Korngrößenanteile beim Zweischeibenstreuer als Funktion der Entfernung von der Fahrspurmitte für verschiedene Arbeitsbreiten (Überlappung).

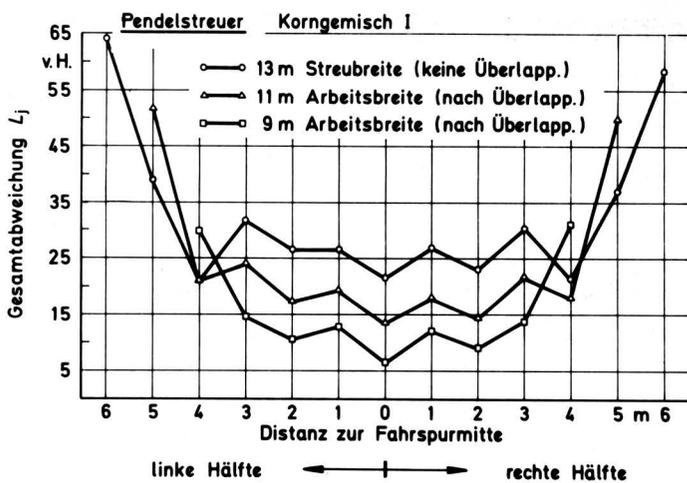


Bild 12. Gesamtabweichung der Korngrößenanteile beim Pendelstreuer als Funktion der Entfernung von der Fahrspurmitte für verschiedene Arbeitsbreiten (Überlappung).

8. Zusammenfassung

Die heute üblichen Verteilverfahren für Mineraldünger verursachen in sehr unterschiedlichem Maße eine Entmischung bezüglich der Korngröße über der Arbeitsbreite. Die Reihenfolge, geordnet nach ansteigendem Grad der Entmischung, lautet Pneumatikstreuer – Schleuderstreuer – Bandstreuer – Schneckenstreuer. Für Pneumatikstreuer und Schleuderstreuer ist dabei die übliche Überlappung benachbarter Streubahnen berücksichtigt. Beim Pneumatikstreuer ist keine statistisch signifikante Entmischung nachweisbar. Die Ergebnisse für Schleuderstreuer sind im einzelnen auch sehr stark von der Breite der Überlappung abhängig. Schleuderstreuer und besonders Schneckenstreuer entmischen durch vermehrtes Ablegen von kleineren Körnern nahe der Fahrspurmitte und vermehrtes Ablegen der größeren Düngerkörner an den Streubahnrandern. Der Bandstreuer hingegen legt verstärkt die größeren Körner jeweils in der Mitte der beiden Streuarmlen ab. Eine Einengung des Korngrößenspektrums des zu verteilenden Guts führt bei den Schleuderstreuern und besonders beim Schneckenstreuer zu einer Verringerung der Entmischung.

Verwendete Formelzeichen

- d Korngröße
- \bar{d}_i mittlere Korngröße der Siebfraction i
- \bar{d}_{ij} mittlere Korngröße der Siebfraction i im Meßabschnitt j
- \bar{d} mittlere Korngröße der Gesamtmasse
- $$\bar{d} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{i=k} w_i d_i$$
- L_j Gesamtabweichung der Massenanteile im Meßabschnitt j von den Massenanteilen des Ausgangsgemisches
- $$L_j = \sum_{i=1}^{i=k} |w_{ij} - w_i|$$

\bar{L} Mittlere Gesamtabweichung für alle Meßabschnitte

$$\bar{L} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^{j=r} L_j$$

w_i Massenanteil der i -ten Korngrößenklasse an der Gemischmasse (%)

w_{ij} Massenanteil der i -ten Korngrößenklasse an der Gemischmasse vom j -ten Meßabschnitt (%)

m_j Gemischmasse vom j -ten Meßabschnitt

Indizes: Korngrößenfraktionen $i = 1 \dots k$

Meßabschnitte $j = 1 \dots r$

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Balg, J., H.J. Heege u. W. Hellweg:* Düngereimischung am Schüttkegel. Landtechnik Bd. 34 (1979) Nr. 3, S. 122/26.
- [2] *Hoffmeister, G., S. Watkins u. J. Silverberg:* Bulk blending of fertilizer material: effect of size, shape and density on segregation. Agricultural and Food Chemistry (Washington, D.C.) Bd. 12 (1964) S. 64/69.
- [3] *Mathes, A. u. M. Brübach:* Das Ausbringen von Perlkalkstickstoff mit Schleuderstreuern. Grndl. Landtechnik Bd. 16 (1966) Nr. 4, S. 156/59.
- [4] ● *Brübach, W.:* Der Einfluß der Korngröße, der Granulatfestigkeit und der Reibung auf die Verteilung von Düngemitteln und Pflanzenschutzgranulaten. Diss. TU Berlin, 1973.
- [5] ● *Hollmann, W.:* Untersuchungen über die Düngerverteilung von Schleuderstreuern. Diss. TU Berlin, 1962.
- [6] *Scheffer, F., R. Henze u. L. Sipos:* Abhängigkeit der Streuqualität des Schleuderdüngerstreuers vom Düngemittel. Landw. Forschung Bd. 17 (1964) H. 1, S. 10/16.
- [7] *Hoffmeister, G.:* Quality control in a bulk blending plant. Tennessee Valley Authority, Bulk Blending Conference, Louisville, Kentucky, August 1–2, 1973, S. 59/77.
- [8] *Achorn, F.P. u. H.L. Kimbrough:* Application of granular fertilizers. Agric. Chemicals (Baltimore) Bd. 25 (1970) Nr. 1, S. 30/33.
- [9] *Corley, T.E.:* Performance of granular herbicide applicators for weed control in cotton. Transact. ASAE Bd. 7 (1964) Nr. 4, S. 391/95.
- [10] ● *Hellweg, W.:* Verteilgenauigkeit mechanischer Düngerstreuer mit zentralem Vorratsbehälter. Diss. Univ. Bonn, 1977 (erschieden als KTBL-Schrift 215).
- [11] ● *Rühle, K.:* Die Mineraldüngerverteilung unter besonderer Berücksichtigung pneumatischer Streugeräte. Diss. Univ. Bonn, 1975 (erschieden als KTBL-Schrift 198).
- [12] ● *Batel, W.:* Einführung in die Korngrößenmeßtechnik. Heidelberg: Springer-Verlag 1964.
- [13] *Heege, H.J. u. W. Hellweg:* Weiterentwicklung der losen Düngerkette. Landtechnik Bd. 31 (1976) H. 3, S. 103/106.