

# Mineraldüngerstreuer

Mineraldüngerstreuer 4.1.1.2.2 Seite 549



|

| Dr. Reinhold Wenzlaff, Yves Reckleben

## **Mineraldüngerstreuer**

Februar 2004

Dr. Reinhold Wenzlaff ist Lehrer für Landtechnik und Betriebswirtschaft an der Beruflichen Schule Itzehoe, Tel. 04821-64212, Fax-Nr. 04821-648-40, Email: R.Wenzlaff@t-online.de

Dipl.-Ing. agr. Yves Reckleben ist Mitarbeiter an der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Max-Eyth-Straße 6, 24118 Kiel, Tel. 0431-880-1435.

<b>Gliederung</b>	<b>Seite</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>551</b>
<b>2. Bauarten</b>	<b>552</b>
<b>3. Verteilgenauigkeit</b>	<b>553</b>
3.1. Auswirkungen der Verteilgenauigkeit auf Qualität und Quantität von Erträgen	554
3.2. Externe Einflüsse	554
3.3. Interne Einflüsse	557
<b>4. Technische Detaillösungen an heutigen Düngerstreuern</b>	<b>561</b>
4.1. Wurfstreuer	561
4.1.1. Verteiltechnik	561
4.1.2. Arbeitsbreiten	562
4.1.3. Längsverteilung und Mengenregulierung	565
4.1.4. Grenzstreuen	568
4.1.5. Spätdüngung	569
4.2. Pneumatikstreuer	569
<b>5. Messung der Verteilgenauigkeit</b>	<b>570</b>
5.1. Messung auf Prüfständen	570
5.2. Messung in der Praxis	573
5.2.1. Messungen der Verteilung direkt mit Teststand	573
5.2.1.1. Messung der Verteilung über ein optoelektronisches System	574
5.2.2. Messungen indirekt mit N-Sensoren	575
5.2.2.1. Ergebnisse eines Feldversuches mit Wurfstreuern	575
<b>6. Schlussbemerkung</b>	<b>579</b>
<b>7. Literaturverzeichnis</b>	<b>580</b>

## 1. Einleitung

Die Mineraldüngung gehört auch heute angesichts abnehmender monetärer Grenzerträge immer noch zu den wichtigsten pflanzenbaulichen Maßnahmen.

Egal ob auf Grünland oder im Futter- und Ackerbau, überall wird versucht nicht nur quantitativ optimale, sondern auch qualitativ hochwertige Produkte zu erzeugen. Dazu bedarf es einer ausgefeilten Technik der Mineraldüngung.

Deshalb geht die Suche nach immer leistungsfähigeren Verfahren ständig weiter. Die Flächenleistung als ein Maß für Arbeitsproduktivität und damit Kostensenkung ist ein herausragendes Planungsmerkmal.

Neben der Flächenleistung widmen sich die Entwickler auch den Fragen einer ständigen Verbesserung der Verteilgenauigkeit, die gerade bei größeren Arbeitsbreiten nicht außer Acht gelassen werden darf.

Zunehmende Umweltauflagen (quotierte Düngermengen pro Fläche), Dokumentation der Arbeitsprozesse und Erfassung von Daten in Ackerschlagprogrammen verlangen neue technische Entwicklungen und die Weiterentwicklung bewährter Systeme.

Das vorliegende Heft soll einen Überblick über die theoretischen Grundlagen der Mineraldüngungstechnik, die aktuellen technischen Lösungen und deren Bewertung geben.

## **2. Bauarten**

Die technische Entwicklung hat eine Vielzahl an Grundformen für die Verteilung von Mineraldüngern hervorgebracht. Die Entwicklung der sog. Kunstdünger bedingte auch eine Weiterentwicklung der Verteiltechnik.

### **Einscheibenstreuer**

Der Einscheibenwurfstreuer hat wegen seines asymmetrischen Streubildes und der damit nur schwer optimierbaren Verteilgenauigkeit heute keine große Bedeutung mehr. Außerdem war bei angebauten Geräten der Vorratsbehälter nur sehr klein.

### **Zweischeibenstreuer**

Die technische Lösung, mit zwei gegensätzlich drehenden Streuscheiben hat heute die Bauart mit den größten Marktanteil. Egal ob bei kleineren oder größeren Typen und Arbeitsbreiten, die technische Einfachheit in Bedienung, Wartung und Pflege haben dieser Bauart zum Durchbruch verholfen. Viele Firmen bieten gerade bei dieser Bauart eine Vielzahl technischer Entwicklungen, um die Arbeitsqualität zu verbessern und sich vom Mitbewerber abzuheben.

### **Pendelrohrstreuer**

Diese Bauart, bei der Dünger durch ein pendelndes Rohr verteilt wird, ist nur bei einem Hersteller zu finden. Mit dieser Technik ist auch eine Reihendüngung möglich.

### **Bandstreuer**

Diese Bauart, bei der an einem Ausleger ein umlaufendes kleines Förderband den Dünger zu Abstreifern fördert, die den Dünger dann durch kleine Auswurföffnungen verteilt, wird heute nicht mehr angeboten. Er wurde hauptsächlich für mehliges Dünger eingesetzt.

**Schneckenstreuer**

Diese Bauart, die mit einer Schnecke, die gleichzeitig den Ausleger darstellt ausgerüstet sind, wurde auch im wesentlichen für die Ausbringung mehligter Dünger genutzt. Auch diese Bauart spielt heute kaum noch eine Rolle.

**Pneumatikstreuer**

Diese Anfang der 70er Jahre entwickelte Bauart verteilte den Dünger mittels eines Gebläses, das den Dünger über ein Gestänge und auf der Länge verteilte Auslassöffnungen auf die Fläche bringt.

Ihre Blütezeit erlebte diese Bauform von der Mitte der 70er bis in den Beginn der 90er Jahre. Ihre gute Verteilgenauigkeit war praxisanerkant und kompensierte lange Zeit die gegenüber den modernen Zweischiebenstreuern geringere Arbeitsbreite, die höheren Kosten und das höhere Gewicht.

Später jedoch wurden sie mehr und mehr vom Markt verdrängt, weil der Wartungsaufwand und der Anschaffungspreis vergleichsweise hoch sind. Sie finden aber erneut Interesse, weil Wurfstreuer mit großen Arbeitsbreiten vor allem in windreichen Gebieten an ihre Grenzen stoßen.

**3. Verteilgenauigkeit**

Die Verteilgenauigkeit ist neben allen anderen Leistungskriterien sicherlich der wichtigste Beurteilungsmaßstab bei Düngerstreuern.

Ungleiche Verteilungen führen zu punktueller Über- oder Unterversorgung mit Nährstoffen.

Unterversorgte Pflanzen erzielen nicht ihren genetisch möglichen Ertrag und sind anfällig gegenüber externen Einflüssen, wie Schaderregern oder Wetter.

Übersorgte Pflanzen neigen oder zeigen Qualitätseinbußen (Sommergerste), sind deutlich anfälliger gegenüber Schaderregern oder Witterungseinflüssen und zeigen heterogene Abreifeprozesse. Diese begrenzen die Mähdruschkapazitäten und verursachen somit Kosten.

Nicht zu letzt gelangt ungenutzter Dünger, vor allem Stickstoff, in tiefere Bodenschichten bis ins Grundwasser. Auch eine oberflächliche Abschwemmung mit der Folge von Eutrophierung von Vorflutern, Flüssen und Seen ist bekanntlich nicht auszuschließen.

Eine ungleichmäßige Düngeverteilung hat also nicht nur unmittelbare ökonomische Verluste für den Landwirt zur Folge, sondern zieht zahlreiche negative Sekundäreffekte nach sich. Gerade diese werden in der Öffentlichkeit immer wieder genutzt, um die modernen Landwirtschaft ins Gerede zu bringen und höhere Umweltauflagen durchzusetzen.

Es ist also im ureigenen Sinne der Landwirtschaft diesem Negativimage durch die Wahl geeigneter technischer Lösungen und Nachweise ihrer Zuverlässigkeit und richtigen Anwendung offensiv entgegenzutreten.

### 3.1 Auswirkungen der Verteilgenauigkeit auf Qualität und Quantität von Erträgen

Zu dieser Frage gibt es zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungsergebnisse. Aus der Vielzahl sollen hier nur zwei erwähnt werden.

**Tabelle 1:** Ertragseinbußen in Abhängigkeit von der Verteilgenauigkeit gemessen als Variationskoeffizient (VK %) (näheres dazu s. Kapitel 4)

VK %	Ertragseinbußen in %			
	Weizen m. Lager	Weizen o. Lager	Rüben	Mais
15	0.6	-	0.9	0.3
30	2.3	22.4	3.5	3.3
50	6.3	31.8	10.5	9.2

Krister Persson (Forskningscenter Bygholm) beziffert die Ertragseinbußen im Bereich bis VK=10% mit „fast unbedeutend“.

Aus der neueren Forschung mit N-Sensoren werden von verschiedenen Autoren Mehrerträge zwischen 1 und 4 dt/ha Winterweizen genannt, wenn es gelingt eine vorgegebene N-Düngermenge möglichst optimal auf der Fläche zu verteilen. Zusätzliche Aspekte, wie gleichmäßigere Abreife, geringere N-min Werte im Herbst und homogenere Proteingehalte sind ebenfalls bestätigt, jedoch im Einzelfall ökonomisch schwierig zu bewerten. Berater von Marktfruchtungen schätzen diese Effekte auf ca. 20 €/ha. Begründet wird dies durch eine mögliche Verbesserung der Mährdruschleistung.

### 3.2 Externe Einflüsse

Die externen Effekte, wie Wind, Düngerstruktur, Flächenzuschnitt beeinflussen die Verteilgenauigkeit in hohem Maße.

**Wind** verschiebt je nach Richtung das Streubild quer oder längs zur Fahrtrichtung und zwar nicht einfach nur parallel. Der Wind bremst die leichteren Düngerteilchen stärker als die schwereren und die aerodynamisch ungünstig stärker als die aerodynamisch günstig geformten. So entsteht eine nicht parallele Veränderung der Verteilung. Die luvseitige Verteilungskurve wird verkürzt und die gleiche Menge auf eine geringere Arbeitsbreite verteilt. Die leeseitige Verteilungskurve wird im

Gegenzug abgeflacht und verlängert. Überlagern beide Seiten, wie es bei einem Wurfstreuer der Fall sein muss, werden die Unregelmäßigkeiten nicht ausgeglichen, die Verteilungsgenauigkeit sinkt rapide. Böiger Wind, verstärkt die Effekte zusätzlich. Die Windeinflüsse sind umso stärker, je länger die Einwirkungszeit ist. Bei größeren Wurfweiten wachsen die Abweichungen also erheblich. Dies gilt auch für relativ hoch geführte Wurfbahnen gelten, bei denen die Einzelkörner, mit einer geringeren kinetischen Energie ausgestattet, leichter in ihrer Flugbahn gestört werden können.

Der Einfluss des **Düngers** insbesondere auf das Streubild von Wurfstreuern ist über viele Jahre hinweg Gegenstand von Diplom- und Promotionsarbeiten gewesen. Häufig gab es Diskussionen zwischen Mineraldüngerproduzenten und Herstellern von Düngerstreuern über die Frage wer letztendlich für Streufehler in der Praxis die Verantwortung habe.

Fakt ist, dass es heute qualitativ hochwertigen Dünger gibt, der hinsichtlich Korngrößenspektrum, Stabilität, Abriebfestigkeit und Oberflächenbeschaffenheit um ein Vielfaches besser ist, als in früheren Jahren.

Fakt ist aber auch, dass nicht alle Dünger DIN-Normen einhalten. Außerdem zwingt der hohe Kostendruck zum Einsatz billiger Importware.

Wurfstreuer werden auf ein spezielles Korngrößenspektrum optimiert. Gute Dünger haben ein definiertes Spektrum, um für größere und kleinere Wurfweiten optimal arbeiten zu können. Die Firma Accord liefert zur Spektrumbestimmung ein kleines Schüttelsieb. Wie stark diese definierten Spektren durch Transport, Einlagerung, Auslagerung und Ausbringung verändert werden ist unklar. Klar hingegen ist, dass Einflüsse nur negativ wirken, die Verteilgenauigkeit also leidet.

Wurfstreuer haben damit bauartbedingt erheblich größere Probleme als Pneumatikstreuer, eine optimale Verteilungsqualität zu gewährleisten. Dies gilt auch und insbesondere bei Wurfweiten über 18m, die heute gefragt sind.

Ähnliche Probleme sind bei kristallinem Harnstoff, sowie geprillter Importware bekannt.

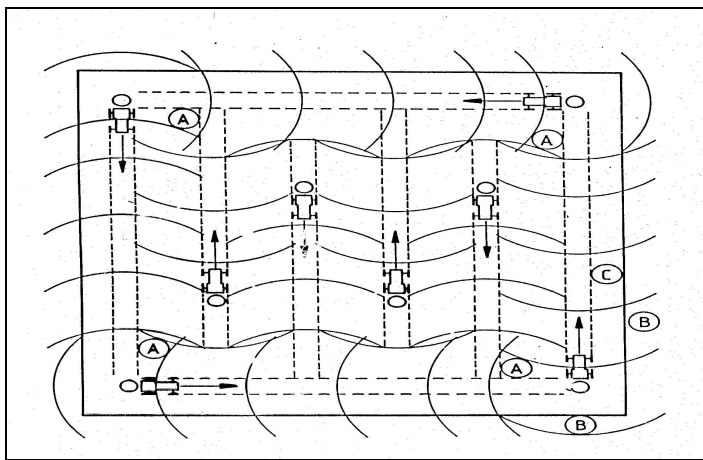
Es gibt sogar Hinweise, dass einzelne Lieferchargen sonst guter Dünger Probleme bereiten können.

Die **Schlagform** spielt insbesondere bei kleineren Schlägen eine relativ bedeutsame Rolle. Keilige Schlagformen führen zu Überlappungsfehlern, denn die Streuer sind auf eine optimale Arbeitsbreite eingestellt. In Keilen ergeben sich folglich Zonen erheblicher Unter- oder Überversorgung. Je kleiner und schlechter geformt die Schläge, desto größer dieser als Randzonen I bezeichnete Effekt.

Am **Vorgewende** (s. Abbildung 1, A) ergeben sich insbesondere bei Streuern, die bauartbedingt eine größere Fläche gleichzeitig abstreuen ebenfalls erhebliche Probleme. Entweder werden einige Bereiche gar nicht, unter- oder erheblich Überversorgt. Jeder Praktiker kennt diesen als Randzonen II bezeichneten Effekt.

Hier im Übergang vom Vorgewende zum Fahrgassenbereich sieht man die ersten Lagerstellen oder dünne Bestände. Natürlich entstehen diese Effekte auch auf dem Grünland, dennoch werden sie dort weitgehend ignoriert.

Neben dem Vorgewende treten im **Randbereich** (s. Abbildung 1 B,C) mit Nachbarschlägen, Knicks, Straßen oder Entwässerungsgräben Probleme auf. Streuer, die zur Erzielung einer guten Verteilung eine Überlappung brauchen, müssen hier durch zusätzliche Einrichtungen in der Wurfweite begrenzt und der Abfall des Streubildes optimiert werden. Diese als Randzone III bezeichneten Effekte wirken sich natürlich bei relativ kleinen Schlägen besonders deutlich aus.



**Abbildung 1** : Randzonenprobleme (Werkbild Rauch)

Diese Effekte sind bei Pneumaten bauartbedingt nicht vorhanden, die Teilbreitenschaltung ermöglicht optimierte Anpassungen.

Auch das **Oberflächenprofil** kann sich negativ auswirken. Auch hier haben Streuer, die gleichzeitig eine größere Fläche bestreuen Nachteile. Bei Fahrt bergauf wird relativ mehr Dünger in die natürlicher Weise ohnehin gut versorgte Senke gestreut. Bei Bergabfahrt erhält die eher unfruchtbare Kuppe zu wenig Dünger.

Ein weiterer Effekt ergibt sich bei Streuern, die den Dünger nicht mittig, sondern seitlich auf die Scheibe fallen lassen. Bei einer Neigung des Streutellers, verursacht durch Hangeffekte, verändert sich der Aufgabepunkt und damit die Verteilgenauigkeit. Diese Veränderung ist um so größer, je größer die Fallhöhe ist.

Ein deutliches Querprofil, wie es z.B. auf bestimmten Marschböden zu finden ist, führt dazu, dass der Dünger in sehr unterschiedlichen Winkeln auf den Boden prallt. Teilweise bleibt er liegen, teilweise springt und rollt er aber noch erheblich weiter. Die Verteilgenauigkeit des Streuers mag in diesem Fall gut sein, die tatsächliche Situation unmittelbar an der Pflanze ist aber eine andere.



Die erhebliche Zahl von externen Effekten auf die Verteilgenauigkeit führt dazu, dass insbesondere Zentrifugalstreuer ihre auf Testständen in optimierter Umgebung gewonnenen Testergebnisse im Regelfall in der Praxis nicht wiederholen können. Die Verteilgenauigkeit von Testergebnissen kann im harten Tageseinsatz so nicht erwartet werden.

### 3.3. Interne Effekte

Ebenso zahlreich und schwerwiegend wie die externen können die internen Effekte auf die Verteilgenauigkeit sein. Unter internen Effekten versteht man dabei die durch die Bauart entstehenden Probleme.

Im Regelfall haben wir auch heute noch die Zapfwelle als Antrieb für den Streuer. Unterschiedliche Motorbelastungen können zu **Drehzahlschwankungen** führen. Diese wiederum führen zu schwankenden Drehzahlen der Streuscheiben, also unterschiedlichen Wurfweiten. Bei pneumatischen Streuern ist der Effekt eher zu vernachlässigen. Im Regelfall wird mit Standgas gearbeitet, deshalb ergeben sich diese Effekte insbesondere bei kupiertem Gelände, bergab und bergauf ist die Motorauslastung unterschiedlich, die Drehzahl auch.

Die Drehzahl beeinflusst, bauartbedingt verschieden, eventuell auch die auslaufende Düngermenge. Nach Firmenangaben sollen Schwankungen von 550 U/min tolerierbar sein. Die praktischen Abweichungen liegen wohl eher darüber.

Einzig die Firma Rauch bietet bisher einen Hydraulischen Antrieb mittels auf die Zapfwelle steckbarer Pumpe. Dadurch lässt sich die Drehzahl konstant halten.

Der **Schlupf** ist ebenfalls nicht zu unterschätzen, nicht nur im kupiertem Gelände entstehen Unterschiede zwischen theoretischer und tatsächlicher Fahrgeschwindigkeit. Auch der Füllgrad mag dadurch einen indirekten Einfluss haben. 10% Schlupf (kaum wahrnehmbar) bedeuten 10% mehr Dünger und 10% zu hohe Düngerkosten. Da Schlupf eher beim bergauf fahren entsteht, potenziert sich dieser Effekt mit dem des Drehzahlabfalls zu einer Überversorgung der ohnehin zu gut versorgten Senken.

Der **Dünger** ist ein wesentlicher Faktor, zwischen ihm und dem Streuorganen gibt es Wechselwirkungen, wichtig sind Kornhärte, -oberfläche und spezifisches Gewicht.

Leichte Dünger, wie z. B. Harnstoff, fliegen nicht so weit. Die Korngröße liegt zwischen 1,5 bis 5mm, entsprechend unterschiedlich ist die Ablage. Eine gewisse Ungleichmäßigkeit ist deshalb für eine optimale Verteilung wichtig.

Die Kornform verändert den Luftwiderstand. Granulierte und geprillte Dünger sind kugelförmig und haben eine rauere Oberfläche, entsprechend weiter fliegen sie.

Wegen der hohen mechanischen Beanspruchung ist eine hohe Kornhärte wichtig.

Der Dünger läuft nicht immer gleichmäßig nach, Rührorgane sollen das vermeiden. Klumpenbildungen sind sicht- und kontrollierbar. Unterschiedliche Feuchtigkeit des Düngers führt zu unterschiedlichem Rieserverhalten und Nachlaufgeschwindigkeit. Zuführwellen oder Rührwellen unterschiedlicher Bauart sind deshalb zwingend. Unterschiedliche Feuchte verändert zusätzlich das spezifische Gewicht und damit die Flugeigenschaften des Düngers. Außerdem leidet die Stabilität, es entstehen Verschmierungen und Verklebungen also zusätzliche Störeffekte. Streuer mit höherer Streuscheibendrehzahl zeigen den Effekte eher.

Dies gilt auch für Streuer, bei denen der Dünger nicht mittig auf den Verteilteller läuft, sondern je nach Einstellung mehr oder weniger seitlich. Entsprechend hoch ist die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen fallendem Korn und drehender Verteilerschaufel. Die Bruch- und Staubgefahr wächst. Die Verteilgenauigkeit leidet. Bei jedem Dünger- manchmal sogar Chargenwechsel ist die Einstellung erneut zu überprüfen. Die Theorie der Streutabelle stimmt mit der Praxis nicht immer überein.

Die **Auslaufmenge** kann sich zwischen beiden Seiten unterscheiden. Entsprechend schräg wird die Querverteilung. Dieser Effekt ist bei der sog. Beetfahrt im Regelfall nicht so groß, bei der im Ackerbau bevorzugten Gegenfahrt (1. Fahrgasse hoch, 2. Fahrgasse herunter) addieren sich aber einmal die beiden Seiten mit der geringeren Auswurfmenge und einmal die beiden anderen Seiten. Entsprechend kommt es auf das Feld betrachtet zu einer erheblichen Verschlechterung der Verteilgenauigkeit.

Auch die **Grundeinstellung** des Streuers ist eine Fehlerquelle. Schaut man sich Streutabellen an, so wird vom Landwirt eine exakte Einstellung z.B. „absolut waagerechter Anbau, vorne 2 cm niedriger als hinten“ erwartet. Wer schafft diese Genauigkeit tatsächlich? Nur wenige Hersteller liefern eine Relativanzeige durch den Einbau einer kleinen Wasserwaage.

Die Streutabellen, die zeigen viele Messungen und Praxisversuche (Profi 12/2003) sind, wenn überhaupt für alle Dünger vorhanden, nur ein extrem grober Anhaltspunkt.

Es ist also in jedem Falle eine genaue Kalibrierung des Düngerstreuers vor dem Einsatz vorzunehmen. Dazu gehört nicht nur die dynamische Abdreprobe (Abdreprobe im Stand unterschätzt die Auslaufmenge pro Minute) sondern auch die Messung der Verteilgenauigkeit mit Hilfe mehrerer Messschalen. Die Hersteller bieten dazu entweder keine Hilfen oder aber nur Hilfen zur Optimierung der Überlappungszone (bei trapezförmigem Streubild) an.

Für die **Ährengabe** verwenden einige Hersteller Schaufeln, an deren Spitzen Leitbleche den Dünger nach oben lenken. Andere setzen unterschiedliche Teller ein oder wählen andere Anbauneigungen. Wie verändern sich dabei Flugbahn und Verteilgenauigkeit ?

Die wenigen vorliegenden Daten zeigen tendenziell eine Verschlechterung. Zwar ist die Spätgabe, insbesondere im Splittingverfahren eher klein, doch bestimmt gerade sie die Proteingehalte und damit die Höhe von Qualitätszuschlägen und Auswirkungen auf Fallzahl, Abreife und andere schwer zu quantifizierende Ertragseffekte.

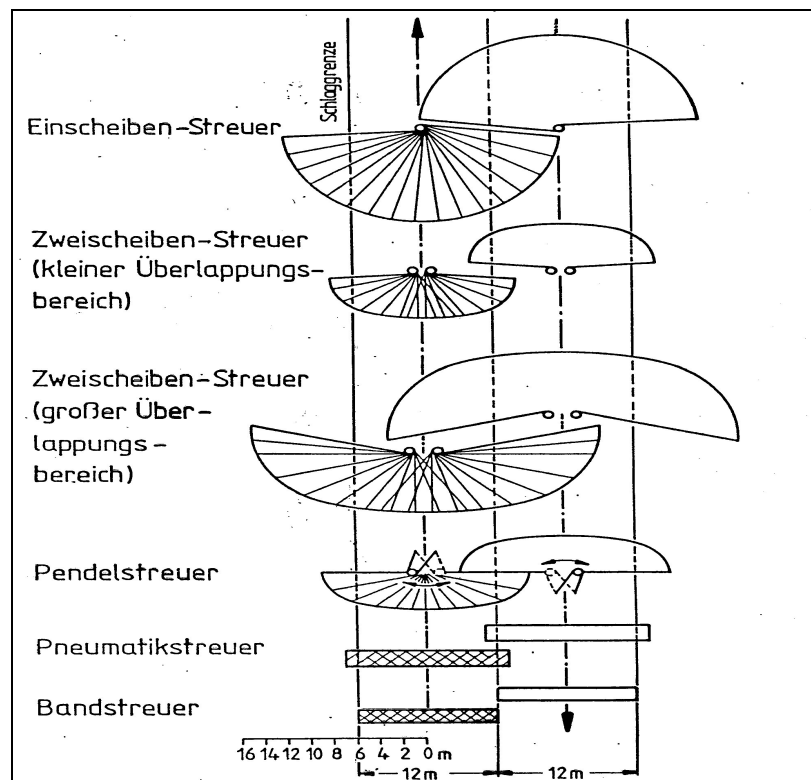
Wie genau arbeitet eigentlich die **Hydraulikanlage** des Schleppers? Wer weiß, wie stark die tatsächlichen Höhenschwankungen der Dreipunkthydraulik wirklich sind? Wie wirkt unterschiedliches Gewicht – auch auf die Einfederung der Reifen? Sind die Ventile dicht, oder gibt es trotz aller Vorsicht Höhenveränderungen. Auch dieser Einfluss erzeugt eher negative Auswirkungen auf die Verteilgenauigkeit.

Bei der **Fahrt** über den Acker federn die Reifen ein, Fahrspuren sind unterschiedlich tief und der Boden gibt unterschiedlich nach.

Ein Praktiker, der Ende Februar auf einem nassen, nur noch teilweise überfrorenem Boden, seine Frühjahrsgabe ausbringt, spürt diese Einflüsse unmittelbar. Der Schlepper schwingt, insbesondere bei den angestrebten großen Arbeitsbreiten. Das ist die Praxis.

Eine standardisierte Messung in einer riesigen Halle mit einer auf einer ebenen Betonfläche mit gleichförmigen Geschwindigkeit und bei konstanter Luftfeuchtigkeit und Windstille ist die Grundlage der veröffentlichten Messergebnisse. Das ist die Theorie.

Auch die **Form des Wurfbildes** hat einen Einfluss auf die Verteilgenauigkeit. Die Abbildung 2 zeigt einige Beispiele. Je nachdem, wie weit der Streuer Dünger hinter sich wirft, werden die oben beschriebenen Randzonenprobleme II (also Übergang Vorgewende zum Schlag) größer. Die geringsten Überlappungsprobleme breiten Pneumatik- und Bandstreuer, die größten Abweichungen findet man bei älteren Einscheibenstreuern. (s. Abb. 2).



**Abbildung 2:** Streuschirme verschiedener Bauarten (Werkbild Rauch)

Diese bauartbedingten Unterschiede bereiten nicht nur am Übergang zum Vorgewende, sondern auch im Feld Probleme bei der Längsverteilung. Soll z.B. ab einer bestimmten Stelle die auszubringende Düngermenge aufgrund eines schwächeren Bestandes erhöht werden, so wird sie auch für den Bereich erhöht, der noch vor dem entsprechenden Teilstück liegt. In diesem Bereich kommt es also zu einer Überversorgung. Am Ende des unterversorgten Bereiches wird die Düngermenge wieder auf Normalmaß reduziert. Entsprechend ist sofort auch ein Teil des unterversorgten Bereiches nur mit der normalen Menge bestreut. Das Pflanzenwachstum wird also nicht ausgereizt.

Diese Überlegungen greifen insbesondere dann, wenn mittels GPS-Steuerung und Ertragskartierungen bzw. N-Sensor-Messungen die Düngergabe pro Flächeneinheit häufiger verändert werden soll.

Bei diesen Anwendungen bedarf es noch einiger besonderer methodischer Überlegungen, um Wurfstreuer, denn nur bei diesen tritt das Phänomen auf, in die GPS-Steuerung fehlerfrei zu integrieren. Dies aber ist von grundlegender Bedeutung für deren Einsatz, denn bei einer Streuweite von z.B. 10 m nach hinten und einer Arbeitsbreite von 36 m ergeben sich sehr schnell größere Flächen, die nicht so gedüngt werden, wie es der Pflanzenbestand verlangt oder die Steuerung eigentlich vorhatte.

Erste Überlegungen dazu bieten dazu Persson et. al. vom Forschungszentrum Bygholm.

Insofern muss deutlich zwischen der virtuellen Genauigkeit und der tatsächlichen unterschieden werden.

Nicht zuletzt führen **Abnutzungen und Verschleiß** z.B. an Dosiereinrichtungen, Streuschaufeln, -scheiben, Umlenkelementen usw. zu deutlichen Einbußen bei der Verteilgenauigkeit. Da die Wartung nicht immer optimal ist, ergeben sich auch hier eher negative Auswirkungen auf die Verteilgenauigkeit. Erscheinen sichtbare Riefenbildungen auf den Schaufeln, so hört man bei Herstellern, dass alleine dadurch der VK % um 3-4 % sinken kann.

## **4. Technische Detaillösungen an heutigen Düngerstreuern**

### **4.1. Wurfstreuer**

Die Wurfstreuer stellen heute den größten Marktanteil, fast 10 Hersteller teilen sich den Markt. Zu den größten gehören sicherlich Rauch, Amazone, Kverneland (Vicon) und Bogballe. Sie haben in den letzten Jahren versucht, insbesondere die Arbeitsbreite zu steigern. Weitere Fortschritte wurden bei der Mengendosierung erzielt. Dafür bietet heute jeder Hersteller entsprechende elektronische Systeme an.

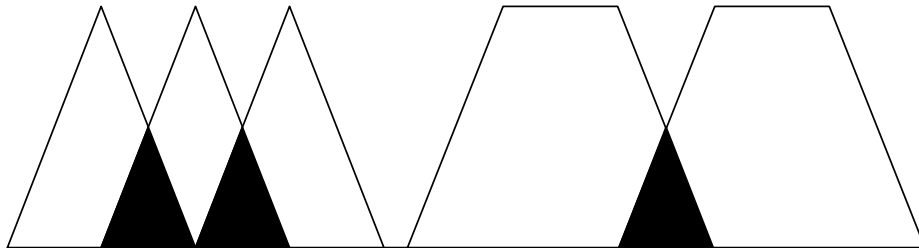
#### **4.1.1. Streukonzepte**

Die Streukonzepte der Hersteller unterscheiden sich z.T. grundlegend. Zum einen ist die Drehrichtung der Scheiben häufig ein Diskussionsgegenstand. Die sog. Centerliner (Drehrichtung von außen nach innen) zu denen Firmen wie Lely – heute Tulip –, Kverneland, Bredal, Rauch Axera und Bogballe stehen den sog. Off-Centerlinern (Drehrichtung von innen nach außen) Amazone, Sulky gegenüber. Infolge der unterschiedlichen Drehrichtung ergibt sich eine spezifische Streubildcharakteristik. Die Center-Line-Typen erreichen eine Überlappung von 70-90 % je Einzelscheibe, die Off-Center-Line-Typen dagegen nur eine Überlappung von 20-40 % in der Fahrgasse (Griepentrog et al., 2000). Eine größere Überlappung gleicht Unregelmäßigkeiten besser aus. In Praxistests schneidet diese Bauart deshalb häufig besser ab.



**Abbildung 3:** Streuorgan eines Wurfstreuers Amazone

Die Streubilder sind meistens dreieckig, zunehmend, insbesondere bei größeren Arbeitsbreiten findet man auch trapezförmige Streubilder. Diese entstehen durch mehrere sich überlappende Streubilder von mehreren bzw. geteilten Streuschaufeln/Teller.



**Abbildung 4 :** Überlappungsbereiche verschiedener Streubilder (Traphan)

#### 4.1.2. Arbeitsbreite

Die Arbeitsbreiten wachsen und wachsen. Galt vor 10 Jahren noch 12 m als maximal mögliche Arbeitsbreite, um mit einem passablen VK zu arbeiten, so übertrumpfen sich die Hersteller heute. 24m „Schnee von gestern“, 36 „immer unser Standard“, 42 m „nicht unmöglich“. Fragt man aber mal die Hersteller „hinter vorgehaltener Hand“, so findet man viele, die durchaus den Unterschied zwischen Teststand und Praxis erkennen. 36 m, so die Einschätzung ist wohl im praktischen Einsatz unter optimalen Randbedingungen technisch noch gerade zu beherrschen. Außerdem, so mehren sich die Überlegungen, nützt eine große Arbeitsbreite nur wenig, wenn die Vorratsbehälter nicht im gleichen Maße mitwachsen. Was nützt es, wenn man wegen einer großen Arbeitsbreite nicht „hin und zurück kommt“ und zwischenzeitliche Leerfahrten erforderlich sind.

80 kg N/ha als Frühjahrsgabe entsprechen ca. 300 kg KAS (ca. 300 l). Bei 2.000 l Inhalt (schon recht groß) können ca. 6,5 ha gestreut werden. Je Fahrt ergeben sich also 3,2 ha. Bei einer Arbeitsbreite von 24 m schafft man 1.330 m bei 42 m Arbeitsbreite nur 760 m. Bei einer Schlaglänge von über 760 m würde der Vorrat nicht für eine Hin- und Rückfahrt reichen. Diese Schläge sind in einigen Gegenden aber nicht selten.

Die Einstellung der Arbeitsbreite ist bei Wurfstreuern ein Thema für sich. Die Hersteller unterscheiden sich in der gewählten Technik z.T. deutlich. Andererseits findet man auch unterschiedliche Techniken beim gleichen Hersteller.

**Einstellelemente** sind im Regelfalle :

Anbauhöhe, Anbauneigung, Scheibenart, Wurfschaufellänge, Wurfschaufelstellung, Veränderung des Aufgabepunktes, Veränderung der Wurfschaufelform und nicht zuletzt die Drehzahl.

**Amazone** hat bei einigen Streuern einen feststehenden Auslasspunkt (ZA-X), der relativ dicht an der Mitte der Streuscheibe liegt. Bei anderen einen fast mittigen Auslasspunkt, der aber in gewissen Grenzen variiert (ZA-M)

Zwei unterschiedlich lange Streuschaufeln nehmen den Dünger auf. Je nach gewünschter Arbeitsbreite müssen beide Schaufeln in ihrem Winkel verstellt, also mehr oder weniger schräg auf der Scheibe angeordnet werden.

Dies sind immerhin 4 Arbeitsgänge. Für bestimmte Arbeitsbereiche sind unterschiedliche Schaufellängen und Scheiben zu benutzen. Die sog. OSE-Scheiben ermöglichen stufenlose Verstellungen der Arbeitsbreite zwischen 18-28 und alternativ 27-48 m Wurfweite. Eine über 100 Seiten starke Streutabelle soll für alle erdenklichen Dünger- und Einsatzvarianten optimale Einstellungen liefern.

**Bogballe** setzt für die Arbeitsbereiche 12-18 m, 20-24 und 24-36 m je drei unterschiedlich lange Flügel ein. Die Streuschaufeln haben am Ende eine Teilung, so wird der Düngerstrom geteilt. Da außerdem die eine Hälfte an einer Prallkante aufgelöst wird, soll eine sehr gleichmäßige Streuung erzielt werden. Das Streubild wird durch Verstellung des Aufgabepunktes verändert. Zusätzlich ist die Wurfweite durch Neigungsverstellung zu beeinflussen. Dazu ist eine gut einstell- und ablesbare Wasserwaage eingebaut.



**Abbildung 5:** Streuorgan der Firma Bogballe

**Kverneland** wählt ein System, bei dem der Dünger möglichst mittig aufgebracht und somit aus der Mitte heraus beschleunigt wird. Die mittige Aufbringung vermeidet störende Hangeffekte. Eine radial verstellbare Auslassöffnung lässt den Dünger auf 8 unterschiedlich lange Streuschaufeln gleiten. Damit entsteht eine trapezförmige Verteilung. Außerdem wird die Menge pro Schaufel reduziert, das ist insbesondere bei großen Arbeitsbreiten wichtig, denn Reibungen innerhalb eines dicken Körnerstranges wirken sich nachteilig aus. Die Wurfweite wird durch Drehzahlveränderungen (extra Getriebe) erreicht, außerdem gibt es unterschiedlich lange Schaufeln, die aber einen gewissen Bandbereich so z.B. von 10-18 m mit einem Satz abdecken. Für sehr große Arbeitsbreiten ist eine zusätzliche Schrägstellung der Scheiben (Oberlenker) notwendig.

Kverneland trennt also ganz systematisch die Einstellpunkte Auslassöffnung, Mengendosierung und Wurfweiteneinstellung. Umfangreiche Hinweise bietet die Firma unter [www.streutabellen.de](http://www.streutabellen.de).



**Abbildung 6 :** Streuscheibe von Kverneland

**Rauch** arbeitet beim kleineren Typ Alpha mit unterschiedlichen Streutellern, auf denen zwei Wurf-schaufeln in Winkel und Länge veränderbar sind. Damit sollen Arbeitsbreiten bis zu 32 m möglich sein.



Der größere Typ Axera (bis zu 42 m Arbeitsbreite) hat zwei Doppelwurfschaufeln, bei denen die vordere kürzer ist und den Dünger eher im Außenbereich der Scheibe aufnimmt. Die hintere längere nimmt den Dünger unmittelbar an der Narbe auf und beschleunigt ihn deshalb auf eine wesentlich höhere Abfluggeschwindigkeit. Dieser Streuer produziert im Grunde also vier verschiedene Streubilder, die sich überlappen. Zwei für eine kleiner Arbeitsbreite und zwei für die danach folgende größere Arbeitsbreite.

Die Scheiben drehen nach innen, so überlappen die Streubilder beider Scheiben zusätzlich relativ stark. Dadurch werden eventuelle Unregelmäßigkeiten relativ gut ausgeglichen.

Nach oben sind die Wurfschaufeln abgedeckt und eine Bürste verhindert im unmittelbaren Aufgabepunkt, dass Dünger von der Scheibe springt. So wird im unmittelbaren Streuerbereich relativ wenig Dünger unkontrolliert im Fahrgassenbereich verteilt. Das Streubild wird dadurch relativ flach ohne, dass die Flugbahn zu flach werden muss.

Umfangreiche, aber auch lesbare Streutabellen, besonders gut im Internet abrufbar gestatten in Verbindung mit relativ einfacher Verstellung eine schnelle Anpassung an die gewünschten Einsatzbedingungen. Auch Hinweise auf die Notwendigkeit einer Überprüfung in der Praxis sind vorhanden. Dazu gehört auch ein einfacher Teststand, der zumindest grobe Auffälligkeiten in der Querverteilung aufdecken soll.



**Abbildung 7:** Streuorgan der Firma Rauch

**Sulky** verstellt den Aufgabepunkt um die Arbeitsbreite und Verteilung zu verändern. Es werden zwei unterschiedlich lange Schaufeln je Streuscheibe eingesetzt. Ein sog. Multiüberlappungssystem soll dynamische Verteilungsstörungen reduzieren.

### 4.1.3. Längsverteilung und Mengenregulierung

Gleichzeitig mit der Frage nach technischen Lösungen zur Optimierung der Querverteilung stellte sich auch die Frage nach einer genauen Längsverteilung.

Außerdem ist aus pflanzenbaulicher Sicht eine Veränderung der Mengengabe pro Flächeneinheit in Abhängigkeit vom Ernährungszustand des Bestandes notwendig. Dies erfordert die Entwicklung von technischen Lösungen, die die Ausbringungsmenge pro Flächeneinheit während der Fahrt verändern können.

Eine gleichmäßige Längsverteilung sollte durch eine fixe Einstellung der Auslassöffnung, ein gleichmäßiges Nachlaufverhalten und eine gleichmäßige Geschwindigkeit gesichert werden. Die im praktischen Einsatz zu beobachtenden Einflussfaktoren zeigten schnell die Grenzen dieser Annahmen auf.

Ein erster Schritt war die Verbesserung des Nachlaufverhaltens durch Rührwerke, zunächst direkt horizontal drehend auf die Streuscheiben gesteckt. Später erfolgte die Einführung der besseren, weil separat, langsamer und horizontal drehenden Rührwelle.

Damit war aber noch keine Änderung der Dosierung möglich, sondern vielleicht eine halbwegs akzeptable gleichmäßige Mengenzuführung und damit bei gleichmäßiger Geschwindigkeit eine vernünftige Längsverteilung.

Mit **Tasträdern**, die die Geschwindigkeit von Zuführorganen (z.B. Förderbändern, Zellenrädern) steuerten, gelang eine geschwindigkeitsunabhängige Längsdosierung. Diese in Dänemark früher oft zu findende Technik war ein deutlicher Fortschritt.

Griffen diese Tasträder allerdings die Geschwindigkeit am Hinterrad des Schleppers ab, so beeinflusste natürlich der Schlupf die Dosierung erheblich. Nur Tasträder an nicht angetriebenen Rädern oder an schlupffrei laufenden Tragrädern ermöglichen eine genaue geschwindigkeitsunabhängige Steuerung der Zuführorgane.

Diese Lösungen boten nur eine gleichmäßige Längsverteilung, aber keine Veränderung der Düngergabe während der Fahrt. Diese war nur ohne geschwindigkeitsunabhängige Dosierung möglich, indem man einen anderen Gang wählt. Die Abstufungen waren bei den älteren Getrieben zu grob. Lastschaltungen brachten eine gewisse Verbesserung dieser Art der Mengenveränderung.

Eine **manuelle Mengenverstellung von  $\pm 10$  %** während der Fahrt ermöglichte in den 80er Jahren die Firma Amazone mit Hilfe eines zusätzlichen Seilzuges. Bei geschickter Kombination von Mengenwahl am Streuer und Gangwahl am Schlepper konnten geübte Fahrer eine gewisse pflanzengerechte Versorgung erzielen. Wer aber machte es tatsächlich ?

Eine **automatische Längsdosierung** gelang erst mit der Einführung der elektronischen Steuerung. Berührungs- und damit verschleißfreie Messfühler, wie Magnetschalter in den nicht angetriebenen Vorderreifen ermöglichten in Verbindung mit elektrischen Stellmotoren eine geschwindigkeitsunabhängige Dosierung. Mit ihrer Hilfe war durch Veränderung der Sollgröße auch die Mengengabe pro Flächeneinheit für jede beliebige Teilfläche veränderbar.

Später verfeinerte die **Radartechnik** durch Messung der wahren Geschwindigkeit die Genauigkeit. Diese Lösung ist auch heute noch relativ teuer.

Früher waren alle Dosierungen **Volumendosierungen**. Vor dem Einsatz musste das spezifische Gewicht ermittelt werden, um so eine Eichung für die tatsächlich zu applizierende Nährstoffmenge durchzuführen.

Zwar besteht bei handelsüblichem Mineraldünger heute eine enge Korrelation zwischen Volumen und Gewicht, doch können Abweichungen durch Lagerungseinflüsse (Abrieb, Feuchtigkeit) nicht ausgeschlossen werden.

Die direkte **Gewichtsdosierung** erfolgt durch Wiegestäbe am Streuern. Die Systeme sind soweit entwickelt, dass die fahrtbedingte dynamische Effekte kompensierbar sind. Es entfällt außerdem die bei Landwirten wenig beliebte und damit häufig nicht durchgeführte Abdreprobe.

Die Hersteller gehen sehr verschiedene Wege. Einige wiegen den ganzen Streuer, andere nur den Vorratsbehälter. Auch die Zahl der Wiegezellen ist unterschiedlich. Kverneland wiegt mit 4 Zellen und einer Korrekturzelle (dyn. Schwingungen), andere haben den Behälter so aufgehängt, dass angeblich nur mit einer Zelle vernünftig zu wiegen ist. Die Kalibrierung erfolgt zu Arbeitsbeginn per Hand. Nur Kverneland kann während der Arbeit automatisch nachkalibrieren.

Die notwendigen Abdrehproben sind in den Herstellerangaben ausführlich beschrieben. Die meisten bieten entsprechende Vorrichtungen zur Arbeitserleichterung.

Andere Wege geht seit einigen Jahren die Firma Rauch mit ihrer Baureihe Axera H-EMC. Bei diesem Wurfstreuer werden die beiden Streuscheiben durch je einen Ölmotor angetrieben. Über die Drehzahlveränderung wird die Wurf- und damit die Arbeitsbreite variiert. Die Besonderheit besteht in der Dosierung. Es wird nicht vom Volumen auf das Gewicht geschlossen oder direkt gewogen, sondern es wird über die Druckdifferenz zwischen Vor- und Rücklaufleitung der Hydraulik das Drehmoment gemessen. Aus der Veränderung des **Drehmomentes** wird auf das der Streuscheibe zugeführte Düngergewicht geschlossen.

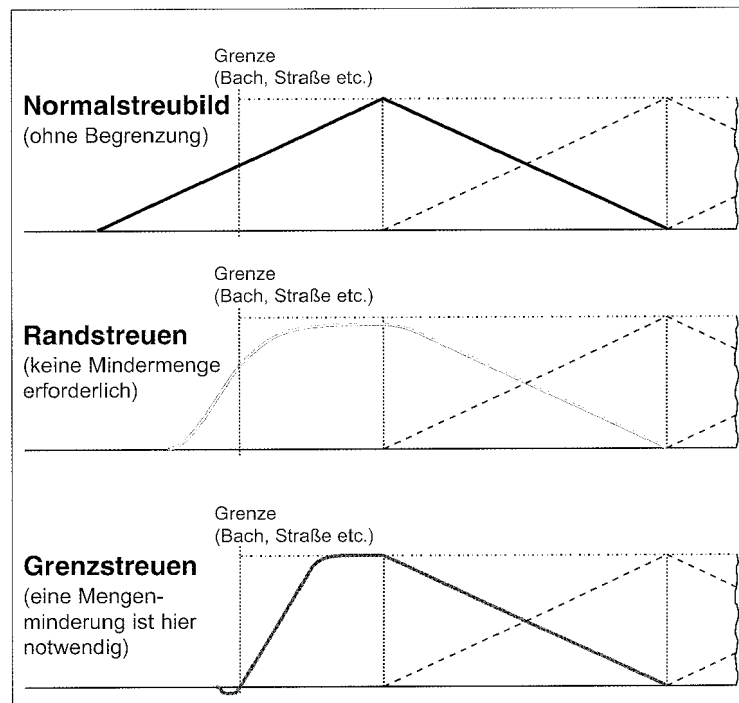
Diese Technik benötigt auf der Schlepperseite den Einsatz eines Hydrauliksystems mit „load-sensing“ Technik. Diese elektronische Düngerdurchflussregelung kommt ohne aufwendige Abdrehprobe aus und kompensiert unterschiedliches Auslaufverhalten während der Fahrt und zwischen beiden Auslauföffnungen.

Die technische Entwicklung beim Wiegen ist unübersehbar. Allerdings gibt es über die Wiegegenauigkeit insbesondere unter praktischen Einsatzbedingungen derzeit keine detaillierten Vergleichsuntersuchungen, so dass man sich auf Firmenangaben verlassen muss.

Die Verbindung zum Thema „precision farming“ ist jetzt nur noch ein kleiner Schritt. Alle elektronischen Bauteile, bis hin zum notwendigen Jobrechner sind heute vorhanden.

#### 4.1.4. Grenzstreuen

Die Abb. 8 zeigt die Unterschiede zwischen Randstreuen und Grenzstreuen. Beim Randstreuen ist keine Mengenreduzierung erforderlich. Wegen ständig steigender Umweltauflagen, aber auch aus Kostengründen wird das sog. Grenzstreuen wichtiger. Dies gilt insbesondere bei kleinen Flächen mit entsprechend hohen Randanteilen.



**Abbildung 8:** Rand- und Grenzstreuen (Werkbild Amazone)

Die Hersteller setzen je nach Streuertyp verschiedene Lösungen ein. Sehr einfach ist das Schrägstellen des Streuers. Dadurch wird einseitig die Wurfweite begrenzt. Allerdings wird auch das Streubild auf der Gegenseite beeinflusst. Diese Lösung kann daher hohen Anforderungen eher nicht gerecht werden.

Andere Firmen bieten Wechselscheiben mit andere Streuschaufeln zur Veränderung des Streubildes. Auch das einfache Abschalten einer Scheibe ist zu finden. Bredal reduziert die Drehzahl einer Scheibe über ein Zusatzgetriebe.

Streuschirme, die in den Düngerstrom hineingeklappert werden und so den Randbereich definiert versorgen, sind eine andere Variante. Dieses Prinzip findet

man bei Amazone, Rauch und Kverneland. Bogballe verändert als einziger die Drehrichtung, sodass ein Off-Liner-System entsteht. Sulky verwendet besonders geformte aufsteckbar Streuschaufeln und in bestimmten Fällen Streuschirme zwischen beiden Streuscheiben.

Da beim sog. Grenzstreuen die Menge einer Seite reduzierbar sein muss, muss auch eine entsprechende technische Lösung angeboten werden.

Generell gilt, dass bei diesen besonderen Einsatzbedingungen der Variationskoeffizient leidet, auch die Applizierung der gleichen Menge je m<sup>2</sup> gelingt nur bedingt. Es wird immer ein gewisser Kompromiss gesucht werden müssen.

#### **4.1.5. Spätdüngung**

Für die Spätdüngung gibt es ebenfalls diverse technische Lösungen. Amazone bietet Wurfschaufeln, die am Ende etwas hochgeklappt werden. Sulky neigt den Streuer um 5 %. Rauch wählt andere Streuscheiben. Einige Hersteller bieten keine zusätzliche Technik, sondern begnügen sich mit dem Anheben des Streuers. Auch hier gibt es kaum Untersuchungen zur Änderung der Verteilgenauigkeit. Eines ist sicher, sie wird eher schlechter.

### **4.2. Pneumatikstreuer**

Der Urvater dieser Bauform war wohl der aus der Weiste-Accord Drillmaschine abgeleitete Düngerstreuer. Ein zentraler Prallkopfverteiler verteilte den Dünger in einzelne Auslaufrohre. Die Geräteneigung veränderte die Düngerverteilung am Verteilerkopf aber erheblich, sodass dieser Streuer nicht lange am Markt war.

Es folgten Bauarten mit nur drei Unterverteilern, die dann wiederum versuchten den Dünger flächig zu verteilen. Zwar war das Anschlussfahren etwas leichter, da am Ende die Streudreiecke größer waren, doch konnte insbesondere die technische Zuverlässigkeit der Verteilungsorgane nicht befriedigen. Auch diese Geräte verschwanden vom Markt.

Später entwickelten sich Bauformen, wie z.B. der Rauch Aero, bei dem quer liegende Noppenwalzen die Düngerdosierung übernahmen. Durch die Teilung der Dosierwalzen gelang eine Teilbreitenschaltung. Ausgehend von dieser Grundform entwickelten auch andere Firmen Pneumaten.

Gegenüber den Wurfstreuern haben die Pneumaten immer die Nachteile des etwas höheren Bau-, Reparatur- und Reinigungsaufwandes. Außerdem war die Stabilität der Gestänge ein wiederkehrender Schwachpunkt. Da auch die Forderung nach größeren Arbeitsbreiten schwierig zu realisieren ist, ging die Bedeutung der Pneumaten in den letzten Jahren erheblich zurück.

Heute ist der Markt so klein, dass in ganz Europa nur noch die Firma Rauch mit dem Typ Aero einen pneumatischen Düngerstreuer baut. Neu diskutiert werden Pneumatikstreuer mit der teilflächenspezifischen Landbewirtschaftung und der damit erforderlichen schnelleren, kleinflächigeren Anpassung der Düngergabe.

Der Aero ist ein technisch ausgereiftes Gerät mit bis zu 24 m Arbeitsbreite und 4-facher Teilbreitenschaltung. 16 Injektoren schleusen den Dünger über 16 einzelne Rohre zu den Endverteilern. Diese sind in speziellen Versuchen optimiert. Die Verteilungskegel überlappen sich zu 100 %, das sorgt für optimale Genauigkeit.

Für die Spätdüngung werden die Prallbleche einfach andersrum aufgesteckt. Beim Grenzstreuen wird der Streuwinkel am äußeren Verteiler durch ein Leitblech eingeschränkt. Eine Mengenreduzierung erfolgt aber nicht.

Neu und als Prototyp auf der Agritechnica 2003 gezeigt, bietet Rauch den AGT an. Dies ist ein angehängter Pneumat mit 36 m Arbeitsbreite und 6 t Zuladung. Die technischen Elemente stammen aus dem Aero, allerdings gibt es hier 6 Teilbreiten, die jeweils über ein eigenes Verteilsystem (je ein Ölmotor) mit Dünger beaufschlagt werden. Zwei große Zentralgebläse sitzen im staubarmem Raum über der Zugdeichsel. Das Gestänge ist äußerst stabil und ähnlich, wie bei einer Pflanzenschutzspritze mit Hangausgleich aufgehängt. Das Gerät ist für 40 km/h zugelassen. Einsatzgebiete sieht Rauch in großen Ackerbaubetrieben. Da zukünftig der Ackerbau in kleineren Betrieben durch Arbeitsauslagerung weiter rationalisiert wird, erscheint auch der überbetriebliche Einsatz als ein interessanter Absatzmarkt.

## **5. Messung der Verteilgenauigkeit**

Die Messung der Verteilgenauigkeit als wichtiges Beurteilungskriterium für die Streuerauswahl wird von den Firmen selber und insbesondere von der DLG bzw. den europäischen Prüfstationen, vor allem der dänischen Prüfstation in Horsens, durchgeführt.

### **5.1. Messung auf Prüfständen**

Die Prüfstandmessungen sind unverzichtbarer Bestandteile zur Prüfung der technischen Leistungsfähigkeit von z.B. Düngerstreuern. Nur diese Messungen, von neutralen Fachleuten und Institutionen schaffen eine objektive Vergleichsbasis unterschiedlicher technischer Lösungen.

An diese Messungen werden sehr große Anforderungen gestellt. Sie müssen nicht nur völlig neutral und unabhängig durchgeführt werden, sondern auch systematisch richtige und jederzeit reproduzierbare Daten liefern. Diese Forderung kann man nur

auf großen Prüfständen realisieren, in denen in einer Halle unter steuerbaren klimatischen Verhältnissen (Düngerverhalten) die Streuer unter immer wiederkehrenden Bedingungen eingesetzt und verglichen werden.

Der hohe bauliche und messtechnische Umfang einer solchen Prüfung ist teuer. Deshalb ist es vernünftig nur einmal in Europa eine derart leistungsfähige Anlage zu bauen und zu betreiben. Es ist dies das Forschungscenter Bygholm (Bostboks 536, 8700 Horsens Fax: 7629 6100 [Svend.Christensen@agrsci.dk](mailto:Svend.Christensen@agrsci.dk)).



**Abbildung 9:** Testhalle des Forschungscenter Bygholm

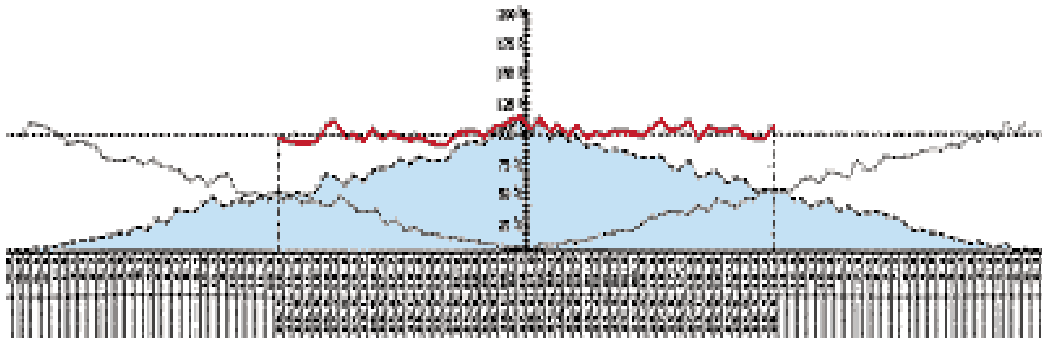
In dieser 60 x 80 m großen Halle werden alle verbindlichen Messungen nach einem einheitlichen OECD-Standard durchgeführt. Zahlreiche Firmen schicken auf eigene Kosten zusätzlich ihre „Erlkönige“ zum Testen.

In der Düngerstreuer-Prüfhalle kann man den Einfluss von Seitenwind nicht ermitteln, was aber das Streuverhalten erheblich verändert.

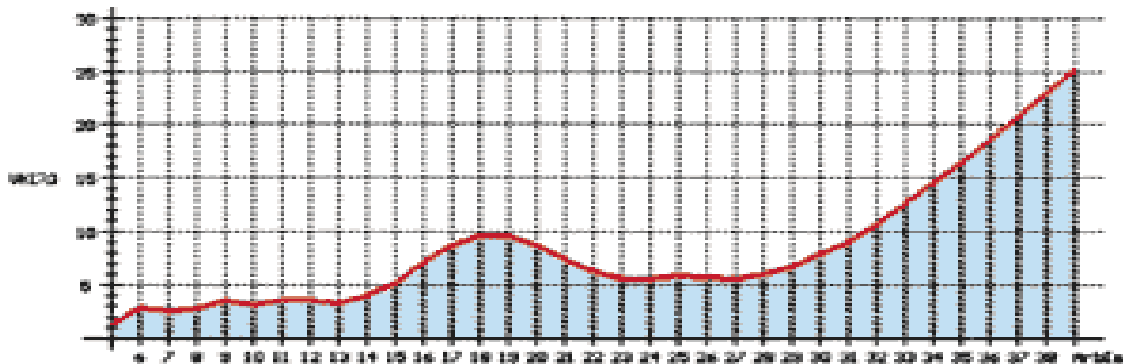
#### **Auswertung :**

Die Verteilgenauigkeit wird als sog. Variationskoeffizient (VK %) ausgedrückt. Dabei wird nach einer Überfahrt alle 50 cm die ausgebrachte Düngermenge gewogen und so das Streubild ohne Überlappung (Wurfweite) ermittelt (siehe Abb. 10).

Mittels EDV wird dann schrittweise eine Überlappung durchgeführt. Für jede dieser Überlappungen, gleichbedeutend mit einer entsprechenden Änderung der Arbeitsbreite, wird dann der jeweilige Variationskoeffizient ausgerechnet. Diese Variationskoeffizienten werden für jede Arbeitsbreite grafisch dargestellt (s. Abb. 11). So ist die optimale Arbeitsbreite ablesbar.



**Abbildung 10:** Streubild eines Wurfstreuers (Wurfweite graue Fläche)  
Arbeitsbreite (obere Kurve als Summe der Einzelwerte der überlappenden Mengen) (Werkbild Rauch)



**Abbildung 11:** Variationskoeffizient -Daten für verschiedene simulierte Arbeitsbreiten (Werkbild Rauch)

Für diesen Streuer, in dieser Einstellung, mit diesem Dünger und in dieser Umwelt ergeben sich optimale Arbeitsbreiten zwischen 23 und 28 m, hier liegt der Variationskoeffizient (Messstand) bei ca. 6 %.

In den letzten Jahren haben fast alle Hersteller ihre Geräte in Bygholm prüfen lassen, die Testberichte liegen vor und sind für jeden einsehbar. Im Durchschnitt liegen die Ergebnisse für Arbeitsbreiten bis zu 24 m zwischen 5-7 Variationskoeffizient bei den guten und 9-11 Variationskoeffizient bei anderen Fabrikaten und damit deutlich unter dem Grenzwert von 15 Variationskoeffizient.

Die im Regelfall negativen Veränderungen bei Spätdüngungseinstellung oder Rand- bzw. Grenzstreuen liegen je nach Fabrikat zwischen 0 und 5 VK %.

Die VK % für Arbeitsbreiten von 36 m liegen je nach Hersteller zwischen 15 und 20% und damit deutlich über den Zielgrößen für einen Hallentest.

Die letzten Vergleiche führte Wilmer im Auftrag der Zeitschrift Profi (12/2003). Bei diesem Test zeigten Bogballe, Rauch und Amazone die besten Ergebnisse zwischen 5,5 und 6,9 VK %. Bemerkenswert war, dass sich die angeblich optimale Einstellung



nach vorgegebenen Streu- und Einstellungstabellen durch Ausprobieren noch weiter verbessern ließ.

## **5.2. Messung in der Praxis**

Der oben skizzierte Aufwand führt zwar zu sehr exakten und reproduzierbaren Daten, berücksichtigt aber nicht die vielfältigen externen Einflüsse auf den Variationskoeffizient (Praxis), ja will diese sogar ausschalten.

Deshalb werden oft zusätzliche Messungen unter praktischen Bedingungen durchzuführen. Dabei kann man sowohl direkte als auch indirekte Messungen durchgeführt.

### **5.2.1. Messungen der Verteilung direkt mit Teststand**

Direkte Messungen in der Praxis auf dem Feld gestalten sich schwierig, denn die Gefahr der Überdüngung der Fläche wächst mit jedem Testdurchgang. Außerdem erhöht man, um Ablesefehler und Ungenauigkeiten zu vermeiden die gestreute Menge. Es ist deshalb notwendig auf ebene befestigte Flächen z.B. beim Landhandel oder Genossenschaften auszuweichen.

Als Teststand dienen Schalen, die in ca. 2 m Abstand den Dünger auffangen. Die Auswertung mittels EDV basiert auf denselben Berechnungsmodalitäten wie in Bygholm, nur nicht graphisch so ansprechend.

Zusätzliche Effekte, die unter praktischen Verhältnissen getestet einfließen, sind Wind und technischer Zustand und Wartung sowie die Einstellung der Maschine durch den Landwirt.

Zahlreiche Versuche liefen in den 80er und 90er Jahren. Der Nutzeffekt war hoch, denn man unterhielt sich nicht nur über die notwendigen Düngermengen, sondern konnte häufig Bedienungs- und Wartungsfehler aufdecken. Daraus entstanden handfeste praktische Hilfen für den Landwirt, entsprechend beliebt waren diese Tests.

Auch verschiedene Dünger, damals kristalliner Harnstoff, wurden getestet. Man verglich die Ergebnisse von Schleuder- und Pneumatikstreuern und diskutierte leidenschaftlich die Unterschiede zwischen Hallenergebnissen und den eigenen Messungen.

Allerdings erfassten diese Tests auch nicht die dynamischen Effekte die aus Fahrbetrieb, Einsatzsituation oder Düngeigenschaften resultierten. Dennoch gewann man umfangreiche Erfahrung. Auch die Firmen beobachteten die Ergebnis, sahen sie aber wegen der eingeschränkten Aussagefähigkeit und den rel. schlechten Ergebnissen häufig kritisch.

Für die Beurteilung der Verteilgenauigkeit haben sich damals die in der folgenden Tabelle 2 dargestellten Anhaltswerte durchgesetzt.

**Tabelle 2:** Beurteilung des Variationskoeffizienten

Mineraldüngung			Güledüngung	
	Feldbedingungen VK%	Halle VK%		VK%
Sehr gut	0 – 10 %	0 – 15 %	Sehr gut	0 – 10 %
gut	10 - 15 %	5 – 10 %	Sehr gut	10 – 15 %
befriedigend	15 – 20 %	10 – 15 %	Gut	15 – 20 %
nicht ausreichend	20 - 25 %	> 15 %	befriedigend	20 - 25 %
Einsatz nicht empfohlen	> 25 %		Einsatz nicht empfohlen	> 25 %

Die Tests waren sehr arbeitsaufwendig. Sie fanden meistens im Frühjahr vor Beginn der Düngersaison statt, entsprechend schlecht war häufig das Wetter. Nachdem die meisten Landwirte ihre Erfahrungen gesammelt hatten erlahmte das Interesse.

### 5.2.1.1. Messungen der Verteilung über ein optoelektronisches System

Das obige Kapitel zeigt sehr deutlich den Arbeits- und Auswertumfang beim Einsatz bisheriger Messstände in der Praxis. Außerdem gibt es Hinweise darauf, dass mit dem VK % alleine eine pflanzenbaulich sinnhafte Beurteilung schwierig sein kann und zusätzliche Parameter berücksichtigt werden sollten.

Ein neues Auswertungssystem erscheint sinnvoll.

An der Uni Hohenheim erprobt Dr. Hensel ein System, das mittels elektronischer Kameras und einer Bildverarbeitungssoftware die Verteilung von Düngerkörnern direkt auf der Fläche messen und auswerten kann. Sollte dieses System nach intensiver Erprobung praxistauglich sein, so würden sich die bisherigen Probleme bei den Feldversuchen lösen.

Bisher kann die Querverteilung nur punktuell bestimmt werden. Ob diese mit der erforderlichen hohen Genauigkeit in der Praxis reproduzierbar ist, ist nicht zweifelsfrei geklärt. Die Sensibilität einzelner Streutechniken ist offensichtlich unterschiedlich, quantitative Auswertungen unter Praxisbedingungen fehlen bisher.

Auch die Verteilgenauigkeit beim Grenzstreuen, im Überlappungsbereich zum Vorgewende usw. ließe sich mit dem neuen System direkt vor Ort messen und auswerten.

## 5.2.2. Messungen der Verteilung indirekt mit N-Sensoren

Nach dem Motto: „Es ist nicht wichtig, wie der Dünger fliegt, wichtig ist seine Wirkung an der Pflanze“ kam man mit der Entwicklung der N-Sensoren zur Überlegung, die N-Verteilung indirekt über die Ernährungssituation der Pflanze zu messen.

Zwar werden hier zusätzlich die so wichtigen dynamischen Effekte erfasst und die Messungen sind schnell, einfach und automatisierbar. Dennoch kommen neue Störgrößen wie die Auswirkungen des Witterungsverlaufes auf die Aufnahmedynamik des Stickstoffs (Wärme, Trockenheit usw.) hinzu.

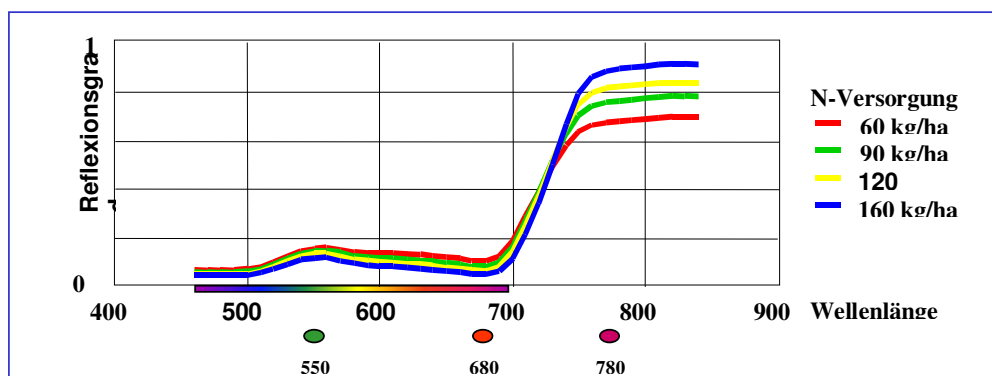
### 5.2.2.1. Ergebnisse eines Feldversuches

Am Institut für landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität in Kiel hat in der letzten Pflanzenbausaison einige interessante Messungen durchgeführt, über die im Folgenden zusammenfassen berichtet wird.

Pflanzenbestände zeigen oftmals Streifen im Überlappungsbereich. Diese „Streifenkrankheit“ kann auf eine unterschiedliche N-Versorgung zurückgeführt werden. Gut versorgte Teilbereiche erscheinen dem menschlichen Auge als dunkelgrün, schlecht versorgte als hellgrün.

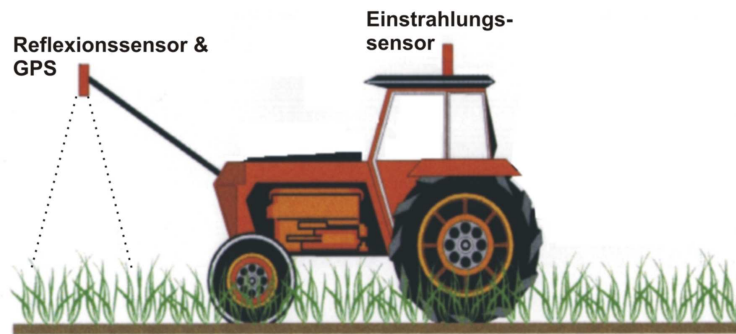
Diese Unterschiede in der Farbintensität sollen mit Hilfe von Sensoren gemessen werden. Solche Sensoren wurden Mitte der 90'er Jahre entwickelt, um bei der teilflächenspezifischen N-Düngung Bestandesunterschiede zu erfassen und diese in eine Düngeempfehlung umzusetzen (Reusch 1997).

Als Messwert gilt die Reflexion bei unterschiedlicher Wellenlänge des Lichts im sichtbaren und Infrarot-Bereich (Abb. 12). Daraus wird als allgemeiner Kennwert der Infrarot zu Rot-Index (IR/R) als Maß für die Biomasseentwicklung genutzt. Gut versorgte Bestände haben eine gut entwickelte Biomasse und somit einen höheren IR/R Index als schlecht entwickelte.



**Abbildung 12:** Reflexionsgrade von Pflanzenbeständen bei verschiedenen N-Versorgungszuständen in kg N/ha (Reusch, 1997 verändert)

Um mit diesem Prinzip die „Streifenkrankheit“ erfassen zu können, wurde die Messanordnung vom Institut modifiziert. Denn die Messfläche musste möglichst klein sein, um den schmalen Streifen erkennen zu können. Für die Düngung sind es 25 m<sup>2</sup>, hier sollte der Durchmesser 0,5 m betragen. Daraus folgen die Höhe und Anordnung des Reflexionssensors am Schlepper (Abb. 13).

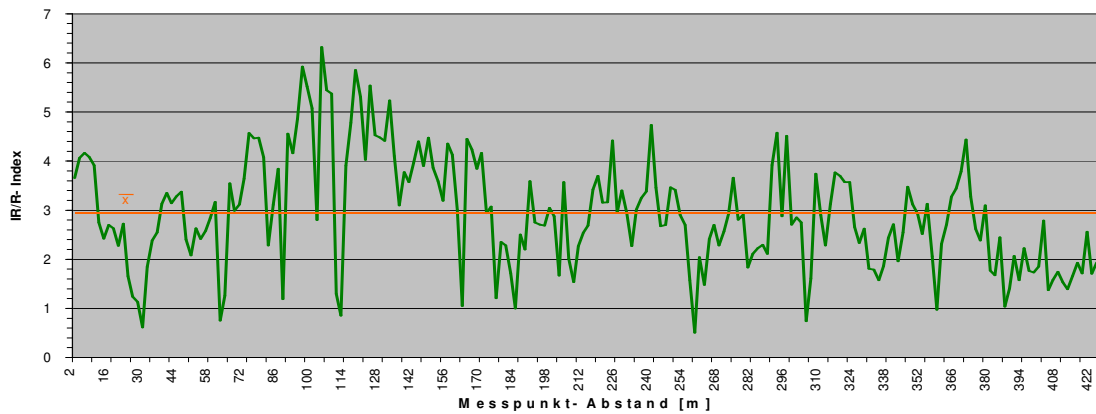


**Abbildung 13:** Messanordnung

Um mit der Messanordnung Schwachstellen im Bestand erfassen zu können, wurde mit dem System im rechten Winkel (quer) zur Arbeitsrichtung gefahren/gemessen. Die Position wurde per GPS punktgenau erfasst.

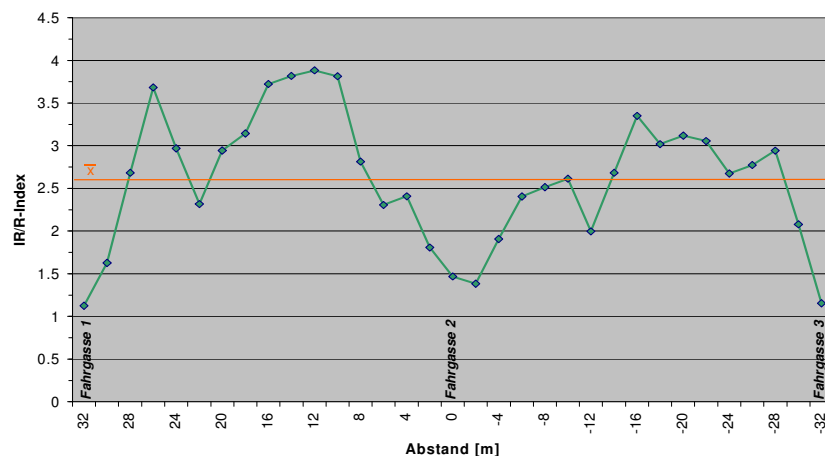
Stellt man die Messwerte einer Fahrspur in einem Diagramm dar, so erhält man z.B. folgendes Bild. (Abbildung 14).

Es ist in zyklischen Abständen eine Reduzierung des IR/R Indizes festzustellen, die sich je nach Arbeitsbreite im Praxisbetrieb ändert. In Abbildung 14 ist jeweils nach 32 m ein geringerer IR/R-Messwert festzustellen, passend zum Fahrgassensystem. Die Biomasse ist in den Fahrgassen durch wiederholte Überfahrten bei Düngung und Pflanzenschutz reduziert oder gänzlich im Wachstum eingeschränkt. Zwischen diesen mechanisch bedingten Streifen sollte die Kurve gleichmäßig verlaufen. Aber auch hier schwankt der IR/R-Index, was bei wiederholter Wiederkehr auf Fehler in der Düngerverteilung zurückzuführen ist.



**Abbildung 14:** IR/R- Index einer Messfahrt quer zur Fahrtrichtung

Reduziert man Abbildung 14 auf nur eine Streuerarbeitsbreite, so erhält man eine detaillierte Abbildung des Pflanzenbestandes. In Abbildung 15 ist der IR/R-Index für eine Fahrgassenweite von 32 m dargestellt.

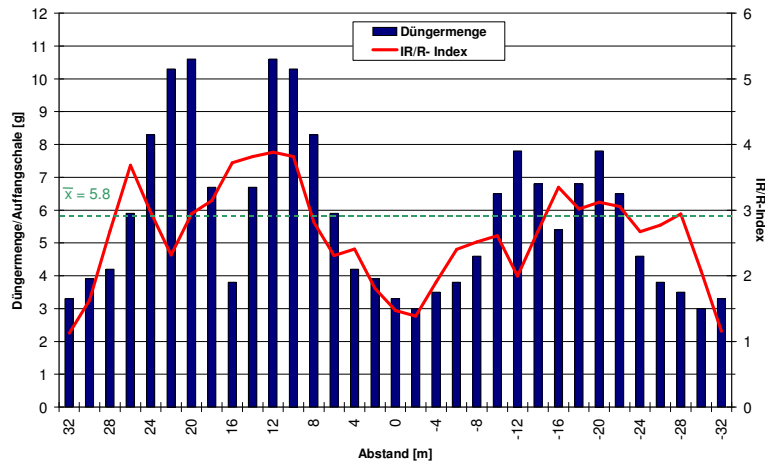


**Abbildung 15:** IR/R- Index innerhalb einer Fahrgassenreichweite von 32 m

Als Bezugsebene ist der Mittelwert des IR/R-Index mit 2,6 in die Grafik eingetragen. Die Messwerte schwanken in weitem Bereich um diese Linie, weisen also auf sehr heterogenes Wachstum. Der Einbruch im Bereich der Fahrgasse, mitten in der Grafik und an beiden Seiten, wird zunächst mit dem Befahren erklärt. Das übrige Auf und Ab der Kurve lässt auf Fehler in der Querverteilung schließen.

Ob die Verringerung des IR/R-Messwertes durch eine schlechte Düngerverteilung verursacht ist, soll mit Messungen zur Düngerverteilung der gleichen Fläche geklärt werden. Dafür wurden die Auffangschalen im Abstand von 2 m von der mittleren bis zu den beiden Nachbarfahrgassen aufgestellt. Die Auswertung erfolgt nach bekanntem Schema.

Den Zusammenhang von Düngerverteilung und Reflexionskurve zeigt die Abbildung 16.



**Abbildung 16:** IR/R- Index und Düngermenge auf der Arbeitsbreite

Es besteht offensichtlich ein relativ enger Zusammenhang zwischen Düngerverteilung und Reflexionswert.

Der geringe Reflexionswert in der Mitte ist nicht nur vom Befahren, sondern offensichtlich auch von einer zu geringer Düngermenge beeinflusst. Zur rechten Seite hin folgt die Kurve weitgehend den Düngermengen, im Überlappungsbereich haben die Index-Werte ein höheres Niveau, im gleichen Bereich links aber passen beide Werte zusammen.

An der linken Hälfte fallen mehrere Punkte auf: einige Schalen enthalten wesentlich mehr als die entsprechenden auf der rechten Seite. Dieser Streifen von etwa 12-20 m wird aber unterbrochen von 6 m, in denen weniger als die Hälfte fällt – also ein beachtlicher Applikationsfehler. Diese Absenkung ist auch auf der rechten zu sehen, aber weniger ausgeprägt. Auf beiden Seiten bereitet die Überlappung also deutliche Probleme.

Mit dem Auge sieht man die hell- oder dunkelgrünen Streifen – aber erst spät. Wesentlich früher und präziser kann der Reflexionssensor Unterschiede erkennen. Die Sensorik wurde im Kieler Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik für die teilflächenspezifische N-Düngung entwickelt und wird von Fa. Agricon angeboten.

Die Messungen zeigen an einem Beispiel, dass auf diese Weise früh die Qualität kontrolliert werden kann. Dann sind zumindest zur nächsten Gabe Korrekturen möglich. Der Sensor ersetzt nicht die Einstellung, er dient vielmehr der Kontrolle am Bestand. Es bleibt, die Einstellung des Düngerstreuers mit ausreichender Sorgfalt

vorzunehmen und regelmäßig, genau zu überprüfen, um der so genannten „Streifenkrankheit“ entgegenzuwirken.

Für die Praxis bleibt festzuhalten, dass der eingesetzte Streuer mit der gewählten Arbeitsbreite offensichtlich überfordert ist. Das Verteilungsbild ist dafür ein typischer Hinweis, in der Mitte und an den Seiten zu wenig, im mittleren Bereich deutlich zu viel Dünger.

## 6. Zusammenfassung

Die Applikation von Mineraldünger ist eine der wichtigsten produktionstechnischen Maßnahmen. Gerade die standortangepasste und sowohl in Längs- als auch in Querrichtung gleichmäßige Verteilung ist deshalb ein Schlüssel zum ökonomischen Erfolg.

Ein Zuviel an Dünger bedeutet unnütze Geldausgabe, ein zu Wenig nicht ausgereiztes Produktionspotential also Einnahmeverluste.

Wurfstreuer sind z. Zt. in Mode, da sie hohe Flächenleistungen realisieren. Die technische Verteilgenauigkeit, belegt in Hallentests ist gut.

Diverse Praxistests bestätigen aber immer wieder, dass die vielen externen Störgrößen und insbesondere die mangelnde Einstellungs- und Kontrollbereitschaft der Landwirte zu unbefriedigenden Ergebnissen auf dem Feld führen.

Die Mineraldüngung mit dem Wurfstreuer ist deshalb bei größeren Arbeitsbreiten meistens eine ungenaue Applikation, Drillen und Spritzen sind wesentlich genauer. Dies ist umso bemerkenswerter, als die Düngung die größten ökonomischen Effekte hat.

Pneumatikstreuer, die sozusagen die Verteilgenauigkeit eingebaut haben und kaum durch externe Störgrößen zu beeinflussen sind, sind nach wie vor die einzige technisch gute Lösung. Dies gilt erst recht daran, wenn precision farming betrieben werden soll. Dann sind sie die Voraussetzung.

**Erste Hinweise, die die aktuellen Preis- Kostenrelationen berücksichtigen und sich auf den Rauch AGT beziehen sind bei Haupt/Mann (Ländliche Betriebsgründungs- und Beratungsgesellschaft mbH, Göttingen, 2/2004) zu finden. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass sich für 600 ha Einsatzfläche unter Berücksichtigung unterschiedlicher Düngerqualitäten (KAS zu gepilltem Harnstoff nur noch ein Nachteil von ca. 7 bei 2000 ha aber schon ein Vorteil von 11 €/ha für den AGT ergibt.**

**Unter Berücksichtigung aller sonstigen Aspekte also ein deutliches Votum, das allerdings mit der Einschränkung des Beweises der Praxistauglichkeit dieses Gerätes verbunden wird.**

## **7. Literatur**

Frick, R. (2002): Wurfstreuer auf dem Prüfstand, FAT-Bericht 580, 2002

Griepentrog, H-W., Persson, K. (2000): Arbeitsqualität von Wurfstreuern mit variabler Dosierung, 55 Landtechnik 2, 2000

Hensel, O. (2003): Methode zur Streubildkontrolle bei Wurfstreuern., Landtechnik 1/2003, S. 12 – 13

Traphan K. (2003): Messungen zur Verteilgenauigkeit von Mineraldüngerstreuern Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Bachelorarbeit

Persson K., H. Skovsgaard, C Weltzien (2002): Technical solutions for Variable Rate Fertilisation <sup>1</sup>Danish Institute of Agricultural Sciences (DIAS), Research Centre Bygholm, P.O. Box 536, DK-8700 Horsens, Denmark).

Reckleben, Y. (2003): Erfassung der „Streifenkrankheit“ mittels Sensortechnik, internes Manuskript, 2003

Reusch S. (1997): Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Dissertation

Wilmer H.(2003): Fünf Düngerstreuer im Vergleich, Profi 12/2003 S. 29 - 34