

Einflüsse auf das Verhalten von Haufwerkströmen auf Schleuderscheiben von Mineraldüngerstreuern

Teil 2: Gewonnene Erkenntnisse

Horst Göhlich und Ernst Kesten*)

DK 631.333.5.022.6

Schleuderstreuer sollen Mineraldünger gleichmäßig, d.h. mit einer zur Fahrspur symmetrischen trapezförmigen Dichteverteilung auf das Land ausbringen. Das Verteilungsbild wird sowohl von der Konstruktion und Einstellung des Streuers, als auch von den Eigenschaften des Düngers beeinflusst. Ergebnisse von Modellversuchen führten zum Bau eines Streuers mit Aufgabekegel und abgedeckter Streuscheibe, der ein von den Düngereigenschaften weitgehend unabhängiges gleichmäßiges Streubild liefert. Auch durch Anordnen einer Prallwand im Streubereich kann das Streubild verbessert werden. Es wird gezeigt, wie man auf graphischem Weg die günstigste Form der Prallwand ermitteln kann.

6. Zusammenfassung der am Streuscheibenmodell gewonnenen Erkenntnisse

Der schaufelfreie Teil der Scheibe hat die Aufgabe, das Mineraldünger-Haufwerk, das aus dem Auslaufquerschnitt als gerichteter Massenstrom austritt, aufzulockern und den Schaufeln in möglichst großem Winkelbereich zuzuführen, um damit den Abstreubereich zu vergrößern. Der Bewegungsverlauf auf diesem Teil der Scheibe kann durch Güteeigenschaften, durch den Gutstrom, die Ansaugwirkung der Scheibe und die – hier nicht weiter berücksichtigte – Scheibenneigung beeinflusst werden.

Teil 1: Aufgabenstellung und Versuch wurde in Nr. 1 dieses Jahrgangs veröffentlicht.

*) Prof. Dr.-Ing. Horst Göhlich ist Direktor des Instituts für Landtechnik der TU Berlin, Dr. agr. Ernst Kesten war Mitarbeiter im gleichen Institut und ist jetzt wissenschaftlicher Assistent am Institut für Landtechnik, Bonn.

Grobkörniges Gut erreicht u.U. eine so große Höhe auf der Scheibe, daß ein Teil des Streugutes die Scheibe verläßt, ohne entlang einer Schaufel beschleunigt zu werden. Die Geschwindigkeit des Streugutes auf dem schaufelfreien Teil der Scheibe ist von der Scheibendrehzahl im üblichen Bereich von 400 bis 720 U/min unabhängig und beträgt bis zu 3 m/s. Daher kann bei niedriger Scheibendrehzahl und geringer Schaufelanzahl der freie Radius b erheblich größer sein als der Radius c der inneren Schaufelkanten. Ein Aufgeben unmittelbar über den Schaufeln verstärkt die Abhängigkeit des Streuvorganges von Gutart und Gutstrom und führt stets zu einem asymmetrischen Streubild: Die Schaufel schlägt mit hoher Geschwindigkeit in den aus dem Auslaufquerschnitt austretenden Gutstrom. Dadurch fließt das Haufwerk in radialer Richtung so auseinander, daß ein Teil des Haufwerks zum Scheibenmittelpunkt hin gedrückt wird, dort verweilt und zu einer kleineren Streudichte in Drehrichtung der Scheibe führt.

Da durch die Führung an den Schaufeln das Streugut seine Beschleunigung und Richtung erhält, ist die Lage des Aktionsbereiches und sein Abstand zum Scheibenmittelpunkt, der ja als freier Radius b bezeichnet wird, für den Abwurfpunkt und die Abwurfrichtung wesentlich. Mit größer werdendem freien Radius b nehmen der Mitnahmewinkel φ und damit die Verweilzeit des Gutes auf der Scheibe etwa quadratisch ab. Eine Schaufelrückstellung führt ebenfalls zur Abnahme des Mitnahmewinkels φ . Gleichzeitig werden die Reibung und der Stau vor den Schaufeln vermindert; außerdem wirken sich radiale Abweichungen des Aufgabepunktes weniger stark auf das Streubild aus.

Die Abhängigkeit des Mitnahmewinkels φ und des Abwurfwinkels α vom freien Radius b weisen eine Unstetigkeit auf, wenn der Aktionspunkt B zu dicht an den Scheibenrand gelegt wird, d.h. wenn das Verhältnis freier Radius zu Scheibenradius (b/r) zu groß gewählt wird.

Für ein gutes Streubild darf die Beschleunigungsstrecke $r-b$ entlang den Schaufeln eine Mindestlänge nicht unterschreiten, damit auch der Beschleunigungswinkel φ groß genug bleibt; dies gilt noch mehr für nachgestellte Schaufeln als für radiale Schaufeln. Eine Scheibe mit dem Radius $r = 250$ mm und mit nachgestellten Schaufeln sollte einen freien Radius b von höchstens 160 mm aufweisen. Die Abwurfgeschwindigkeit ist der Scheibendrehzahl direkt proportional.

Die Korngröße zeigt in Einzelkornversuchen keinen Einfluß auf den Abwurfvorgang. Der Einfluß der Korngröße in Haufwerkversuchen und die Vergrößerung des Mitnahmewinkels und seiner Standardabweichung bei einer Steigerung des Massenstromes sind durch Stau im Bereich der Schaufeln zu erklären (s.o.). Dieser Stau tritt infolge gegenseitiger Behinderung der Körner untereinander auf; er wirkt sich besonders an der Innenkante der Schaufeln aus, wo das Haufwerk noch keine nennenswerte Radialbeschleunigung erhalten hat und in radialer Richtung auseinanderfließt.

Um den Stau im Schaufelbereich und damit die Abhängigkeit des Streubildes von der Art und dem Massenstrom des Haufwerkes zu reduzieren, gibt es folgende Möglichkeiten: Man kann

1. das Streugut aufgelockert und schon radial beschleunigt den Schaufeln zuführen;
2. durch Rückstellung der Schaufeln eine Beschleunigung und eine Vergleichmäßigung der Gutbewegung bei unterschiedlichem Fließverhalten und unterschiedlichen Reibbeiwerten herbeiführen;
3. durch ein zweckmäßiges Schaufelprofil die gegenseitige Behinderung der Körner des Haufwerkes so klein wie möglich halten;
4. die Schaufelanzahl und die Drehzahl zur Verringerung der je Schaufel abzustreuenden Gutmenge erhöhen.

7. Verbesserung des Streuvorganges

Bei den vorangegangenen Untersuchungen hat sich gezeigt, daß der Streuvorgang vom gewünschten Verlauf in zwei Phasen abweichen kann, weil die Einzelkörner des Haufwerkes sich gegenseitig beeinflussen, und zwar

1. während der Bewegung auf dem schaufelfreien Teil der Scheibe;
2. durch den Stau an den Schaufeln.

Um die am Modell gewonnenen Erkenntnisse überprüfen zu können, wurde ein Verteilapparat für Breitstreuversuche auf einer Düngerauffanganlage entwickelt. Die Gestaltung des Versuchsapparates geschah mit dem Ziel, das Streugut aufgelockert und vorbeschleunigt den Schaufeln zuzuführen, den Stau zu vermindern und so zu bewirken, daß das Haufwerk weitgehend unabhängig vom Aufgabestrom verteilt wird. Die in **Bild 14** skizzierte Leichtmetallscheibe *a* des Versuchsapparates ist mit zwölf Streuschaufeln *b* bestückt. Die als Metallstege ausgebildeten, 25 mm hohen Schau-

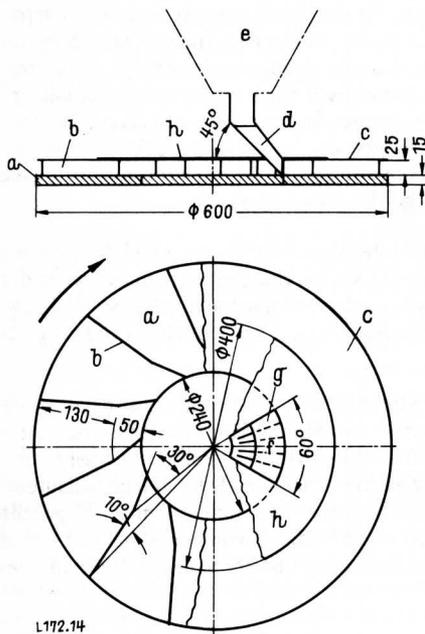


Bild 14. Aufbau der Versuchsstreuscheibe.

- a Scheibe
- b Streuschaufeln
- c Abdeckplatte der Scheibe
- d Kegelmantelsegment
- e Vorratsbehälter
- f Sektorraum
- g Kanäle
- h innere Abdeckplatte

feln sind zwischen den Radien $r = 120$ und 170 mm um 30° und zwischen den Radien $r = 170$ und 300 mm um 10° nachgestellt. Eine Platte *c* deckt die Schaufeln *b* oben ab, um die Gebläsewirkung zu steigern und um zu vermeiden, daß sich das Streugut teilweise oberhalb der Stege bewegt.

Das Streugut fließt den Schaufeln über ein Kegelmantelsegment *d* zu, das nach oben abgedeckt und unter der Auslauföffnung des Vorratsbehälters *e* angebracht ist; das Segment füllt den Sektorraum *f* der Streuscheibe bis zur Innenkante der Schaufeln mit dem Gut aus.

Bei den Versuchen wurde ein 60° -Kegelmantelsegment *d* verwendet, das in fünf Längskanäle *g* aufgliedert ist. Eine Blechplatte *h* überdeckt den mittleren Bereich der Scheibe, so daß die Gebläseluft vor allem durch die fünf Zuteilkanäle angesaugt wird. Die angesaugte Luft trägt wesentlich dazu bei, das Streugut radial zu beschleunigen und in den Schaufelbereich hineinzusaugen. Den Gutstrom dosiert eine über dem Zuteilkegel angebrachte Schlitzblende.

Die Streuversuche wurden auf der Auffanganlage des Instituts ausgeführt. Die aus 10 cm breiten Auffangrinnen zusammengesetzte Auffangfläche für das Streugut ist in Fahrtrichtung 2 m lang und 16 m breit, **Bild 15**. Nach Beendigung des Ausstreuens wurden die Rinnen gekippt, der Inhalt von je zwei Rinnen in ein Kästchen entleert, sein Inhalt gewogen und das Ergebnis ausgedruckt. Die Versuchsanlage bot die Möglichkeit, die Verteilcharakteristik, **Bild 16 und 17**, des Streuers mit einer guten Reproduzierbarkeit festzustellen.

Für die Auswertung – es wurden die Mittelwerte aus je zwei gleichen Versuchen zugrundegelegt – auf einer ICL-Rechenanlage diente ein Rechenprogramm. Die Verteilcharakteristik kann Dreiecks- oder Trapezform haben. Der Abstand der Fahrspuren (Arbeitsbreite) muß kleiner sein als die gesamte Streubreite, damit sich die Flanken der Dreiecke (Trapeze) überlappen, weil man nur dann eine ungefähr gleiche Streudichte je Flächeneinheit erzielen kann, wenn die Größe der Überlappung richtig gewählt wird.

Ist m_i die Streugutmasse je Kästchen im Versuch (bzw. je Bodenstreifen im Betrieb), \bar{m} der arithmetische Mittelwert aller m_i und n die Anzahl der Kästchen (Streifen), dann kann man die Abweichungen vom Mittelwert entweder als relative einfache Abweichung $(e = \frac{\sum |m_i - \bar{m}|}{n} \cdot \frac{100}{\bar{m}})$ oder als relative (quadratische) Standardabweichung $s = \left(\sqrt{\frac{\sum (m_i - \bar{m})^2}{n}} \cdot \frac{100}{\bar{m}} \right)$ darstellen. Diese Abwei-

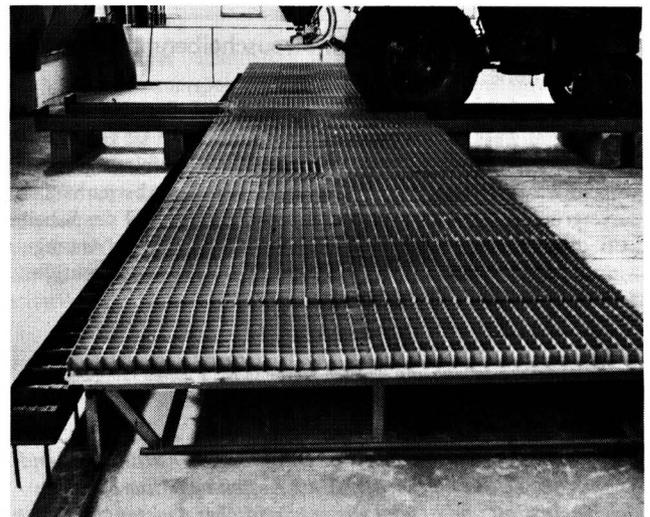


Bild 15. Auffanganlage für Streuversuche.

Bild 16. Verteilcharakteristik des Geräts nach Bild 14 mit Kalkammonsalpeter.

Durchsatz 14,5 kg/min
 m_i Düngermasse je Kästchen
 $\bar{m} = \Sigma m_i/n$ mit n als der Anzahl der Kästchen

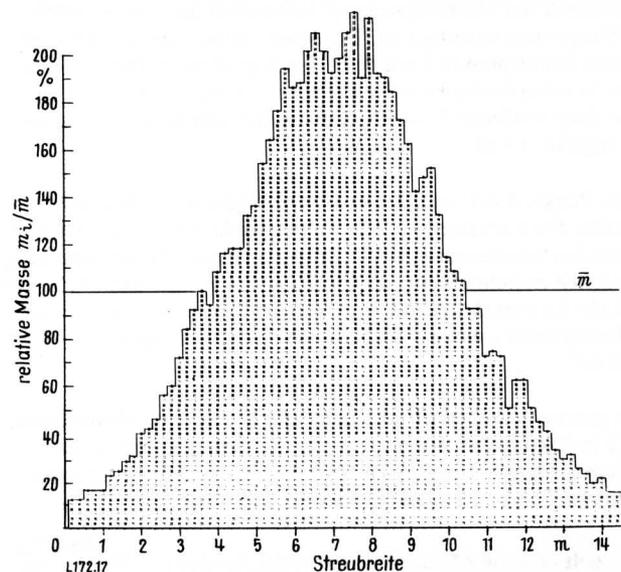
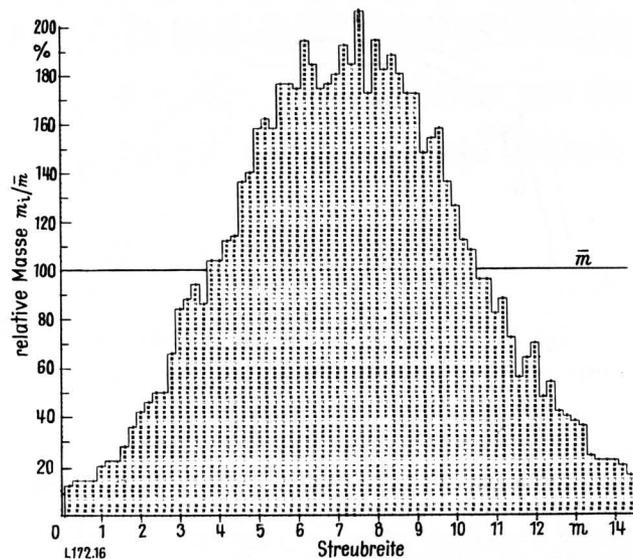


Bild 17. Verteilcharakteristik des Geräts nach Bild 14 mit Kalkammonsalpeter.

Durchsatz 6,1 kg/min
 m_i, \bar{m} s. Legende zu Bild 16

chungen sind also auch eine Funktion des Fahrspurabstandes, **Bild 18 und 19**, wenn man die Überlappung rechnerisch berücksichtigt.

Ohne eine Änderung am Streuaggregat vorzunehmen, wurden zwei unterschiedliche Mineraldünger mit jeweils zwei verschiedenen Durchsätzen untersucht: als grobkörniges Streugut Kalkammonsalpeter, als feinkörniges Streugut schwefelsaures Ammoniak. Bei den Versuchen betrug die Höhe der Scheibe über Flur 60 cm und die Scheibendrehzahl 700 U/min.

Die relative Standardabweichung liegt bei grobkörnigem Material (Arbeitsbreite bis 7,2 m) und bei feinkörnigem Material (Arbeitsbreite bis 6 m) unter 10%. Je feinkörniger das Material ist, desto kleiner ist die Wurfweite und damit die Streubreite.

Die Ergebnisse zeigen, daß es möglich ist, mit einem Streugerät unterschiedliche Arten von Mineraldünger zu verteilen, ohne die

Bild 18. Abweichungen als Funktion der Arbeitsbreite.

Streugut Kalkammonsalpeter
 Durchsatz 14,5 kg/min
 Gerät nach Bild 14

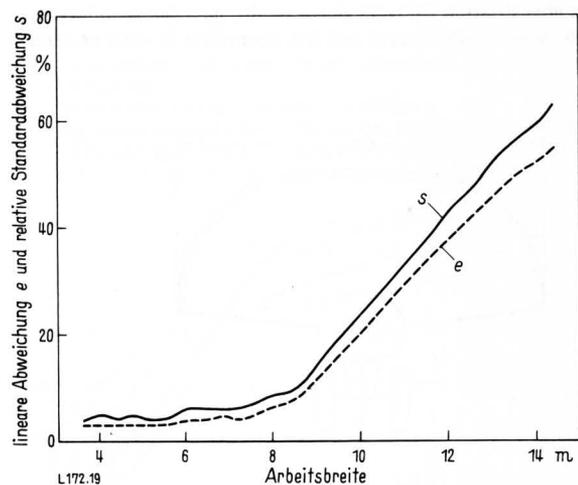
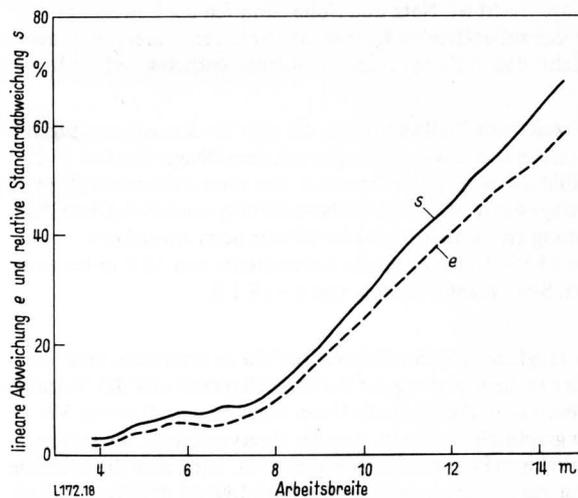


Bild 19. Abweichungen als Funktion der Arbeitsbreite.

Streugut Kalkammonsalpeter
 Durchsatz 6,1 kg/min
 Gerät nach Bild 14

Einstellung zu verändern. Die Arbeitsbreite läßt sich vergrößern, wenn der Sektorwinkel des Ringraums f in Bild 14 vergrößert wird.

8. Die Verwendung von Pralleinrichtungen beim Schleuderstreuer

Der Wunsch nach einer besonders gleichmäßigen, vom Wind unabhängigen Verteilung des Mineraldüngers führte zur Entwicklung von Geräten, die das Streugut pneumatisch oder durch Förderschnecken ausbringen. Mit Schleuderstreuern lassen sich bei verringerter Arbeitsbreite vom Wind unabhängige gute Verteilungen erreichen, wenn man sie mit entsprechend gestalteten Prallvorrichtungen umgibt. Bei weitem Wurf durch die Luft kann sich das Streugut entmischen, es kann seine Richtung unter dem Einfluß des Windes und seine Wurfweite durch wechselnde Steigwinkel und während der Fahrt wechselnde Höhe der Scheibe über dem Boden ändern. Bei grobem Streugut kann außerdem der Magnus-effekt eine seitliche Verschiebung des Streugutes bewirken. Wird die Streuscheibe im Abstand von 3 bis 4 m von einer „Prallwand“ umschlossen, wirken sich diese Störgrößen kaum aus. Große und kleine Düngerkörner fliegen in einer gestreckten Bahn bis zur Prallwand und fallen vom Auftreffpunkt aus zu Boden. Dazu muß die Wand so ausgebildet sein, daß die mit hoher Geschwindigkeit auftreffenden Körner nicht zurückspringen und nicht seitlich abprallen.

Um die Wirkung zu überprüfen, wurde ein serienmäßiger Zweiseibenstreuer mit einer solchen 1 m hohen Prallwand umgeben. Sie besteht aus einer lose herabhängenden Polyäthylenfolie, vor der in etwa 25 mm Abstand ein Gazenetzt mit 2,5 mm Maschenweite angebracht ist. Netz und Folie dämpfen die Bewegungsenergie der auftreffenden Körner; das Netz vermindert außerdem die Gefahr, daß größere rotierende Körner seitlich wegfiegen.

Bild 20 zeigt eine Prallwandform, die sich für den serienmäßigen Streuer als günstig erwies; sie ergibt mit dem Dünger Rustica 15-15-15 das in **Bild 21** dargestellte Streubild. Bei einer Arbeitsbreite von 6 m beträgt die relative Standardabweichung nur 6,5 %. Ohne Pralleinrichtung erbrachte der gleiche Streuer beim Ausbringen von Rustica 15-15-15 eine optimale Arbeitsbreite von 10,4 m bei einer relativen Standardabweichung von $s = 13,1$ %.

Um ein möglichst gleichmäßiges Streubild zu erreichen, muß die Form der Pralleinrichtung auf die Streucharakteristik des Verteilers abgestimmt sein. Die optimale Form kann man nach einem Vorversuch graphisch ermitteln. Aus der Querverteilung, die sich mit einer beliebigen Prallwandform ergeben hat, leitet man die optimale Form für ein gewünschtes Streubild nach **Bild 22** ab: Der Grundgedanke dabei ist, daß die Masse des je Winkleinheit von der Scheibe abgestreuten Düngers gleich bleibt, aber bei geändertem Abstand zwischen Prallwand und Scheibenmitte in einer anderen

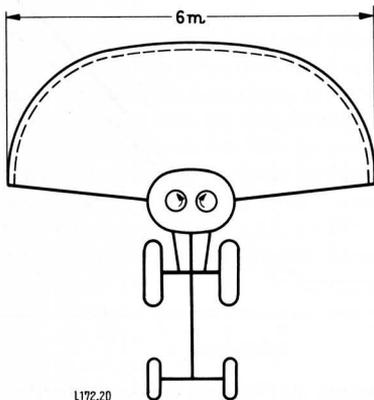


Bild 20. Form einer Prallwand, die eine gleichmäßige Verteilung gewährleistet.

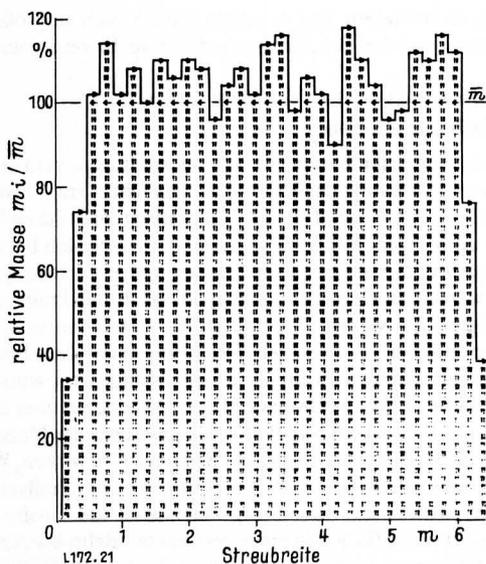
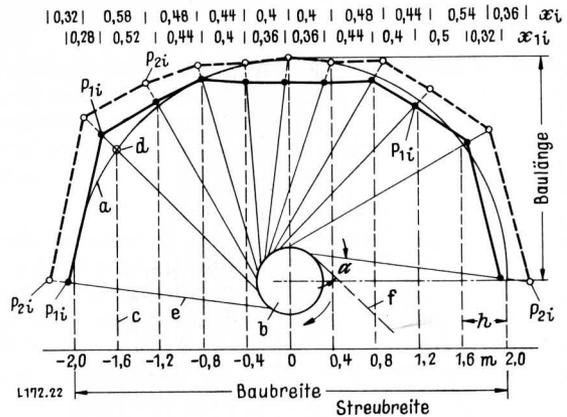


Bild 21. Verteilungscharakteristik mit Rustica 15-15-15 bei Verwendung einer Prallwand nach **Bild 20**.

Bild 22. Graphisches Verfahren zum Konstruieren der günstigsten Form einer Prallwand.

$$x_{1i} \text{ für } m_{bez} = \bar{m}$$

$$x_{2i} \text{ für } m_{bez} = m_M$$



Querverteilung auf den Boden fällt. Die im Vorversuch benutzte Versuchsprallwand a wird mit der Schleuderscheibe b maßstabsgerecht in einem Koordinatensystem aufgetragen. Die Fahrspurmitte bildet dabei die Ordinate. Auf der Abszisse trägt man die Streubreite auf, die entsprechend der Breite h der oben erwähnten Auffangrinnen unterteilt ist. Die Senkrechten c auf der Abszisse liefern Schnittpunkte d mit der Versuchsprallwand. Diese Schnittpunkte teilen die Prallwand in Bereiche, von denen im Versuch die dort aufgetroffenen Teilmengen in die darunter liegenden Rinnen herabgefallen sind.

Diese Punkte d werden mit den dazugehörigen Abwurfpunkten verbunden. Dazu zeichnet man vom Schnittpunkt ausgehend Geraden e, die an den Scheibenrand gelegte Tangenten f, unter Berücksichtigung der Scheibendrehrichtung, im Abwurfwinkel α schneiden. Die Größe des Abwurfwinkels α richtet sich nach der Schaufelstellung und der Führungsstrecke entlang der Schaufel (s.o.) und liegt zwischen 30 und 40°.

Der gesamte Streubereich ist nun durch die einzelnen Abwurfstrahlen e in Sektoren unterteilt. Damit ist die Düngermenge in den dazugehörigen Auffangrinnen bekannt, die der Streuer in jeden einzelnen Sektor geschleudert hat.

Nun teilt man die Abszisse neu ein in die Abschnitte $x_i = \frac{m_i h m_{ei}}{m_{bez} \bar{m}}$ mit h als der Rinnenbreite, m_{ei} der gewünschten Abwurfmenge im Sektor i und m_{bez} einer Bezugsmenge. Wird diese errechnete Teilung x_i auf die Abwurfstrahlen e projiziert, erhält man diejenigen Punkte P_i , die die gesuchte Prallwand begrenzen. Bei der Aufteilung der Abszisse ist zu entscheiden, ob man den erforderlichen Ausgleich zwischen der ursprünglichen Form der Prallwand und der angestrebten Form unter Einhalten der Baulänge (in Fahrtrichtung gemessen) oder unter Einhalten der Arbeitsbreite (Baubreite) vornehmen will. Wird für die Bezugsmenge m_{bez} der Mittelwert \bar{m} eingesetzt, bleibt die Baubreite der Prallvorrichtung erhalten (Abszissen x_{1i} , Prallwand $P_{1i} - P_{1i}$). Setzt man für m_{bez} die Menge m_M ein, die in der linken bzw. rechten Rinne neben der Fahrspurmitte aufgefangen wurde, dann bleibt die Baulänge erhalten (Abszissen x_{2i} , Prallwand $P_{2i} - P_{2i}$) und die Korrektur wird auf Kosten der Breite vorgenommen.

Grundsätzlich könnte die Konstruktion der optimalen Prallwandform auch ohne Vorversuch mit einer Pralleinrichtung durchgeführt werden, deren Verteilfeld bei stehendem Schleuderstreuer bekannt ist. Das Bestimmen dieses Verteilfeldes und daraus die Ermittlung der in den einzelnen Sektoren abgestreuten Mengen erfordern aber einen ungleich größeren Aufwand als das oben beschriebene Verfahren.

L 172b