



Hochschule Neubrandenburg  
University of Applied Sciences

**Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften**

**Fachgebiet Landtechnik**

Prof. Dr. Ludwig Popp

Dr. Wolfgang Kath-Petersen

**Bachelorarbeit**

**„Verfahrenstechnische Untersuchung zur Erhöhung der  
Streubreite bei Pendelrohrstreuern“**

**von**

**Stefan Engberink**

Juli 2010

## **Danksagung**

Insbesondere geht mein Dank an Prof. Dr. Ludwig Popp für die Unterstützung sowie die Grundidee der Arbeit.

Außerdem möchte ich mich bei der Kverneland Group Deutschland bedanken, und hier insbesondere bei Herrn Dr. Wolfgang. Kath-Petersen für das entgegengebrachte Vertrauen und das zur Verfügung Stellen der Materialien.

Sehr herzlich möchte ich mich auch bei Herrn Max Albrecht von der Albrechtshof GmbH in Neuenkirchen bedanken, der die Durchführung des Streutests ermöglicht hat und hoffe, dass dieser Betrieb auch weiterhin die wissenschaftliche Arbeit der Hochschule Neubrandenburg so tatkräftig unterstützt.

Des Weiteren möchte ich an dieser Stelle meinen Eltern danken, die mir trotz manch schwieriger Situation dieses Studium und somit die Grundlage dieser Arbeit ermöglicht haben. Zudem danke ich meinen Geschwistern und Astrid, die mir bei manch einer schier unüberwindbaren Sprachbarriere mit Rat und Tat zur Seite standen.

Und vor allem möchte ich dir, Elisabeth danken, für dein Verständnis und Interesse an dem Studium aber auch der Arbeit gegenüber.

## **Abstract**

Das Ziel dieser Arbeit ist es zu untersuchen, ob es möglich ist mit einem Pendelstreuer eine Arbeitsbreite von 24 m zu erlangen, indem man die Düngerkörner mittels eines Gebläses beschleunigt, bevor sie das Pendelrohr erreichen.

Zuerst werden in der Arbeit der Vicon Pendelstreuer sowie seine Funktionsweise beschrieben. Insbesondere geht man dabei, hinsichtlich seines Umbaus im Laufe der Arbeit, auf den Aufbau des Pendelstreuers ein.

Des Weiteren werden die Vorteile des Pendelstreuers gegenüber dem weit verbreiteten Zentrifugalstreuer beschrieben. Insbesondere wendet man sich hier dem Thema „Windeinfluss auf das Streubild“ zu.

In der Vorbetrachtung zu diesem Thema wird außerdem ein Patent der Amazone Werke dargestellt, in dem zwei Techniken für Pendelstreuer geschützt wurden. Zum Einen handelt es sich um einen Pendelstreuer mit zwei Rohren unterschiedlicher Länge, zum Anderen um einen Streuer mit einem unterschiedlich frequentierenden Pendelrohr, welches dadurch verschiedene Bahngeschwindigkeiten während der Pendelbewegung erreicht. Dabei geht man auch auf die Vor- und Nachteile dieser Patente ein.

Des Weiteren wird ein Versuch der Uni Maastricht erörtert, in dem das Pendelrohr schräg an das Pendelgehäuse angebaut ist. Dadurch wird der Dünger in die Vertikale beschleunigt.

Im Hauptteil der Arbeit werden die bisher gemachten Umbaumaßnahmen sowie die daraus resultierenden Ergebnisse dargestellt. Es folgt die Erläuterung der neuen baulichen Veränderungen, die dann auch während eines Feldversuches geprüft und mit einem positiven Ergebnis abgeschlossen wurden, wie aus den beschriebenen Versuchen zu erkennen ist.

Man kommt zu dem Schluss, dass eine Streuweitenerhöhung mittels eines Druckluftgebläses möglich ist, die Verteilqualität aber noch verbessert werden muss.

## **Abstract**

The aim of this paper is to explore if it is possible to attain an effective working width up to 24 metres with a pendulum spreader. For this effective working width the pendulum spreader was modified with a fan which accelerates the fertilizer grains before they arrive at the spout.

At first the Vicon pendulum spreader and its mode of operation are described. In particular the design of the spreader is mentioned because it was modified during the study.

Furthermore the pros of the pendulum spreader are compared to the popular centrifugal spreader, where at primarily the wind influence on the spreading pattern is figured out.

In the next chapter a patent of the Amazone factory is described. In this Patent two new kinds of pendulum spreaders are presented. The first one has two spouts with a different length. The spout of the second spreader is unequally frequented and therefore different track speeds during the pendulum motion are caused. After that the pros and cons of both systems were figured out.

Furthermore a publication of the University of Maastricht describes a pendulum spreader whose spout was mounted angular on the pendulum box. Because of that the fertilizer has a higher trajectory and therefore the spreader has a bigger working width.

The main part of the paper contains the modifications of the pendulum spreader from 2008 plus the test results. Moreover the new specific modification based on the modifications from 2008 is elucidated. After that the field test and the positive results are presented.

Concluding it is possible to add the working width up to 24 m. But the quality of the spreading pattern should be better.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>II</b>
<b>Tabellenverzeichnis:</b> .....	<b>III</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Aufbau des Pendelstreuers</b> .....	<b>2</b>
<b>3. Das Streubild</b> .....	<b>3</b>
3.1. Allgemeines zum Streubild.....	3
3.2. Das Streubild des Pendelstreuers.....	5
3.3. Randstreuungen und Grenzstreuungen mit dem Pendelrohrstreuer.....	5
3.4. Ursachen von Streufehlern.....	7
3.5. Auswirkungen von Streufehlern.....	11
<b>4. Mechanische Grundlagen</b> .....	<b>14</b>
4.1. Auf das Düngerkorn wirkende Kräfte.....	14
4.1.1. Die Fliehkraft.....	14
4.1.2. Trägheitskraft.....	14
4.1.3. Die Corioliskraft.....	15
4.2. Dynamik des Düngerkorns.....	15
4.2.1. Die Bewegung des Düngerkorns auf der Scheibe.....	15
4.2.2. Bewegung des Düngerkorns nach dem Verlassen der Scheibe.....	17
4.3. Anwendung der Berechnungen auf den Vicon Pendelstreuer.....	17
<b>5. Bisherige Entwicklungen zur Streubreitenerweiterung</b> .....	<b>23</b>
5.1. Vergrößerung auf 15 m.....	23
5.2. Vergrößerung der Arbeitsbreite auf 18 m.....	24
5.3. 24 m Arbeitsbreite mit dem Amazone-Pendelstreuer.....	24
5.4. Entwicklungen der Universität Maastricht.....	27
<b>6. Bauliche Veränderungen des Pendelstreuers</b> .....	<b>29</b>
6.1. Bisherige bauliche Veränderungen.....	29
6.1.1. Das Gebläse.....	29
6.1.2. Die Dosiereinrichtung:.....	30
6.1.3. Ergebnisse und Problematik der Konstruktion.....	31
6.1.4. Ursachen für diese Ergebnisse.....	32
6.2. Neue bauliche Veränderungen.....	33
<b>7. Tests und Ergebnisse</b> .....	<b>38</b>
7.1. Durchführung des Feldtestes.....	38
7.2. Der 0. Versuch.....	39
7.3. Der 1. Versuch.....	41
7.4. Der 2. Versuch.....	43
7.5. Der 3. Versuch.....	45
7.6. Abschließende Betrachtung der Versuchsergebnisse.....	46
<b>8. Fazit</b> .....	<b>48</b>
<b>Quellenverzeichnis</b> .....	<b>49</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>50</b>
<b>Eidesstattliche Erklärung</b> .....	<b>54</b>

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 3-1: Streukurve des Vicon Pendelstreuers bei 12 m Arbeitsbreite und Kas-Dünger .	4
Abbildung 3-2: Randstreuen mit dem Vicon Pendelstreuer.....	6
Abbildung 3-3: Grenzstreuen mit dem Vicon Pendelstreuer .....	7
Abbildung 3-4: Streuweiten der unterschiedlichen Düngersorten .....	9
Abbildung 3-5: Flugbahnen der Düngemittel bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten .....	9
Abbildung 3-6: Streubild mit feinem Harnstoff bei 4 m/s Windgeschwindigkeit .....	10
Abbildung 3-7: Streubild mit feinem KAS bei 4 m/s Windgeschwindigkeit .....	10
Abbildung 3-8: Auswirkungen unterschiedlicher Stickstoffmengen auf den Ertrag von Winterweizen .....	12
Abbildung 3-9: Auswirkungen unterschiedlicher Stickstoffmengen auf den Ertrag und die Qualität von Wintergerste. ....	12
Abbildung 4-1: Der Optimale Wurfwinkel .....	18
Abbildung 4-2: Wurfwinkel die durch die berechnete Wurfgeschwindigkeit entstehen würde.	19
Abbildung 4-3: absolute Bahn des Düngerkorns während der Pendelbewegung .....	20
Abbildung 4-4: Wurfweite (werpafstand) $x$ in Abhängigkeit von der Wurfgeschwindigkeit (werpsnelheid) $x_0$ und der Luftwiderstandskonstante $k$ .....	21
Abbildung 5-1: Bauteile des patentierten Düngerstreuers mit unterschiedlichen Bahngeschwindigkeiten. ....	25
Abbildung 5-2: Vergleich von Bahngeschwindigkeiten bei gleichmäßiger Rotation von Ellipsen- und Kreis-Bahn. ....	26
Abbildung 6-1: Dosiereinrichtung des Pendelstreuers .....	30
Abbildung 6-2: Streubilddiagramm des 2008 durchgeführten Versuches bei einer Gebläsedrehzahl von 4500 U/min. ....	31
Abbildung 6-3: Aufbau des Streuwerks nach dem 2. Umbau.....	36
Abbildung 6-4: Darstellung der Platte zur Stabilisation des Rohrbogens.....	37
Abbildung 7-1: Anordnung der Streuschalen während des Feldversuches.....	38
Abbildung 7-2: Streubild des 0. Versuches.....	40
Abbildung 7-3: Streubilddiagramm des 1. Versuches .....	42
Abbildung 7-4: Streubilddiagramm des 2. Versuches .....	44
Abbildung 7-5: Streubilddiagramm des 3. Versuches .....	45
Abbildung 7-6: Übersicht über die Versuche.....	46

**Tabellenverzeichnis:**

Tabelle 5-1: Wurfweiten der unterschiedlichen Versuchsanordnungen. .... 27

Tabelle 6-1: Kennzahlen des Radialgebläses ..... 29

**Abkürzungsverzeichnis**

arad	Radialbeschleunigung
c	Luftwiderstand
$c_w$	Luftwiderstandsbeiwert
DIAS	Danish Institute of Agriculture Science
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
eos	environment optimisation setting
F	Trägheitskraft
$F_c$	Corioliskraft
$F_s$	Stirnfläche
$F_z$	Fliehkraft
g	Gewichtskraft
h	Höhe
k	Reibungskonstante
Kas	Kalkamonsalpeter
m	Masse
n	Drehzahl
N	Stickstoff
q	Luftfeuchte
r	Radius
R	Kreismittelpunkt
$S_w$	Wurfweite
v	Bahngeschwindigkeit
VK	Variationskoeffizient
vrad	Radialgeschwindigkeit
$V_{wurf}$	Wurfgeschwindigkeit
$V_{umf}$	Umfangsgeschwindigkeit
yos	yield optimisation setting
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit
$\varphi$	Auslenkwinkel des Pendelrohres



## 1. Einleitung

Als Justus von Liebig um 1840 die wachstumsfördernde Wirkung von Stickstoff, Kalium und Phosphat nachwies, bedeutete dies für die Landwirtschaft eine Revolution, die durch die Anwendung des Haber-Boschverfahrens ihren vollen Umfang erlangte. Seit der Erfindung von Düngemittel ist die Landtechnikindustrie bemüht Geräte zu entwickeln, die den Dünger auf den Flächen der Landwirte verteilen. Zum Anfang wurde der Dünger noch mit von Pferden gezogenen Kastendüngerstreuern auf die Felder gebracht. Mit der Modernisierung und dem Strukturwandel der Landwirtschaft nahm aber die Bedeutung großer Arbeitsbreiten auch bei diesen Maschinen zu. Aus diesem Grunde wurden neben Schleuderstreuern auch Schnecken- und Pneumatikstreuer entwickelt, die aber aufgrund der aufwendigen Technik sehr anfällig und teuer sind. Nichts desto trotz spielen die Pneumatikstreuer aufgrund des exakten Streubildes bei Wind und schlechter Qualität des Düngers eine wichtige Rolle. Die bedeutendste Entwicklung im Bereich der Düngetechnik wurde aus heutiger Sicht wohl durch den Diplomingenieur Heinz Dreier durchgeführt, der 1958 einen Düngerstreuer mit Zweischleuderscheiben vorstellte. Der Vorteil hierbei lag darin, dass das Streubild im Gegensatz zu den Einscheibenstreuern symmetrisch war und außerdem größere Arbeitsbreiten erreicht wurden. Ein ganz anderes Prinzip, aber auch einen Schleuderstreuer, stellte die Firma Vicon aus Nieu Venneep (Niederlande) 1964 vor. Dieser Düngerstreuer verteilte den Dünger nicht mit Scheiben, sondern mit einem Pendelrohr. Das Prinzip stammt aber von einem Dorfschmied aus Italien, der diese Maschine auf der Landwirtschaftsausstellung in Bologna erstmals ausstellte. Durch die schon damals erfolgreiche Maschinenfabrik wurde dieser Düngerstreuer aber verbessert und konnte von hier aus seinen Siegeszug starten. Bis heute wurden laut Vicon mehr als 1.000.000 Vicon-Pendelstreuer verkauft, wobei das Einsatzspektrum auch über die landwirtschaftlichen Grenzen hinaus geht. Trotzdem ist die Bedeutung des Pendelstreuers heute relativ gering. Das ist unter anderem auch der geringen Arbeitsbreite von nur 18 m zuzuschreiben. Könnte es aber gelingen die Streubreite auf 24 m oder mehr zu erhöhen, so würde die Bedeutung des Pendelstreuers aufgrund einiger System bedingter Vorteile sicherlich steigen.

## 2. Aufbau des Pendelstreuers

Dieser Düngerstreuer gehört zu den kleineren Streuern. Er wird deshalb auch oft zu kommunalen Zwecken eingesetzt. Das Fassungsvermögen reicht von 175 l für das kleinste Modell bis zu 1650 l für das größte Modell PS 1654. Dabei sind die Behälter aus Polyester. Sie werden von einem mit einem Durocoat-Überzug versehenen Rahmen getragen. Eine Besonderheit an dem Düngerstreuer ist, dass der Rahmen keine Ecken aufweist und somit auch keine Ablagemöglichkeiten für Düngemittel. Die Pendeldüngerstreuer werden vom Kraftheber des Traktors getragen. Es kann aber auch optional ein Fahrwerk geliefert werden. Der Behälter verläuft trichterförmig, wobei am unteren Ende des Trichters die Dosiereinrichtung befestigt ist. Diese besteht aus zwei Edelstahlscheiben mit drei gleich großen und gleich positionierten Öffnungen, wobei eine der Scheiben starr ist und die andere Scheibe gedreht werden kann. So kann die Größe der Durchflussöffnung variiert werden und somit auch die Durchflussmenge. Der Schieber wird per Hand oder, als Option, hydraulisch betätigt. Um den Nachlauf des Düngers zu gewährleisten, befindet sich im Boden des Behälters über dem Dosierschieber ein Rührwerk. Dieses ist fest mit dem Pendel verbunden und folgt somit dessen Bewegungen. Das Rührwerk kann aber, wenn die Konsistenz der Düngemittel dies verlangt, zügig durch einen Schnellverschluss ausgebaut werden. Der Dünger wird durch ein Pendelrohr verteilt, welches mit einem Winkel von max.  $54^\circ$  auf einer Kreisbahn pendelt. Dabei wird dieses Pendel mechanisch mit Hilfe der Zapfwelle des Traktors angetrieben. Die Pendelfrequenz entspricht der Drehzahl der Zapfwelle. Dabei muss aber die vollständige vertikal gerichtete rotierende Bewegung der Zapfwelle in eine horizontale Teilrotation umgewandelt werden. Das wurde technisch gelöst, indem ein Drehschwingmechanismus konstruiert wurde, bei dem die Zapfwelle eine kreisförmige Kurvenscheibe antreibt. Der bewegliche untere Teil des Trichters mit dem Pendelrohr wird von einer in vertikaler Richtung gelagerten Gabel umgeben, welche drehbar an der schon erwähnten Kurvenscheibe montiert ist. Wenn diese nun in Rotation versetzt wird, dann bewegt sich die Gabel um deren Mittelpunkt und setzt somit das Pendel in eine Pendelbewegung.

Das Pendelrohr kann in verschiedenen Ausführungen unterschiedlichsten Einsatzzwecken dienen. In der Landwirtschaft wird in der Regel das 60 cm lange Streurohr für Arbeitsbreiten von 8-18 m eingesetzt. Für kleinere Arbeitsbreiten von 4-8 m kann auch ein kurzes Streurohr befestigt werden. Das Streurohr ist mit zwei Edelstahlschrauben an den beweglichen Teil des Trichters unter der Dosiereinrichtung geschraubt. Das Streurohr hat am Anfang einen Durch-

messer von 10 cm, verjüngt sich aber auf 6 cm. Am Ende des Streurohres befindet sich ein Streubügel. Dieser beeinflusst wesentlich das Streubild. (Vicon 2002)

### **3. Das Streubild**

Die chemische Düngung ist wohl eine der Hauptursachen für den enormen Ertragszuwachs im vorherigen Jahrhundert. Das heißt aber auch, dass die Düngung enorme Auswirkungen auf den Pflanzenbestand hat. Den Dünger möglichst genau über die Zielfläche zu verteilen, sollte also als Ziel gesehen werden.

#### **3.1. Allgemeines zum Streubild**

Um die Verteilung der Düngemittel durch einen Düngerstreuer zu beurteilen, werden Streubilder angefertigt, in denen die Querverteilung des Düngers abgebildet ist. Mit Hilfe dieser Streubilder können dann Variationskoeffizienten ermittelt werden. Der Variationskoeffizient dient dazu die Streuung mehrerer Stichproben mit unterschiedlich großen Mittelwerten zu vergleichen. Er wird deswegen auch in Prozent angegeben. Das heißt je größer der Variationskoeffizient VK ist, desto ungenauer ist die Querverteilung. Die Prüfung von Düngerstreuern ist in der Norm CEN/TC 144 W6 3/AH 12 festgelegt. Dabei muss der maximal zulässige VK durch die Einstellung laut Bedienungsanleitung erreicht werden. Er darf höchstens 15% betragen. Die DLG stuft ein solches Ergebnis als „Befriedigend“ ein. Wenn der VK lediglich 10% beträgt, gilt die Querverteilung als „Gut“, bei  $VK < 5\%$  als „Sehr gut“. Weiterhin sind auch Regelungen zur Bedienung des Streuers festgehalten. So muss es möglich sein den Streuer anhand der physikalischen Eigenschaften des Düngers einzustellen und nicht anhand von Düngersorten und -marken. Für das Grenzstreuen sieht die Norm vor, dass maximal 3 % der Düngermenge auf einer Strecke von 100 m über die Feldgrenzen hinaus gelangen. Des Weiteren darf der Variationskoeffizient dabei max. 25% betragen. Getestet wird die Querverteilung laut Norm in einer Testhalle. Die größte Testhalle Europas befindet sich in Dänemark. Sie gehört zum DIAS (Danish Institute of Agriculture Science), wo auch sämtliche Verteilungstests der DLG durchgeführt werden. In dieser 60 m x 80 m großen Halle wird die Querverteilung gemessen, indem man über 448 Auffangbehälter der Größe 25 cm x 50 cm fährt, welche rechtwinklig zur Fahrtrichtung angeordnet sind. Dann wird das Gewicht dieser einzelnen Auffangbehälter gemessen und so die Querverteilung ermittelt. Bei der Durchführung dieser Tests beträgt die Luftfeuchtigkeit in der Regel 50% und die Temperatur ca. 12°C. Dies ist wichtig, da beide Faktoren Einfluss auf die physikalischen Eigenschaften des Düngers

nehmen. Es werden in der Regel mehrere Testdurchgänge mit unterschiedlichen Düngemitteln gefahren. Dargestellt werden die Ergebnisse dieser Tests in Streubildern. DLG 1999

Bei den Streubildern können wir unterschiedliche Formen voneinander unterscheiden.

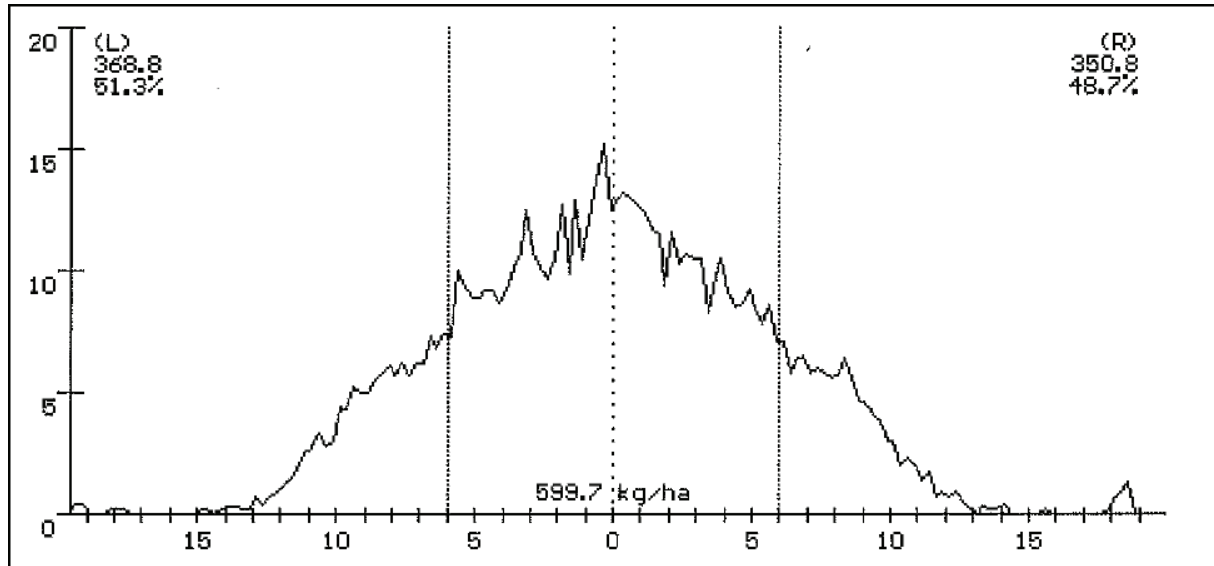
**Dreieckverteilung:** Hier nimmt die Düngermenge nach außen hin gleichmäßig ab. Das Streubild ist dreieckig. Es werden relativ geringe Anforderungen an das Anschlussfahren gestellt, da der Überlappungsbereich sehr groß ist. Dieses Streubild ist typisch für Schleuderstreuer.

**Trapezverteilung:** Der Dünger wird in der Mitte gleichmäßig verteilt und nimmt zu den Seiten hin ab, es müssen also nur die Flanken des Trapezes beim Anschlussfahren überlappt werden. Der Einfluss der Düngereigenschaften und der Umweltbedingungen ist bei diesem Streubild weitaus größer als bei einer Dreieckverteilung.

**Rechteckverteilung:** Diese Verteilung tritt nur bei Schnecken-, Pneumatik- und Kastenstreuern auf und ist hier nicht von Bedeutung.

(Eichorn, 1999)

In der Abbildung 1 ist eine Dreieckverteilung zu sehen. Dieses Streubild stammt nicht aus der Strehalle des DIAS, sondern aus der werkseigenen Strehalle von Kverneland/Vicon in Geldrop (Niederlande).



**Abbildung 3-1: Streukurve des Vicon Pendelstreuers bei 12 m Arbeitsbreite und Kas-Dünger**

(Quelle: Vicon)

Die Längsverteilung der Düngerstreuer wird jedoch in solchen Hallen nicht gemessen. Diese ist abhängig von der Gleichmäßigkeit der Düngerezufuhr. Unter den Testbedingungen und bei einem gleichmäßigen Ausgangsmaterial sowie bei einer gleichmäßigen Geschwindigkeit ist die Längsverteilung auch relativ unproblematisch.

### 3.2. Das Streubild des Pendelstreuers

Das Streubild eines Pendelstreuers unterscheidet sich wesentlich von dem eines Scheibenstreuers. Aufgrund des pendelnden Ausbringorgans wird der Dünger nicht so weit nach hinten geworfen. Deshalb ist die Wurfweite der Düngemittel bei gleicher Arbeitsbreite geringer. Das sorgt auch dafür, dass es einen geringeren Windeinfluss auf das Streubild gibt. Bei der Ausbringung von Düngemittel bis 15 m Arbeitsbreite ist das Streubild des Pendelstreuers dreieckig. Das heißt dass bei der Anschlussfahrt zu 100 % überlappt werden muss. Die Einstellung des Gerätes ändert sich bei den Arbeitsbreiten von 8-14 m nicht. Der Grund dafür lässt sich am besten am folgenden Beispiel erklären: Bei der Ausbringung eines Düngemittels beträgt die optimale Arbeitsbreite 11 m. Dabei beträgt der Variationskoeffizient 7 %, der maximal zulässige Variationskoeffizient ist 15 %. Wenn nun eine andere Arbeitsbreite gewählt wird, z.B. 13 m, so werden die Streubilder auseinander gezogen und der Variationskoeffizient liegt dann bei 9%. Wählt man eine Arbeitsbreite von 9 m, so tritt genau mittig der beiden Fahrspuren eine leichte Überdüngung auf, der Variationskoeffizient beträgt 10 %. Bei den unterschiedlichen Arbeitsbreiten sollte also nur der Schieber zur Düngemittelregulation angepasst werden. Bei 15 m Arbeitsbreite wird die Drehzahl der Zapfwelle auf bis zu 620 U/min erhöht. Das Streubild ist aber weiterhin dreieckig (Vicon 2002)

### 3.3. Randstreuen und Grenzstreuen mit dem Pendelrohrstreuer.

Grenz- und Randstreuen sind Möglichkeiten, um an Feldgrenzen eine optimale Düngung des Pflanzenbestandes bei einer möglichst geringen Applikation des Düngers über die Feldgrenzen hinaus vorzunehmen. Das Randstreuen zählt zu den yos (yield optimisation setting). Es gelangt bei diesem Verfahren auch Dünger über die Feldgrenze hinaus. Im Rahmen der Cross Compliance-Regelungen kann deswegen das Randstreuen nur an solchen Feldgrenzen durchgeführt werden, an die landwirtschaftlich genutzte Flächen grenzen.

Um das Randstreuen durchzuführen gibt es bei dem Vicon-Pendelstreuer zwei Möglichkeiten. Zum einen kann die optional erhältliche Schrägstelleinrichtung installiert werden. Dabei wird der Düngerstreuer um  $7^\circ$  mechanisch oder hydraulisch zur Querachse versetzt und der Dünger zur einen Seite weniger weit geworfen das Streubild ist in der Abbildung 2 dargestellt. So kann man aus der ersten Fahrgasse das Randstreuen durchführen. Auf der Seite, welche sich näher am Boden befindet, wird auch eine höhere Düngermenge pro  $m^2$  fallen, da die Dünger-

menge im Gegensatz zur Streubreite nicht reduziert wird. Dies ist auch wichtig, wenn man aus der ersten Fahrgasse anfängt zu streuen, da die an den Feldrand grenzende Seite nicht bei der Düngung aus der zweiten Fahrgasse überlappt wird.

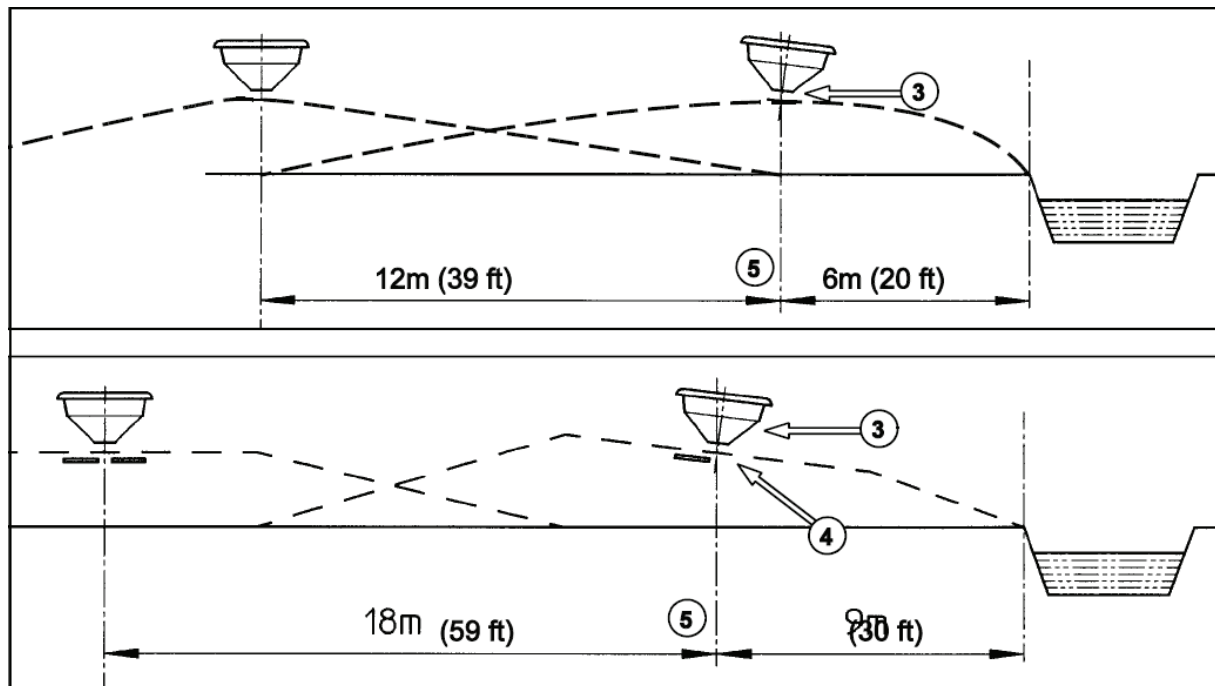


Abbildung 3-2: Randstreuen mit dem Vicon Pendelstreuer

(Quelle Vicon Bedienungsanleitung, S 35)

Die zweite Möglichkeit zum Randstreuen kann ohne Zusatzeinrichtungen durchgeführt werden. Dabei wird die Zapfwellendrehzahl des Schleppers auf 400 U/min gesenkt und der Pendelstreuer auf eine Höhe von 50 cm gebracht. Das führt dazu, dass die Streubreite insgesamt reduziert wird. Das bedeutet aber auch, dass es in der ersten Fahrgasse nicht zu der Düngerausbringungsmenge kommt, die angestrebt wird.

Grenzstreuen ist von Bedeutung, wenn die Fläche an nicht landwirtschaftlich genutzte Grundstücke oder Gewässer grenzt. Es zählt deshalb auch zu den eos (environment optimisation setting). Beim Grenzstreuen darf gesetzlich geregelt nur 3‰ pro 100 m über die Feldgrenzen hinaus gestreut werden. Beim Vicon-Pendelstreuer wird das Problem des Grenzstreuens mit Hilfe eines Schirms geregelt. Dieser Schirm wird seitlich an den Streuer angebracht. Bei der Arbeit mit dem Grenzstreublech muss die Düngermenge um 70% reduziert werden. Außerdem muss die Drehzahl des Traktors auf maximal 370 U/min gesenkt werden. Damit wird erreicht, dass zu der Seite, an der das Blech montiert wurde, der Dünger nur noch ca. 3 m weit fliegt. Das Streubild des Pendelstreuers mit einer solchen Ausrüstung ist aus der folgenden Abbildung zu erkennen.

(Vicon 2002)



auszubringen, da die unterschiedlichen Düngerkörner verschiedene Flugeigenschaften besitzen. Außerdem kommt es oft noch vor der Ausbringung zu Entmischungen.

Die Hauptursache von Streufehlern ist aber der Einfluss des Windes. Durch immer größer werdende Streubreiten und den damit verbundenen höheren Anfälligkeiten gegenüber Wind werden die Streufehler auch entsprechend größer. Der Wind sorgt dafür, dass das Düngerkorn auf seiner Flugbahn seinen Weg in Windrichtung ändert. Je größer die Flugbahn, desto höher ist also auch die Einflussnahme durch den Wind. Um überhaupt ein Teilchen von seiner Bahn abzubringen, muss sich dieses an dem Luftstrom reiben. Je größer die Oberfläche, desto höher ist die Reibung und somit der Windeinfluss. Das bedeutet aber nicht, dass größere Düngerkörner eher vom Wind beeinflusst werden. Das Gegenteil ist der Fall, denn aufgrund der kugeligen Form eines Düngerkorns nimmt dessen Inhalt quadratisch zur Oberflächengröße zu. Da es schwieriger ist ein schweres Düngerkorn von der Bahn abzubringen als ein leichtes, ist es auch schwieriger die großen Düngerkörner von der Bahn abzubringen, da die Angriffsfläche im Verhältnis zum Gewicht viel kleiner ist.

Der Einfluss des Windes ist also von der Qualität der Düngemittel abhängig.

Dazu wurden an der Fachhochschule Mannheim Versuche durchgeführt mit unterschiedlichem Harnstoff- und Kas-Dünger. In dem Forschungsprojekt wurden neben den Feldversuchen auch die Geschwindigkeiten der Düngerpartikel nach dem Verlassen der Schleuderscheiben gemessen. Aus diesen Daten, aus dem Luftwiderstand und dem Windeinfluss konnten für folgende Düngemittel Flugbahnen erstellt werden:

Kas mit einer Korngröße von 2-5 mm, einer Dichte von  $1,9 \text{ g/m}^3$  und einem Schüttgewicht von  $1 \text{ t/m}^3$

Harnstoff grob mit einer Korngröße von 1,6 - 5 mm, einer Dichte von  $1,3 \text{ g/m}^3$  und einem Schüttgewicht von  $0,8 \text{ t/m}^3$

Harnstoff fein mit einer Korngröße von ca. 2,3 mm, einer Dichte von  $1,3 \text{ g/m}^3$  und ein Schüttgewicht von  $0,73 \text{ t/m}^3$

Die Flugbahnen sind in Abbildung 4 dargestellt.



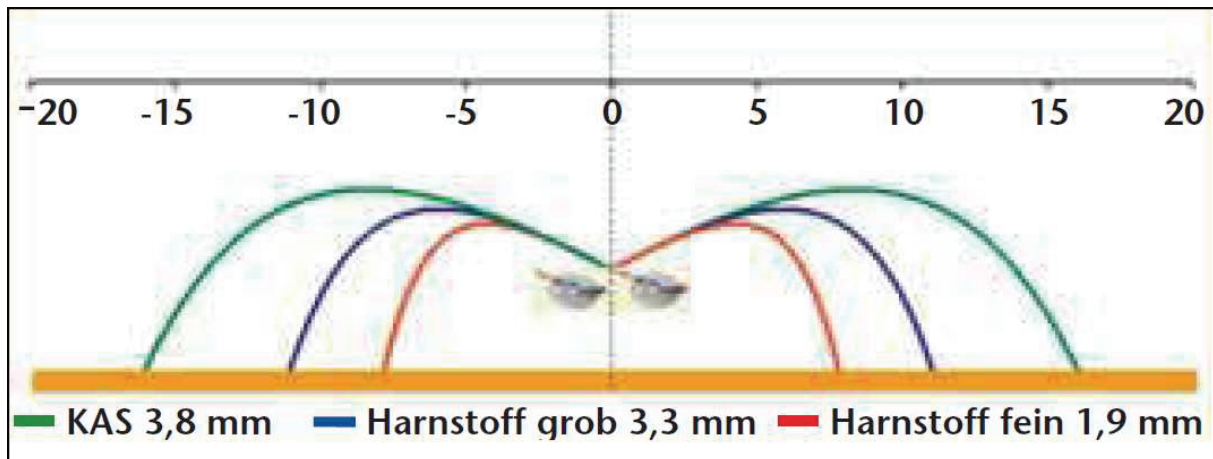


Abbildung 3-4: Streuweiten der unterschiedlichen Düngersorten

(Quelle: DLZ Nr.10 2008, S66)

Aus der Abbildung 4 wird deutlich, dass die Flugbahnen von der Korngröße und dem Schüttgewicht der einzelnen Düngemittel abhängig sind. Kas wird bei einer Abwurfgeschwindigkeit von 25 m/s rund dreimal so weit geschleudert wie der feinkörnige Harnstoff. Im Umkehrschluss heißt das aber auch, dass für eine Arbeitsbreite von 21 m die Abwurfgeschwindigkeit, abhängig von dem zu streuenden Dünger, unterschiedlich sein muss. Die Abwurfgeschwindigkeiten für die gewünschte Arbeitsbreite sind in Abbildung 5 dargestellt.

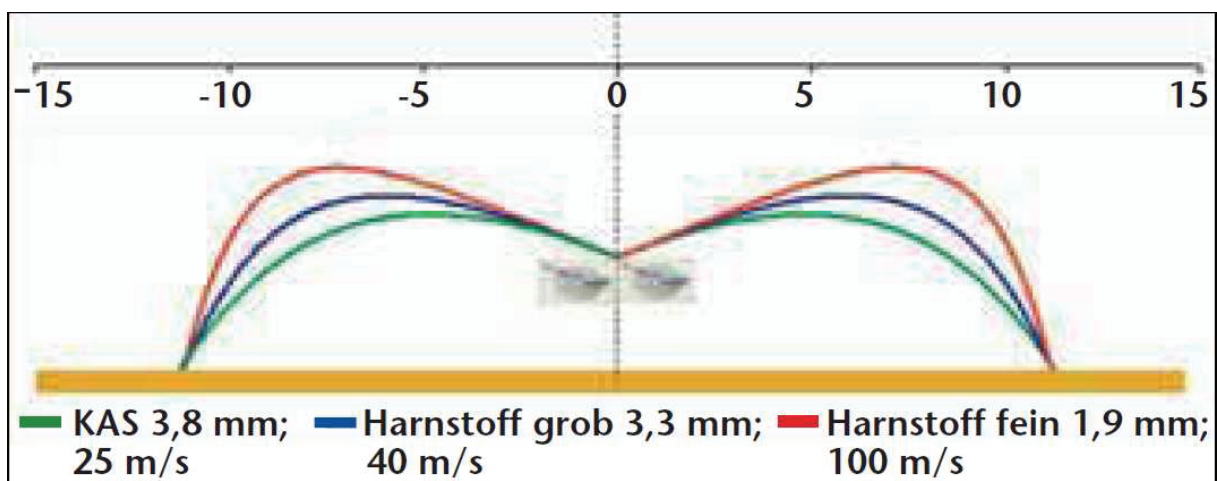


Abbildung 3-5: Flugbahnen der Düngemittel bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

(Quelle: DLZ Nr 10 2009, S.66)

Es wird deutlich, dass Kas auf 25 m/s beschleunigt werden muss, um eine Wurfweite von 21 m zu erreichen. Feiner Harnstoff hingegen benötigt die vierfache Abwurfgeschwindigkeit von 100 m/s. Neben technischen Anforderungen an den Düngerstreuer werden für solche Abwurfgeschwindigkeiten aber auch besondere Qualitätsansprüche an das Düngemittel gestellt, da die Gefahr der Zertrümmerung des Düngers besteht. Um die Reichweite der Schleuderstreuer zu erhöhen, können auch Modifikationen an den Düngerstreuern

durchgeführt werden. So wird durch das Anbringen von Schwenkflügeln die Wurfbahn des Düngers vergrößert. Jedoch hängt der Einfluss des Windes stark von der Flugbahn ab. Je größer die Flugbahn ist, desto höher ist die Windanfälligkeit. Der Einfluss des Windes auf die getesteten Düngemittel lässt sich aus den folgenden Abbildungen erkennen.

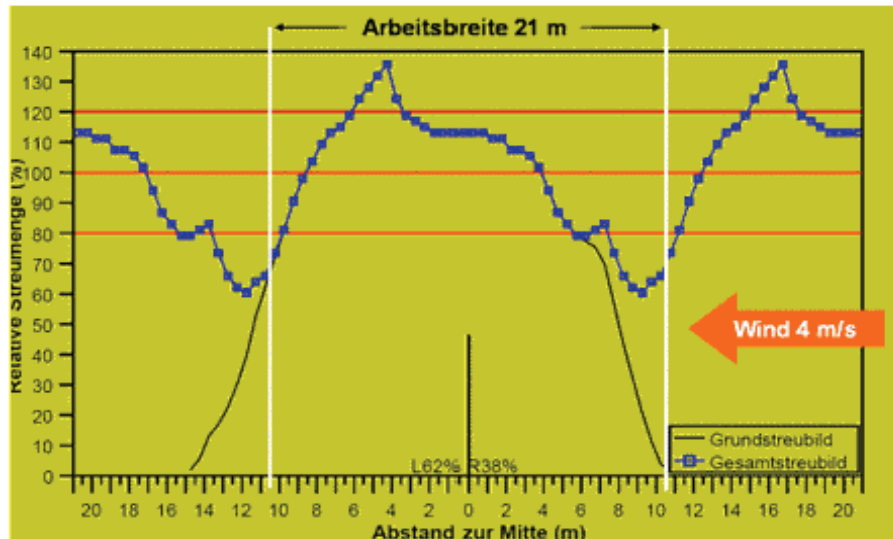


Abbildung 3-6: Streubild mit feinem Harnstoff bei 4 m/s Windgeschwindigkeit

(Quelle:[http://www.dsm.com/de\\_DE/html/agro/Nutramon\\_Spreadingproperties.htm?DCSext.src=search](http://www.dsm.com/de_DE/html/agro/Nutramon_Spreadingproperties.htm?DCSext.src=search))

Der Wind verursacht beim feinen Harnstoff eine erhebliche Verschiebung der Streukurve, was dazu führt, dass der VK stark ansteigt. Dieser beträgt 34,4 %. Dabei beträgt die Windgeschwindigkeit lediglich 4 m/s. Also wäre eine Pflanzenschutzapplikation noch im Rahmen der guten fachlichen Praxis vertretbar. Bei Kas sieht die Streukurve wie folgt aus.

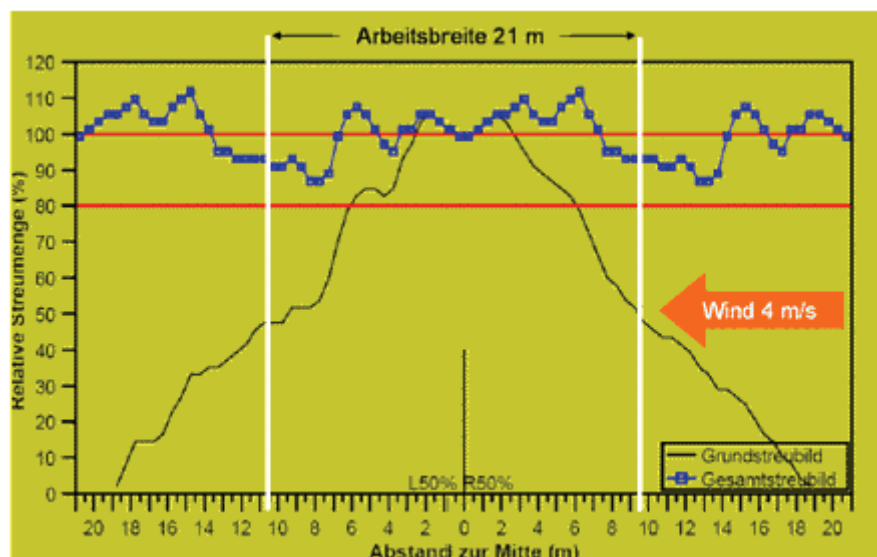


Abbildung 3-7: Streubild mit feinem KAS bei 4 m/s Windgeschwindigkeit

(Quelle:[http://www.dsm.com/de\\_DE/html/agro/Nutramon\\_Spreadingproperties.htm?DCSext.src=search](http://www.dsm.com/de_DE/html/agro/Nutramon_Spreadingproperties.htm?DCSext.src=search))

Durch die Größe und Dichte des Düngemittels nimmt der Wind kaum Einfluss auf die Streuqualität. Der VK beträgt lediglich 7 %.(DLZ 2008)

Es bleibt festzuhalten das die Streuqualität von Düngerstreuer oft vom Wind beeinflusst wird. Interessant wäre an dieser Stelle auch der Vergleich des VK von Pendel und Zentrifugalstreuer gewesen. Da die Flugbahn der Düngerkörner bei der Ausbringung mit einem Zentrifugalstreuer nicht rechtwinklig zur Fahrgasse gerichtet ist, vergrößert sich die Flugdauer und somit der Windeinfluss. Hier ist ein Pendelstreuer im Vorteil, er hat eine kleinere Flugbahn aufgrund des geringen Abwurfwinkels dadurch ist der Windeinfluss auf das Streubild sehr viel geringer. Außerdem werden die Düngerteilchen durch die geringe Geschwindigkeit des Pendelrohres viel schonender behandelt, wodurch es nicht so schnell zu einer Zertrümmerung des Düngerkorns kommt.

### **3.5. Auswirkungen von Streufehlern**

Durch eine unzureichende Verteilung kommt es zu wesentlichen Ertragsdepressionen und somit auch zu monetären Einbußen. Bei einem VK von 15 % muss mit einem Minderertrag von 0,6 % gerechnet werden. Bei einem VK von 30 % beträgt der Minderertrag schon 2,6 %. Wenn dann der Weizen aufgrund der Überdüngung ins Lager geht, steigt der Ertragsverlust auf 22 % an. Dabei wird jedoch noch nicht die Qualitätsminderung des Weizens berücksichtigt. Bei einem VK von 50 % und Lager beträgt der Ertragsverlust 30 %. Würde also, wie in dem Versuch, der Weizen in einer Hohertragsregion in Deutschland bei 4 m/s mit feinem Harnstoff gedüngt, so kann der Ertrag um ca. 20 % zurückgehen. Bei einem Weizenertrag von 90 dt/ha und einem Weizenpreis von 10 €/dt wäre das ein Minderertrag von 180 €.(DLZ 2008).

Vor allem im Frühjahr 2009, als sich die Preise für Kas beständig auf einem hohen Niveau hielten, der Harnstoffpreis aber stark sank, wichen viele Landwirte auf dieses Produkt aus. Oftmals wurde auch günstiger Harnstoff gekauft, welcher eine fragwürdige Qualität aufwies. Bei der Applikation mit Pneumatikstreuern stellt dies kein Problem dar. Wenn aber ein einfacher Schleuderstreuer zum Einsatz kam, dann hatte dies Folgen. Zwar verschwindet die technische Streifenkrankheit relativ rasch durch kompensatorisches Wachstum, doch Ertrag und Qualität der zu gering gedüngten Fläche lassen zu wünschen übrig. Zu diesen Ergebnissen ist auch ein Versuch der Incona gekommen. Auf dem Versuchsbetrieb in Darmstadt wurde eine Fläche mit einem stabilisierten N-Dünger gedüngt. Dadurch war die erste Gabe mit 140 kg N/ha auch entsprechend groß. Aufgrund der Witterung und der schlechten Qualität des Düngers lag der VK aber bei ca. 50%, d.h. es waren Streifen vorhanden, die mit 210 kg N je ha

und solche die mit nur 70 kg N je ha gedüngt wurden. Für den Ertrag des Weizenbestandes wirkte sich das wie folgt aus.

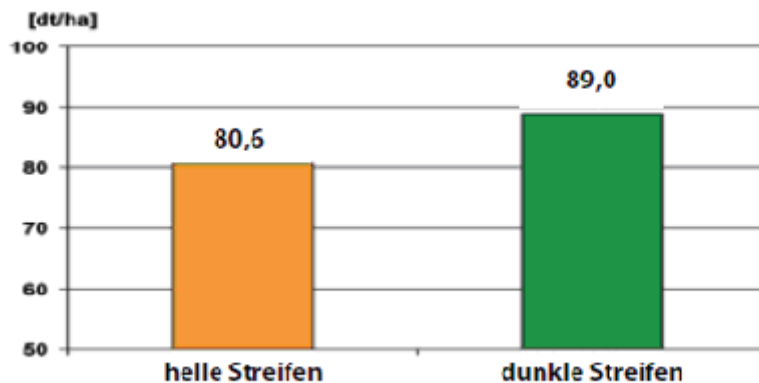


Abbildung 3-8: Auswirkungen unterschiedlicher Stickstoffmengen auf den Ertrag von Winterweizen  
(Quelle: <http://www.incona.de/files/newsletter.php?id=304>)

Selbstredend sind die hellen Streifen die unter- und die dunklen Streifen die überdüngten Stellen. Entsprechend fiel auch das Ergebnis des N-Testers aus, der vier Wochen nach der Applikation Bedarfswerte zwischen 20 kg N/ha und 90 kg N/ha anzeigte. Die statistisch gesicherten Ertragsunterschiede betragen dann auch 9 dt/ha, was ca. 90 € entspricht. Ein ganz ähnlicher Versuch wurde an Wintergerste durchgeführt, welche aber ein sehr viel geringeres kompensatorisches Wachstum aufweist als der Winterweizen. Die Erträge stellten sich wie folgt da.

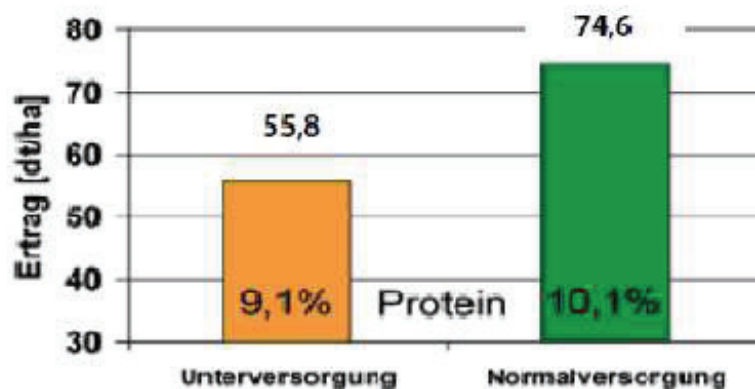


Abbildung 3-9: Auswirkungen unterschiedlicher Stickstoffmengen auf den Ertrag und die Qualität von Wintergerste.

(Quelle: <http://www.incona.de/files/newsletter.php?id=304>)

Der Unterschied ist hier noch deutlicher zu erkennen als im Winterweizen. Die Erträge reichen von 55,8 bis 74,6 dt/ha. Das ist ein Unterschied vom 21 dt/ha. Außerdem lässt sich aus der Grafik erkennen, dass der Proteingehalt im unterdüngten Bereich um einen Prozentpunkt geringer ist als im überdüngten Bereich. Zwar spielt dieser Gehalt bei der Wintergerste, mit Ausnahme der Winterbraugerste, eine untergeordnete Rolle, er gibt aber einen Hinweis darauf wie der Weizenproteingehalt sich bei den Unterschiedlichen Stickstoffmengen verhält.

Ein vermeintlich günstiger Dünger kann sehr teuer werden, wenn eine optimale Applikation mit der vorhandenen Technik nicht möglich ist. Genauso müssen hohe Auslastungen der Düngetechnik durch fehlerhafte Düngerverteilung aufgrund ungünstiger Umweltbedingungen oft teuer erkaufte werden. Jedoch rentiert sich nicht in jedem Betrieb ein Pneumatikstreuer. Es müssen also Alternativen gesucht werden, welche weniger windanfällig sind.

(Incona 2010)

## 4. Mechanische Grundlagen.

Die Mechanik ist die Lehre der Kräfte und der Bewegung. Auch die Bewegung des Düngerkorns bei der Ausbringung unterliegt diesen Lehren. Dabei sind die Bewegungsabläufe bei allen Schleuderstreuer ähnlich.

### 4.1. Auf das Düngerkorn wirkende Kräfte

Bei der Ausbringung der Düngemittel wirken verschiedene Kräfte auf das Düngerkorn ein, welche zu einer vorhersagbaren Bewegung führen. Es werden nun die unterschiedlichen Kräfte aufgezeigt.

#### 4.1.1. Die Fliehkraft.

Die Fliehkraft, oder auch Zentrifugalkraft, bezeichnet eine Trägheitskraft, die auf einen Körper, welcher sich auf einer Kreisbahn befindet, wirkt. Dabei wirkt sie immer entgegen dem Kreismittelpunkt. Sie ist abhängig von der Masse  $m$ , dem Abstand  $r$  des Düngerkorns zum Kreismittelpunkt und von der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ .

Die Formel für die Fliehkraft lautet:

$$F_z = m * r * \omega^2$$

Nun wird auch deutlich, dass die Fliehkraft bei dem betrachteten Vorgang nicht konstant ist, sondern sich entsprechend  $r$  vergrößert. Dabei bleiben  $m$  und  $\omega$  konstant. (Heyde und Kühn 1978)

#### 4.1.2. Trägheitskraft

Trägheitskräfte sind Kräfte, die auf einen Körper wirken, wenn dieser beschleunigt wird. Bei dem Bewegungsablauf des Düngerkorns handelt es sich auch um eine beschleunigte Bewegung, da das Düngerkorn aufgrund der Zentrifugalkraft in Richtung Scheibenrand beschleunigt wird.

Die Formel für die Trägheitskraft lautet:

$$f = m * a_{rad}$$

Dabei beschreibt  $a_{rad}$  die Radialbeschleunigung. (Heyde und Kühn 1978)

### 4.1.3. Die Corioliskraft.

Die Corioliskraft bezeichnet die Kraft, mit der das Düngerkorn gegen die radial ausgerichtete Schaufel gedrückt wird. Sie wirkt entgegen der Drehrichtung der Kreisbewegung. Die Corioliskraft spielt eine entscheidende Rolle bei der Ermittlung des Reibungswiderstandes während des Bewegungsprozesses.

Die Formel für die Corioliskraft lautet:

$$F_c = 2 * m * \omega * v_{rad}$$

Dabei stellt  $v_{rad}$  die Radialgeschwindigkeit dar.

## 4.2. Dynamik des Düngerkorns

In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen Bewegungsabläufe des Düngerkorns beschrieben. Dabei setzt sich diese Bewegung im Wesentlichen aus der beschleunigten Bewegung auf der Scheibe sowie aus der Wurfbewegung nach dem Verlassen der Scheibe zusammen.

### 4.2.1. Die Bewegung des Düngerkorns auf der Scheibe.

Zuerst sei hier angemerkt, dass modellhaft die Bewegung des Düngerkorns als reibungsfreie Bewegung angesehen wird, obwohl dies nicht der Realität entspricht. Das vereinfacht die Berechnung der Dynamik des Düngerkorns

Betrachtet man die Rotation der Scheibe wird deutlich, dass es sich vereinfacht um eine gleichförmige Kreisbewegung handelt. Bei dieser Kreisbewegung befindet sich ein Körper auf einer Kreisbahn um den Kreismittelpunkt R. Die Geschwindigkeit des Körpers ist abhängig von der Umlauffrequenz bzw. der Drehzahl  $n$ . Außerdem ist sie natürlich von der Größe des Kreises abhängig, welche mit dem Radius  $r$  ausgedrückt wird. Mit Hilfe dieser Größen wird die Bahngeschwindigkeit  $v$  ermittelt, welche durch die folgende Formel zum Ausdruck gebracht werden kann:

$$v = 2 \pi * r * n$$

Dabei ist diese Geschwindigkeit immer tangential zur Kreisbahn ausgerichtet, d.h. verlässt der Körper die Kreisbahn in einem Punkt  $x$ , so entspricht ihre Richtung der Tangente dieses Punktes, wenn allerdings die Radialbeschleunigung vernachlässigt wird.

Die gerade erwähnte Radialbeschleunigung, oder auch Zentrifugalbeschleunigung, ist die Beschleunigung, welche durch die Fliehkraft zustande kommt. Die Formel für die Radialbeschleunigung lautet:

$$a_{rad} = r * (2 \pi * n)^2$$

Die Radialbeschleunigung verursacht dementsprechend auch eine Radialgeschwindigkeit zum Zeitpunkt des Abwurfs.

Bei einem Schleuderdüngerstreuer bewegt sich das Düngerteilchen jedoch nicht auf einer Kreisbahn, obwohl die Bewegung der Scheiben einer gleichförmigen Rotation entspricht. Das Düngerkorn wird in einem Punkt  $R_1$  auf die Scheibe aufgegeben. Die Entfernung dieses Punktes vom Scheibenmittelpunkt  $R$  wird als  $r_1$  bezeichnet. Ab dem Zeitpunkt des Auftreffens des Düngerkorns bewegt sich dieses in Richtung Scheibenrand und zwar entlang der Radial angeordneten Wurfschaufeln, d.h. aber auch, dass sich die Entfernung  $r$  vom Kreismittelpunkt ändert. Somit ändern sich auch die Radial- und die Bahngeschwindigkeit. Bei der Bahngeschwindigkeit spielt dies jedoch keine Rolle, da sie erst am Scheibenrand für diese Berechnung von Bedeutung ist. Für die Radialbeschleunigung heißt dies jedoch, dass es sich nicht um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt, und es also mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht möglich ist diese zu berechnen, sondern nur zu schätzen.

Die Radialbeschleunigung kann aber durch die Integration nach  $r$  in die folgende Formel umgewandelt werden:

$$r = r_1 * e^{wt}$$

Durch die Integration der Formel nach  $t$  wird nun die Radialgeschwindigkeit ermittelt:

$$v_{rad} = 2 \pi * n * r$$

Da sich die Radialgeschwindigkeit  $90^\circ$  zur Tangente des Abwurfpunktes bewegt, kann die Abwurfgeschwindigkeit mit folgender Formel ermittelt werden:

$$v_{wurf} = \sqrt{(v_{rad}^2 + v_{umf}^2)}$$

$$v_{wurf} = 2 \pi * r * n * \sqrt{2}$$

(Klapp 1965)

Da es sich aber bei dieser Bewegung nicht um eine reibungslose Bewegung handelt, kann mit ausreichender Genauigkeit die Geschwindigkeit mit einer Konstanten  $k$  multipliziert werden. Dabei ist  $k$  ein Wert, der die Reibung des Düngerkorns abschätzt. Sie beträgt in unserem Fall 0,7. (Heyde und Kühn 1978)



#### 4.2.2. Bewegung des Düngerkorns nach dem Verlassen der Scheibe

Nachdem das Düngerkorn die Scheibe mit der Wurfgeschwindigkeit  $v_{\text{wurf}}$  verlässt, führt es eine Bewegung in zwei Richtungen aus. Zum einen führt es eine waagerechte Bewegung aufgrund der Geschwindigkeit, die es besitzt, aus, zum anderen führt es aber auch eine senkrechte Bewegung zur Erdoberfläche aus aufgrund der Erdanziehungskraft. Genauer gesagt handelt es sich also um eine waagerechte Wurfbewegung.

Die Weite dieses Wurfes kann man anhand der folgenden Formel berechnen:

$$s_w = v_{\text{wurf}} * \sqrt{\left(\frac{2 * h}{g}\right)}$$

Dabei handelt es sich jedoch nur um die Formel im luftleeren Raum.

Betrachtet man jedoch die Wurfweite im luftgefüllten Raum, so muss der Luftwiderstand mit einberechnet werden. Dieser errechnet sich anhand folgender Formel:

$$W = c * v^2$$

Wobei der Luftwiderstand  $c$  sich aus  $q$  für die Luftdichte,  $F_S$  für die Stirnfläche des fliegenden Teilchens und  $c_w$  für den Widerstandsbeiwert zusammensetzt. Er ist dementsprechend von der Masse und der Dichte des Düngerkorns abhängig. (Klapp 1965)

Aufgrund von Versuchen kann mit ausreichender Genauigkeit davon ausgehen, dass die folgende Formel die Wurfweite im luftgefüllten Raum beschreibt:

$$s_w = v_{\text{wurf}} * \sqrt{\left(\frac{h}{g}\right)}$$

(Heyde und Kühn 1978)

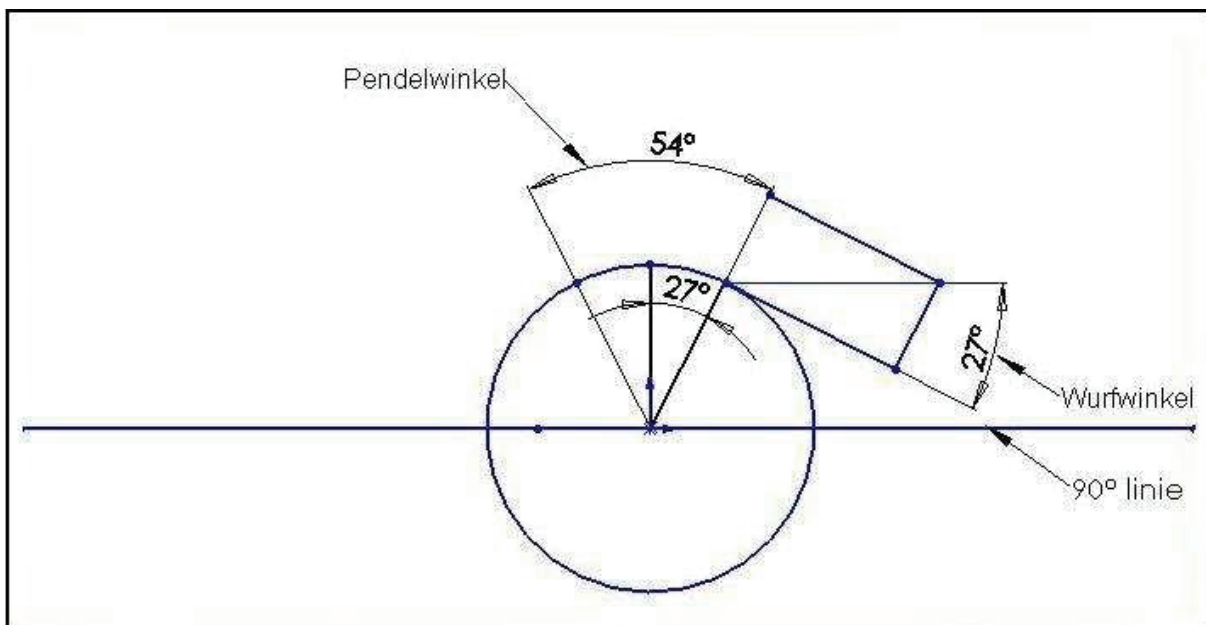
#### 4.3. Anwendung der Berechnungen auf den Vicon Pendelstreuer

Bei dem Vicon Pendelstreuer wird das Düngerkorn nicht durch eine mit Radialrippen besetzte Scheibe beschleunigt und letztendlich verteilt, sondern dies geschieht mit Hilfe eines Rohres, welches um einen Mittelpunkt rotiert. Dabei vollendet das Rohr keine vollständige Rotation, sondern pendelt in einem Kreissektor mit dem Winkel  $\varphi$ . Da es sich aber auch um eine Kreisbewegung handelt und die Düngerteilchen durch ein radial ausgerichtetes Rohr geführt werden, wird die Annahme getroffen, dass man die aufgeführten Formeln zur Berechnung der Streubreite nutzen kann.

Um wie beschrieben die Wurfweite berechnen zu können, müssen zuerst einige Daten erhoben werden. In dieser Berechnung wird die Wurfweite bei der Einstellung des Streuers auf 14

m Arbeitsbreite untersucht. Dabei wird der Schleuderstreuer mit 540 U/min angetrieben. Das entspricht genau 9 U/s. Dabei legt das Streupendel einen Winkel  $\varphi$  von  $2 \cdot 54^\circ$  zurück. Der Radius  $r$  des Streurohres beträgt 0,63 m.  $2 \cdot 54^\circ$  entsprechen 0,3 (108/360) Umdrehungen des Pendelrohres. Da das Pendelrohr aber mit 9 U/s angetrieben wird, beträgt die Zahl der vollständigen Umdrehungen pro Sekunde 2,7. Werden diese Zahlen nun in die Formel für die Bahngeschwindigkeit eingesetzt, so erhalten wir eine Bahngeschwindigkeit von 10,69 m/s. Entsprechend den Formeln können wir auch  $V_{\text{wurf}}$  berechnen. Diese beträgt dann 15,49 m/s ohne Reibung und 10,84 m/s mit Einbeziehung der Reibungskonstanten  $k$ . Bei dieser Geschwindigkeit würde die Streuweite im luftleeren Raum, bei einer eingestellten Höhe des Düngerstreuers von 0,75 m, lediglich 4,2 m betragen. Dieser Wert ist offensichtlich falsch. Um die Wurfgeschwindigkeit zu ermitteln, kann aber auch anders vorgegangen werden. So kann von der Wurfweite auf die Wurfgeschwindigkeit geschlossen werden.

Wenn von 14 m Arbeitsbreite des Pendelstreuers ausgegangen wird, beträgt die Streuweite ca. 28 m, da der Pendelstreuer bei 14 m Arbeitsbreite ein dreieckiges Streubild besitzt. Der unbekannte Faktor der Wurfgeschwindigkeit ist bisher die Radialgeschwindigkeit. Außerdem ist der Abwurfwinkel auch unbekannt, er kann aber aus dem Verhältnis von Radial- und Bahngeschwindigkeit berechnet werden. Der Abwurfwinkel ist sehr wichtig, um die richtige Wurfgeschwindigkeit zu errechnen. Bei einer Auslenkung des Pendelrohres von  $54^\circ$  beträgt der optimale Wurfwinkel  $27^\circ$ . Das wird aus der folgenden Abbildung deutlich:

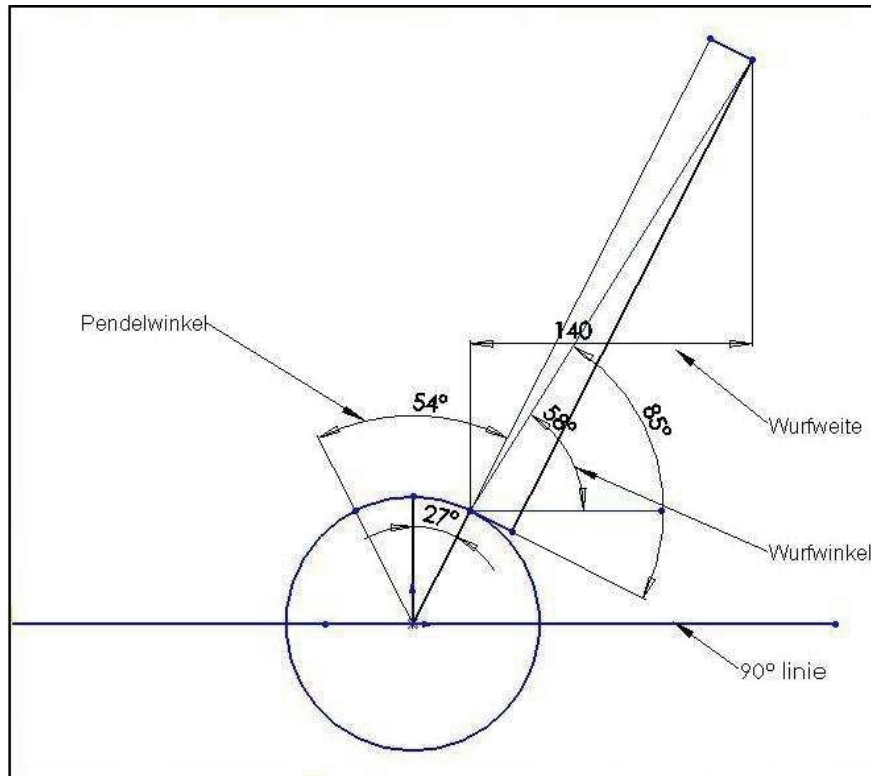


**Abbildung 4-1: Der Optimale Wurfwinkel**

(Quelle: eigene Darstellung)

Dieser Wurfwinkel wird jedoch nur dann erreicht, wenn die Radialgeschwindigkeit ca. 50% der Bahngeschwindigkeit beträgt. Aus der nächsten Abbildung ist erkennbar, dass bei einer

Bahngeschwindigkeit von 10,68 m/s die Wurfgeschwindigkeit 139,49 m/s betragen muss und die Radialgeschwindigkeit 139,00 m/s beträgt. Dabei beträgt der Abwurfwinkel  $58^\circ$ . Insgesamt führt dies zu einer Wurfweite von 14 m die Abbildung 11 dient der Verdeutlichung des Sachverhaltes.



**Abbildung 4-2: Wurfwinkel die durch die berechnete Wurfgeschwindigkeit entstehen würde.**  
(Quelle: eigene Darstellung)

Bei dieser Art der Betrachtung wurde aber nicht beachtet, dass sich am Ende des Streurohres ein Streubügel befindet, welcher die Flugbahn des Düngerkorns wahrscheinlich erheblich verändert.

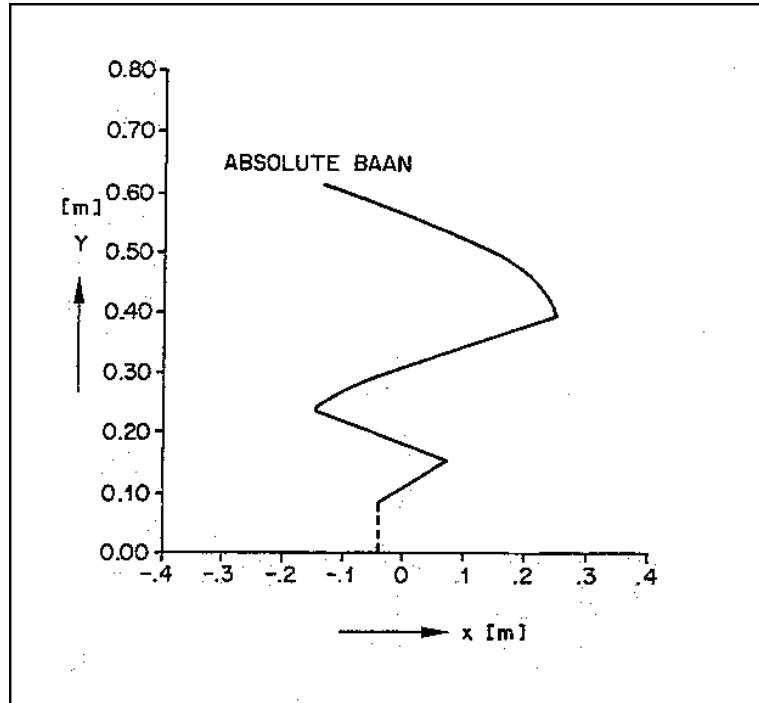
Bis hierher ist man davon ausgegangen, dass das Düngerkorn eine geradlinige Bewegung im Pendelrohr vollzieht. Das dies nicht der Realität entspricht wurde in einem Projekt zu Wurfweitenvergrößerung eines Vicon-Pendelstreuers an der Universität Maastricht nachgewiesen. Die Bewegung des Düngerkorns in drei Phasen eingeteilt.

Phase 1: Das Düngerkorn bewegt sich entlang der Wand und dem Boden des Streurohres, wobei die Reibungskräfte, die hier auftreten, eine entscheidende Rolle spielen.

Phase 2: Das Düngerkorn wird während des Richtungswechsels des Pendels von der einen Seitenwand gegen die andere Seitenwand geschleudert und es treten nur noch Reibungskräfte am Boden des Pendels auf.

Phase 3: Das Düngerkorn wird gegen die andere Rohrwand geschleudert. Es kommt zu einem unelastischen Rückstoß, wobei die Geschwindigkeit des Düngerkorns abnimmt.

In der folgenden Abbildung ist der Weg des Düngerkorns aufgezeigt.



**Abbildung 4-3: absolute Bahn des Düngerkorns während der Pendelbewegung**  
(Quelle: . Bahasoean und Brouns, 1988 S.66)

Zu sehen ist hier in welchem Abstand vom Mittelpunkt sich das Düngerkorn wo befindet. Dabei stellt  $y$  die zurückgelegte Strecke im Pendelrohr da. Die Linie zeigt an welche Bahn das Düngerkorn während den Pendelbewegungen hat, deutlicher wird es eventuell wenn man sich vorstellt das sich am Punkt  $(-0,5/0)$  das untere Ende des Trichter befindet. Es wird auch deutlich, dass das Düngerkorn ca. 3,5 Umdrehungen braucht bevor es das Pendelrohr verlässt. Die Ausschwenkungen der Linie nach links und rechts werden immer größer je weiter das Düngerkorn im Pendelrohr voran geschritten ist, da aufgrund der gleichmäßigen Pendelfrequenz die Zeit für die Wanderung Düngerkorns zu den beiden Außenseiten gleich bleibt, kann aus der Grafik abgelesen werden das die zurückgelegte Strecke pro Zeiteinheit mit voranschreitenden Entfernung des Düngerkorns im Pendel immer größer wird, es kann also festgestellt werden dass die Geschwindigkeit ansteigt wie es die Berechnungen vorhergesagt haben.

Des weiteren wurde in der oben erwähnten Arbeit auch eine Berechnung der Flugweite bei unterschiedlichen Abwurfgeschwindigkeiten berechnet. Die Abwurfgeschwindigkeiten und die dazugehörige Wurfweiten werden in Abbildung 13 Angezeigt.

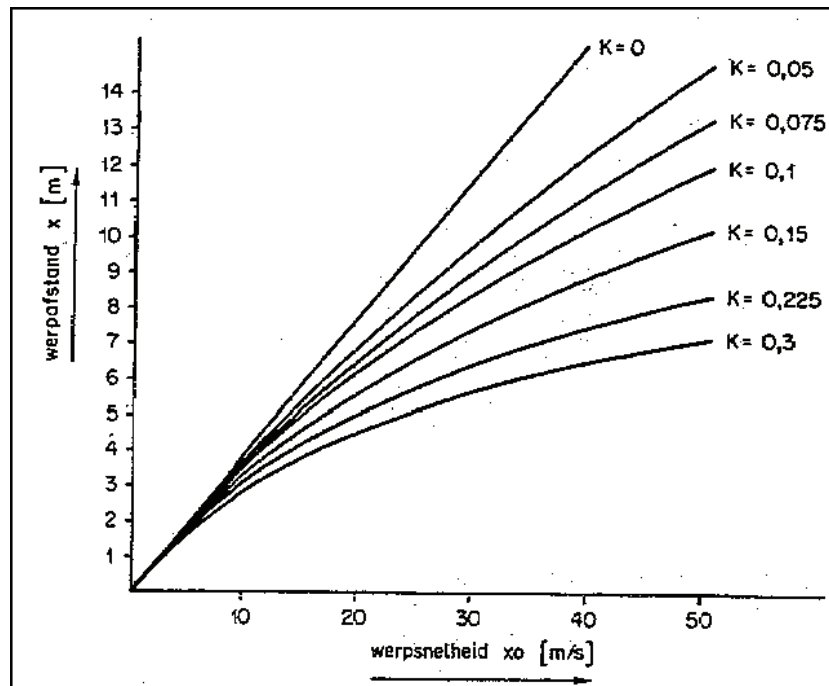


Abbildung 4-4: Wurfweite (werpafstand)  $x$  in Abhängigkeit von der Wurfgeschwindigkeit (werpsnelheid)  $x_0$  und der Luftwiderstandskonstante  $k$ .

Quelle: . Bahasoean und Brouns, 1988 S.66

Auf der y-Achse ist die Wurfweite in Metern m angegeben, auf der x-Achse die Wurfgeschwindigkeit in m/s. Es wurden unterschiedliche Graphen eingezeichnet, wobei diese sich durch die Luftwiderstandskonstante  $k$  unterscheiden. Es wird deutlich, dass die Wurfweite wie schon mehrmals besprochen von der Wurfgeschwindigkeit abhängig ist. Die Funktion ist aber nicht geradlinig, sondern es handelt sich um eine Wurzelfunktion, wobei die Konstante dieser Wurzelfunktion wohl direkt von der Konstante  $k$  abhängig ist. Des Weiteren lässt sich aus der Grafik entnehmen, dass für eine Arbeitsbreite von 14 m eine Abwurfgeschwindigkeit von 50 m/s nötig ist. Jedoch ist dies natürlich vom Dünger abhängig.

Bei dem Gerät, für welches die Grafiken erstellt wurden, handelt es sich aber nicht um den gleichen Streuer wie bei dem Projektgerät der Hochschule Neubrandenburg. Außerdem wurde der Berechnung kein Kas-Düngemittel zugrunde gelegt. (Bahasoean und Brouns 1988)

Um die tatsächliche Abwurfgeschwindigkeit des Kas-Düngers zu ermitteln, müsste dieser eventuell mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera gefilmt werden. Aus den vorherigen Betrachtungen wird aber deutlich, dass die Auslenkung des Pendelrohres, die Länge des Streurohres sowie die Antriebsdrehzahl die Streuweite beeinflussen, indem diese sich auf die Geschwindigkeit des Düngerkorns auswirken. Wenn wie geplant die Düngerkörner mit Hilfe eines Gebläses eine zusätzliche Beschleunigung erfahren, so wird sich dies vor allem auf die Radialbeschleunigung auswirken. Zu klären ist allerdings noch die Frage, wie sich dann die Bewegung des Düngerkorns nach dem Verlassen des Rohres in Bezug auf den Streubügel

verhält. Es kann aber die Annahme getroffen werden, dass durch ein solches Gebläse und das Einleiten der Luft die Abwurfgeschwindigkeit erhöht werden wird.

## **5. Bisherige Entwicklungen zur Streubreitenerweiterung.**

Der Strukturwandel der Landwirtschaft war vor allem auch mit Hilfe der Mechanisierung vieler Prozesse möglich. Im Moment geht es weniger darum die Arbeitsabläufe zu mechanisieren, da dies schon zum großen Teil geschehen ist, sondern es geht darum die Landtechnik zu rationalisieren. Eine Möglichkeit hierzu ist natürlich die Vergrößerung der Arbeitsbreiten, welche vor allem bei Düngerstreuern eine wichtige Rolle spielt. Pendelstreuer haben hier Nachteile, da das Grundmodell nur bis 14 m streuen kann. Es wurden in der Vergangenheit von Vicon und von Amazone aber einige Entwicklungen zur Streubreitenvergrößerung vorgenommen, um die Vorteile der Pendelstreuer an einen größeren Kundenkreis geben zu können.

Jedoch kann man die Streubreite nicht so einfach erhöhen, wie dies bei Zentrifugalstreuern bisher gemacht wurde. Zwar kann man die Pendelfrequenz erhöhen, jedoch steigen die Kräfte, die auftreten, quadratisch zur Erhöhung der Pendelfrequenz an. Genauso verdoppeln sich auch die Kräfte, wenn das Pendelrohr vergrößert wird. Dies hat dann wiederum negative Auswirkungen auf den Streuer, welcher dann sehr viel stabiler gebaut werden müsste, wodurch das Gewicht des Streuers ansteigt. Außerdem werden Vibrationen stärker auf den Traktor übertragen, was zu Schäden führen kann. (Bahasoean und Brouns 1988)

Deswegen müssen Lösungen gesucht werden, um die Streubreite zu vergrößern ohne die Pendelfrequenz zu erhöhen. Bisher wurden hier einige Entwicklungen gemacht, die es aber, bis auf die Entwicklungen von Vicon, nie zur Serienproduktion geschafft haben.

### **5.1. Vergrößerung auf 15 m.**

Der erste Schritt zu Vergrößerung der Arbeitsbreite wurde mit der Erweiterung auf 15 m Streubreite genommen. Dafür werden an dem Düngerstreuer keine baulichen Veränderungen durchgeführt, sondern es wird lediglich die Drehzahl des Traktor auf 620 U/min erhöht, wobei hier sehr wahrscheinlich die Grenze des technisch vertretbaren erreicht ist.

Verfügt der Traktor nur über eine 540er Zapfwelle, so kann auch mit Hilfe eines optional erhältlichen Vorsatzgetriebes die Drehzahl auf 620 U/min erhöht werden. Durch diese Vergrößerung der Drehzahl kommt es zu einer höheren Bahngeschwindigkeit am Ende des Pendelrohres. Dies hat zur Folge, dass die Düngerkörner auf eine höhere Abwurfgeschwindigkeit beschleunigt werden, was dann zu der Vergrößerung der Arbeitsbreite führt. Das Streubild des Pendelstreuers ändert sich aber nicht, (Vicon 2002)

## 5.2. Vergrößerung der Arbeitsbreite auf 18 m

Bei der Arbeitsbreitenvergrößerung auf 18 m werden mehrere Änderungen am Düngerstreuer vorgenommen, wodurch auch das Streubild verändert wird. Der 18m-Streuer wird auch, wie bei dem 15m-Modell, mit 620 U/min angetrieben. Außerdem werden an dem Streuer zwei Deflector-Platten angebracht. Das sind zwei dreieckige Edelstahlplatten, welche unter dem Auslauf des Düngerstreuers angebracht werden. Diese sind in der Höhe verstellbar, um auch bei unterschiedlichen Düngersorten und Düngermengen ein exaktes Streubild zu gewährleisten. Des Weiteren wird an dem Pendelrohr anstelle des gelben Streubügels ein roter Streubügel montiert. Er ist so konzipiert, dass ein größerer Teil des Düngers auf die Deflector-Platten geleitet wird. Dadurch erhält man ein abgeflachtes trapezförmiges Streubild. D.h., dass obwohl die Wurfweite des Streuers nur etwa 28 m beträgt, hat der Streuer eine effektive Arbeitsbreite von 18 m, da durch das trapezförmige Streubild keine vollständige Überlappung mehr nötig ist. (Vicon 2002)

## 5.3. 24 m Arbeitsbreite mit dem Amazone-Pendelstreuer

Im Jahre 1985 wurde von den Amazone-Werken in Hasbergen ein Pendelstreuer zum Patent angemeldet, welcher die Düngemittel über 24 m Arbeitsbreite gleichmäßig verteilen konnte. Dazu wurden von dem Erfinder, dem Dipl. Ing. Heinz Dreyer, zwei Neuerungen eingeführt. Um das ungleichmäßige Streubild des herkömmlichen Pendeldüngerstreuers bei Arbeitsbreiten über 14 m zu verhindern, wurde die Frequenz des Pendelrohres an unterschiedlichen Stellen des Pendelbereiches verändert. Wenn die Arbeitsbreite des Pendelrohrstreuers auf über 14 m vergrößert wird ohne jedoch eine bauliche Veränderung des Gerätes vorzunehmen, kommt es nicht zu einer vollständigen Überlappung der Streubereiche. Da es sich dabei aber um dreieckige Streubilder handelt, führt dies dazu, dass in der Mitte des zu streuenden Bereiches weniger Dünger fällt als in den äußeren Bereichen. Aus diesem Grund hat das Pendel in den unterschiedlichen Ausschlagbereichen unterschiedliche Bahngeschwindigkeiten. Bei dem patentierten Düngerstreuer wurde dies gelöst, indem die Gabel (18), die das Pendel antreibt, von einer ellipsenförmigen Kurvenscheibe geführt wird, das wird aus der Abbildung 14. Deswegen musste die Gabel so montiert werden, dass sie der ellipsenförmigen Kurvenscheibe (14) folgen kann. Bei dem abgebildeten Düngerstreuer ist deswegen ein komplexer Schwingungsmechanismus montiert. Er besteht aus einer kreisrunden Schwungscheibe (16). Auf dieser ist die Gabel, die den unteren Teil des Trichters in Schwingung versetzt, montiert. Der



Zapfen dieser Gabel ist nicht nur exzentrisch in der Schwungscheibe gelagert, sondern auch noch in einem Langloch (19) montiert, dadurch wurde eine Ausweichmöglichkeit der Gabelaufnahme in Richtung Mittelpunkt der Schwungscheibe hat. Dies dient zur Führung der Gabel gegen die ellipsenförmige Kurvenscheibe. Diese Kurvenscheibe ist starr hinter der rotierenden Schwungscheibe montiert. Wird die Schwungscheibe nun in Rotation versetzt, so wird die Gabel mit Hilfe der Feder (20) gegen die ellipsenförmige Kurvenscheibe gedrückt und führt aus diesem Grund eine solche Ellipsenförmige Bewegung aus.

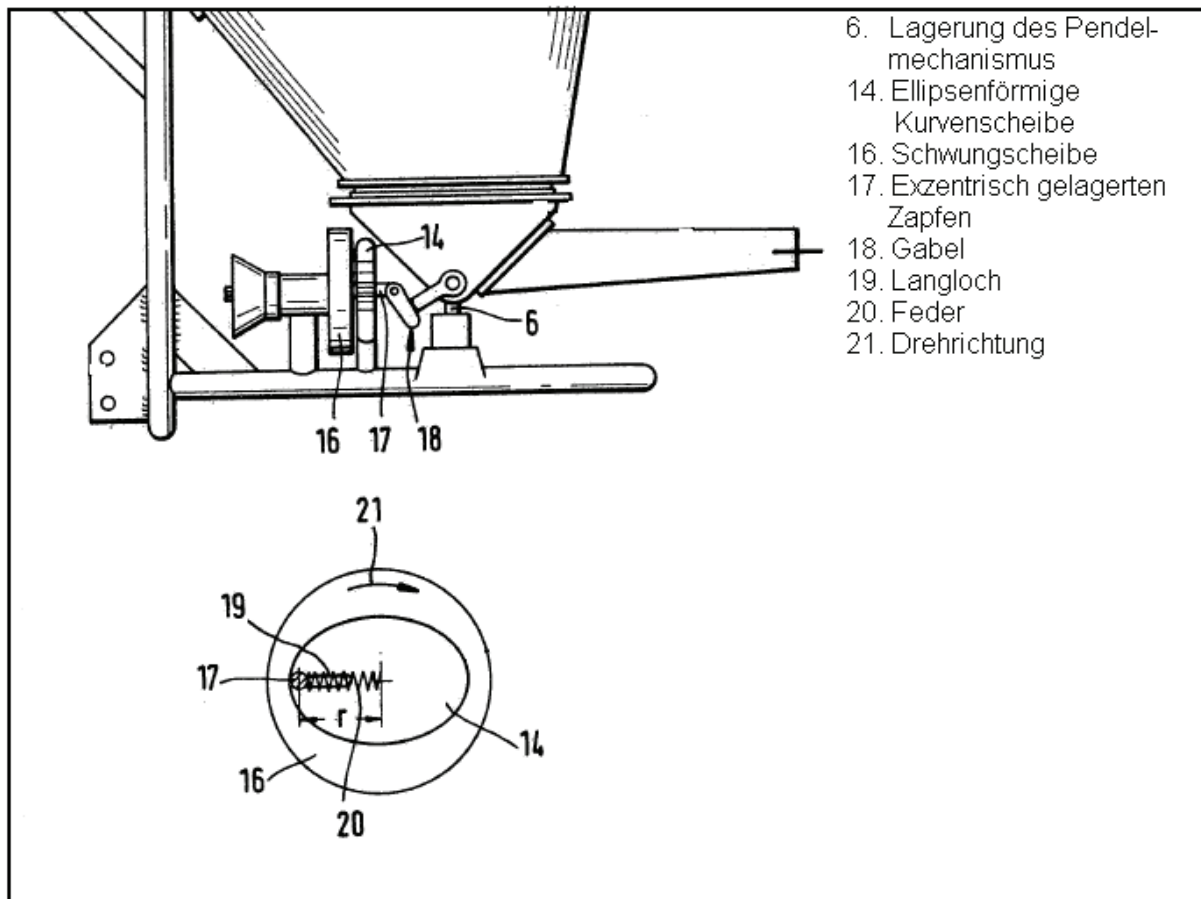
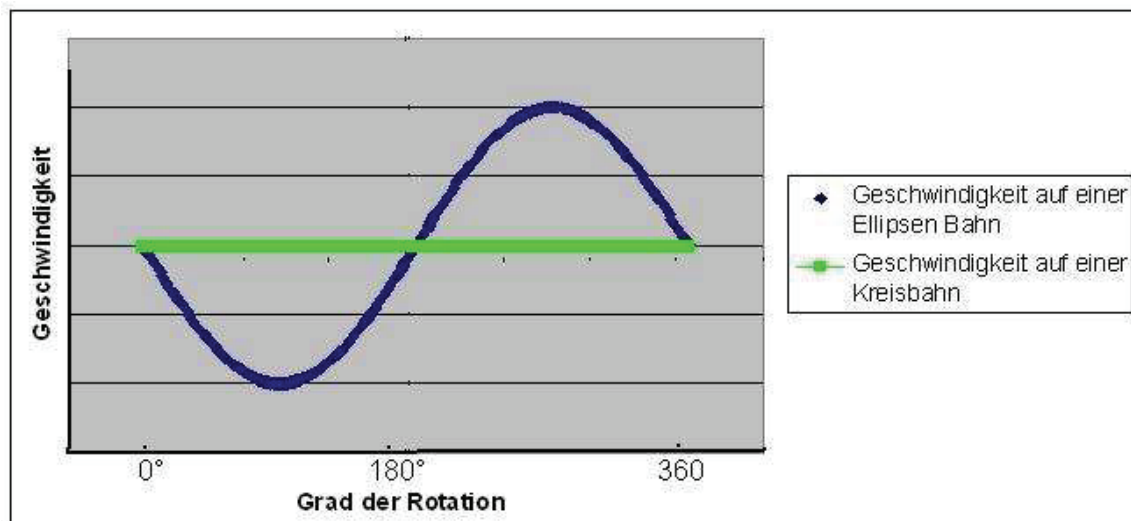


Abbildung 5-1: Bauteile des patentierten Düngerstreuers mit unterschiedlichen Bahngeschwindigkeiten.

(Quelle: Dreyer und Holtkamp 1985)

Dabei dauert eine Umdrehung genauso lange wie bei einem herkömmlichen Pendelstreuer, führt aber zu unterschiedlichen Bahngeschwindigkeiten. Betrachtet man eine Ellipsenhälfte, so ist auffällig, dass von jedem Punkt auf der Außenbahn der Abstand zum Mittelpunkt unterschiedlich ist. Das heißt, dass bei der Ellipse die Bahngeschwindigkeit nicht konstant ist, sondern es sich in Abhängigkeit vom Abstand zum Mittelpunkt um eine positiv oder negativ beschleunigte Bewegung handelt. Also kann man davon ausgehen, dass in der Mitte des Streubildes mehr gedüngt wird, da dort die Geschwindigkeit geringer ist als beim herkömmlichen Pendelstreuer. Man kann aber auch sagen, dass nach außen weiter geworfen wird, weil

zum äußeren Anschlag das Pendel eine höhere Geschwindigkeit hat. In der folgenden Grafik wird der Sachverhalt verdeutlicht, indem Bahngeschwindigkeiten von Kreis- und Ellipsenbahnen grafisch dargestellt werden.



**Abbildung 5-2: Vergleich von Bahngeschwindigkeiten bei gleichmäßiger Rotation von Ellipsen- und Kreis-Bahn.**

(Quelle: eigene Darstellung)

Bei einem solchen Streuer ist aber davon auszugehen, dass das Streubild nicht mehr dreieckig ist, denn durch die Verringerung der Geschwindigkeit im mittleren Bereich kommt es dazu, dass hier mehr und in den äußeren Bereichen weniger Dünger fällt. Wenn die gestreute Düngermenge also direkt von der Geschwindigkeit des Pendels abhängig ist, so würde das Streubild links- und rechtsseitig exponential abfallen. Es wird nicht trapezförmig sein. Dadurch kann es nicht zu einer gleichmäßigen Verteilung der Düngemittel kommen. Jedoch wurden keine Streuversuche mit diesem Streuer veröffentlicht, die diese These stützen würden.

Ein weiteres Patent der Firma Amazone ist das untereinander anbringen von zwei unterschiedlich langen Pendelrohren. Das führt zu einer unterschiedlichen Beschleunigung der Düngerteilchen. Aufgrund unterschiedlicher Streubreiten der Pendelrohre entstehen unterschiedliche Streubilder. Würden nun z.B. das Streubild von einem 6 m und einem 15 m Rohr übereinander gelegt, würde es nicht zu einer Streubreitenerweiterung kommen. Wenn aber an den Streurohren Bügel befestigt werden, die zu unterschiedliche Formen der Streubilder führen, kann es durchaus bei einer Abflachung des Streubildes zu einer Trapezverteilung kommen, was dann effektiv zu einer Streubreitenerweiterung führt. (Dreyer und Holtkamp 1965)

#### 5.4. Entwicklungen der Universität Maastricht

In der schon genannten Arbeit der Herren Bahasoan und Brouns wurden zwei Möglichkeiten zur Streubreitenerweiterung bei einem Pendelstreuer genannt. Durch das Anwinkeln des Pendelrohres in einem Winkel  $\alpha_p$  hat das Düngerkorn neben der Radial- und Bahngeschwindigkeit noch eine zusätzliche Geschwindigkeit, die vertikale Geschwindigkeit. Die Funktion dieser Geschwindigkeit ist abhängig von  $\alpha_p$  und ihre maximale Größe beträgt 4 m/s, welche bei einem Anstellwinkel von  $30^\circ$  auftritt. Des Weiteren wurde die Bahn der austretenden Düngerkörner durch einen Prallteller umgelenkt, welcher in einer ähnlichen Ausführung schon von Flüssigmisttankwagen bekannt ist. Der Winkel dieser Prallteller wird als Winkel  $\alpha$  angegeben. Neben theoretischen Berechnungen der Wurfweiten wurden auch Messungen durchgeführt. Dabei wurde anstatt Dünger Polyethylen genutzt, welches düngerähnliche Eigenschaften besitzt. Dieses hatte eine Dichte von  $922 \text{ g/cm}^3$ , ein Schüttgewicht von  $580 \text{ kg/m}^3$  und außerdem eine Korngröße von 3-4 mm. Die Ergebnisse der Tests sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 5-1: Wurfweiten der unterschiedlichen Versuchsanordnungen.**

Wurfweite der Körner mit und ohne Streubügel bei unterschiedlichen Anstellwinkeln des Streurohres $\alpha_p$ und des Pralltellers $\alpha$					
Nummer	Streubügel	$\alpha_p$	$\alpha$	Wurfweite	Wurfweite berechnet
0	mit	0	0	7	5,5
1	ohne	0	0	6	
2	mit	0	0	7,5	
3	ohne	0	20	9	7 bis 9
4	ohne	0	30	9,5	
5	ohne	0	40	9,5	
6	ohne	20	0	9,5	9
7	mit	20	0	9	
8	ohne	20	20	11,5	
9	ohne	30	0	9,5	9
10	mit	30	0	8,5	
11	ohne	40	0	9	
12	mit	40	0	9	8
13	ohne	20	30	11,5	

(Quelle: geändert nach Bahasoan und Brouns 1988. S68)

In den ersten drei Versuchen wurde jeweils ohne Prallteller und mit einem Anstellwinkel  $\alpha_p$   $0^\circ$  des Streurohres gearbeitet. Dabei wurde in zwei Streuversuchen mit Streubügel gestreut und in einem Versuch ohne. Der Wurfabstand mit Streubügel lag zwischen 7 und 7,5 m. In weiteren drei Versuchen wurde dann ein Prallteller montiert in Winkeln von  $20-40^\circ$ . Durch die Montage des Pralltellers ist die Anbringung eines Streubügels nicht mehr möglich. Der größte Wurfabstand wurde bei einem  $30$  und  $40^\circ$  Winkel erreicht. Er betrug 9,5 m. In weiteren Versuchen wurde sowohl mit Prallteller als auch mit einem schiefen Rohr gearbeitet. Hier erwies sich ein Winkel von  $\alpha_p=20^\circ$  des Rohres und  $\alpha=20^\circ$  des Pralltellers als günstigste Variante. Die Wurfweite lag hier bei 11,5 m. Gegenüber der nicht umgebauten Variante entspricht dies einer Änderung um 50 %. Beachtet werden sollte auch, dass die Wurfweite nicht mit der Arbeitsbreite gleich zu setzen ist, da sie immer nur die Wurfweite zu einer Seite bezeichnet. Jedoch ist die Arbeitsbreite zu einer Seite, abhängig vom Streubild, nur halb so groß wie die Wurfweite, weil zu 100 % überlappt werden muss.

Es ist davon auszugehen, dass mit den Maßnahmen die Wurfweite der Streuer um ca. 50 % vergrößert werden kann. Das bedeutet eine Arbeitsbreite von 21 m. Im Versuch lag die Arbeitsbreite zwar viel niedriger, da aber die Dichte und auch das Schüttgewicht der Polyethylenkugeln sehr viel geringer ist, ist die Streubreite auch entsprechend geringer. (Bahasoan und Brouns 1988)

Zwar konnte die Streubreite durch die Anpassung des Pendelstreuers erhöht werden und die Autoren halten es zudem für möglich, die Streubreite auch ohne Änderung der Pendelfrequenz noch weiter zu erhöhen, doch geht mit einer solchen Änderung des Pendelstreuers auch ein Nachteil einher. Da die Düngerkörner eine Vertikalbeschleunigung erhalten, und sie sich aufgrund dessen schräg nach oben bewegen, ist ihre Flugbahn sehr viel länger. Aufgrund der längeren Flugbahn wird gleichzeitig der Dünger auch anfälliger für Seitenwind und die Streufehler bei Wind werden zunehmen und somit wird ein Vorteil gegenüber Zentrifugalstreuern geringer.

## 6. Bauliche Veränderungen des Pendelstreuers

Die Vergrößerung der Arbeitsbreite des Pendelstreuers erfordert einige bauliche Veränderungen. Dabei wird in diesem Versuch der Dünger mit Hilfe eines Gebläses beschleunigt, um die geforderte Arbeitsbreite von 24 m zu erreichen.

### 6.1. Bisherige bauliche Veränderungen.

Das hier beschriebene Projekt basiert auf einer Arbeit, eines Interdisziplinären Projekt Seminars, aus dem Jahre 2008, welche ebenfalls das Ziel hatte, die Arbeitsbreite des Düngerstreuers zu erhöhen. Dazu wurde der Düngerstreuer umgebaut, was aber zu keiner positiven Veränderung der Streuweite geführt hat. Diese baulichen Veränderungen waren auch die Grundlage für die Entwicklungen des neuen Streuers.

#### 6.1.1. Das Gebläse

Für die Beschleunigung der Düngerteilchen wurde an dem Streuer ein Radialgebläse angebracht, welches von Kverneland stammt und auch in pneumatischen Drillmaschinen verwendet wird. Das Gebläse wird über einen Zahnradhydraulikmotor angetrieben und hat eine maximale Drehzahl von 5000 U/min. Das Gebläse wurde durch eine Konstruktion aus Winkelbleisen an der linken Seite des Rahmens angebracht. Der Luftstrom wurde mit Hilfe eines Flexschlauches mit einem Durchmesser von 100 mm sowie mit zwei 45° Kt-Rohrwinkeln vom Gebläse über den Behälterrand transportiert.

Laut Kverneland hat das Gebläse folgende Kennzahlen:

**Tabelle 6-1: Kennzahlen des Radialgebläses**

<b>Veränderung von Volumenstrom und Druck durch Änderung der Gebläsedrehzahl</b>		
<b>Gebläsedrehzahl</b>	<b>Volumenstrom</b>	<b>Druck</b>
in U/min	in m <sup>3</sup> /h	in Pa
3000	960	2250
3550	1150	3200
4000	1250	4000
4500	1450	5200
5000	1600	6250

(Quelle: Kverneland Group 2008)

Es wird deutlich, dass der Volumenstrom nahezu linear von der Drehzahl des Gebläses abhängig ist. Der dadurch ausgeübte Druck steigt exponentiell zur Drehzahl. Dadurch könnte, wenn die Streubreite tatsächlich durch die Luftunterstützung erhöht wird, die Variation der Drehzahl z.B. für unterschiedliche Arbeitsbreiten oder Düngemittelbeschaffenheiten genutzt werden.

### 6.1.2. Die Dosiereinrichtung:

Für die Luftunterstützung des Pendelstreuers wurden auch an der Dosiereinrichtung des Pendelstreuers Veränderungen vorgenommen. Die Originalausführung ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 6-1: Dosiereinrichtung des Pendelstreuers**

(Quelle: Vicon 2010)

Wie auf dem Bild zu erkennen, besteht die Dosiereinrichtung aus zwei Platten mit jeweils drei Öffnungen. Dabei kann die untere Platte mit Hilfe eines Hebels gedreht werden, um so die gewünschte Düngermenge auszubringen. Über dem Dosiermechanismus ist ein Rührwerk zur besseren Düngierzufuhr angebracht. Dieses wird von einer Welle angetrieben, welche auf den unteren Teil des Trichters geschweißt ist. Sie muss außerdem durch die Dosiereinrichtung geführt werden. Bei den Umbaumaßnahmen wurde diese Welle und somit auch das Rührwerk abgetrennt. Außerdem wurde eine neue untere Platte angefertigt. Beide Platten wurden mit einer kreisrunden Öffnung von 100 mm Durchmesser versehen. Aus Stabilitätsgründen wurde außerdem ein Einsatz für die obere Platte angefertigt. Dieser passt genau in die vorhandene

Vertiefung hinein, sodass diese miteinander verschweißt werden konnten. Durch diesen Einsatz weist nun die obere Platte genügend Stabilität für das Tragen des Rohres auf. Durch beide Platten wurde ein Edelstahlrohr mit dem Außendurchmesser von 100 mm geführt. Dieses wurde mit der oberen Platte verschweißt. Des Weiteren wurde die untere Platte auf das Rohr geschoben und mittels Schweißpunkten gegen ein Heruntergleiten abgesichert. So kann die Platte gedreht werden, um die Düngierzufuhr zu dosieren. Um den Luftstrom in das Pendelrohr zu leiten, wurde das Rohr 91 mm unterhalb der unteren Platte schräg abgeschnitten und mit einem Gummieinsatz versehen. Auf eine direkte Einleitung des Luftstroms in das Pendelrohr wurde verzichtet. (Brandt et al. 2008)

### 6.1.3. Ergebnisse und Problematik der Konstruktion.

Im Rahmen des Interdisziplinären Projektseminars wurde auch der Test des Streuers durchgeführt. Für diesen Zweck wurden 19 Streuschalen im Abstand von 2 m zueinander, also auf einer Strecke von 36 m, verteilt. Es wurden vier Tests mit unterschiedlichen Gebläsedrehzahlen durchgeführt. Die Menge des Düngers in den Auffangschalen wurde mittels eines Messbechers gemessen. Die Ergebnisse sind im folgenden Streubilddiagramm dargestellt. (Brandt et al. 2008)

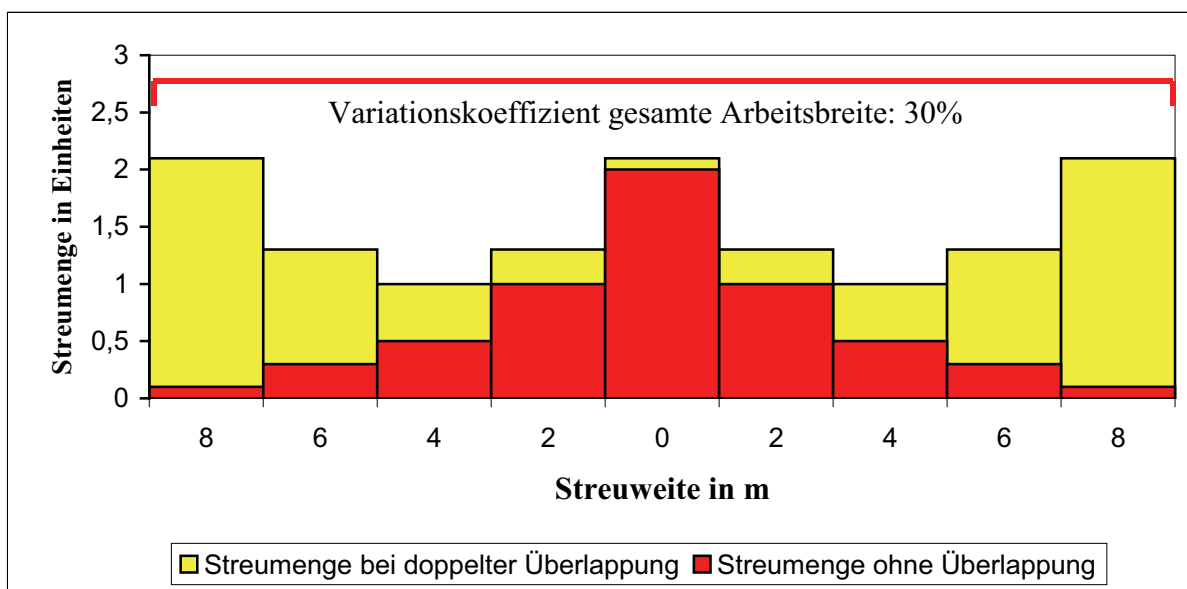


Abbildung 6-2: Streubilddiagramm des 2008 durchgeführten Versuches bei einer Gebläsedrehzahl von 4500 U/min.

(Quelle: geändert nach Brandt et al. 2008)

In dem Diagramm sind nur die Ergebnisse bei einer Gebläsedrehzahl von 4500 U/min dargestellt. Es wird deutlich, dass die Wurfweite in dem Versuch bei 16 m lag, das heißt der Streuer hatte mit Luftunterstützung bei doppelter Überlappung nur eine effektive Arbeitsbreite von 8 m. Es ist aber möglich mit dem Standardstreuer auf 15 m Arbeitsbreite zu streuen. Folglich brachte die Luftunterstützung keinen Vorteil. Des Weiteren lag der Variationskoeffizient bei 30 %, was außerordentlich hoch ist.

#### **6.1.4. Ursachen für diese Ergebnisse**

Um das Düngemittel für eine größere Wurfweite zu beschleunigen, muss der komplette Luftstrahl in das Pendelrohr geleitet werden. Während des Streuversuches konnte aber beobachtet werden, dass ein Teil des Luftstroms nicht durch das Pendelrohr nach außen geleitet wurde, sondern nach oben durch den Dosiermechanismus geströmt ist. Der Luftstrom sollte durch den Gummieinsatz in das Pendelrohr geleitet werden. Dieser Gummieinsatz sorgte jedoch lediglich für eine Luftumlenkung von ca.  $45^\circ$ . Außerdem konnte ein Teil des Luftstroms direkt auf das Trichterendstück prallen, um dann wiederum nach oben hin abgeleitet zu werden. Ein weiterer wichtiger systembedingter Nachteil war, dass das Rohr die Pendelbewegung nicht mitvollzogen hat, was zu einer schlechten Lufteinleitung während des Pendelns führte. Bevor Streutests durchgeführt wurden, wurde auch der Luftdruck am Ende des Pendelrohres gemessen. Diese Daten wurden dann anschließend mit den von Kverneland zur Verfügung gestellten Daten verglichen, wobei ein erheblicher Druckabfall zu verzeichnen war. Jener Druckverlust trat ein, obwohl der Druck im Vergleich zur Messung am Gebläse erhöht sein müsste, da der Luftstrom sich von 100 mm Durchmesser auf 60 mm verjüngt und Druck eine Einheit aus Kraft pro Flächeneinheit ist. Jedoch kommt es durch den Einsatz von zwei  $45^\circ$  Winkeln natürlich auch zu einem Druckabfall.

Es bleibt also festzuhalten, dass der Luftstrom unzureichend in das Pendelrohr geleitet wurde. Weiterhin zu bemerken ist, dass auch bei ausgeschaltetem Gebläse die Arbeitsbreite nicht über 8 m hinaus reichte. Deswegen können auch Bedienfehler oder eine unzureichende Düngerqualität nicht ausgeschlossen werden.



## 6.2. Neue bauliche Veränderungen.

Um das Ziel dieser Arbeit, die Vergrößerung der Arbeitsbreite, realisieren zu können, muss der durch das Radialgebläse erzeugte Luftstrom effizienter in das Pendelrohr geleitet werden. Hierzu waren einige Veränderungen im Trichter des Streuwerkes nötig.

Um den Luftstrom in das Pendelrohr zu leiten, musste dieser um  $90^\circ$  umgelenkt werden. Außerdem sollte der Dünger nicht mit dem Luftstrom in das Pendelrohr gelangen, sondern an den Seiten des Rohres entlang geleitet werden, um so im Pendelrohr durch den Luftstrom beschleunigt zu werden.

Um ein passendes Bauteil für diese Aufgabe zu konstruieren, wurde zuerst eine Skizze des Trichters mit Hilfe des Zeichenprogramms Solid Works angefertigt. Die genauen Maße konnten dem zur Verfügung stehenden Pendelrohrstreuer entnommen werden. Mit Hilfe dieser Skizze wurden verschiedene Konstruktionen für die Luftleitung erprobt, um anschließend die Günstigste zu verwenden. Es wurde sehr schnell festgestellt, dass für die Luftleitung nur ein Edelstahlrohrbogen, welcher auch im Fahrzeugbau Verwendung findet, genutzt werden konnte. Dieser Edelstahlrohrbogen hat einen Durchmesser von 63,5 mm. Ein kleinerer Durchmesser wäre aus konstruktionstechnischer Sicht zwar von Vorteil gewesen, jedoch wäre dieser dann kleiner als das Ende des Pendelrohres, was zu der Vermutung führte, dass in diesem Fall zu wenig Dünger durch den Luftstrom beschleunigt werden würde. Ein Rohrbogen mit einem größeren Durchmesser hätte dazu geführt, dass zu wenig Dünger in das Pendelrohr gelangen würde. Hinzu kommt, dass ein größerer Rohrbogen nicht in den eng bemessenen Trichter gepasst hätte.

Als Materialien kamen nur korrosionsbeständige Stoffe in Betracht. Aus diesem Grund bestehen alle Metallteile aus Edelstahl. Außerdem kamen noch einige Kunststoffteile zum Einsatz. Mit Hilfe der Konstruktionsskizze konnte ein passender Edelstahlrundbogen gefunden werden. Der Rohrbogen ist nach der Bauart 2 gefertigt. Das heißt, dass der Biegeradius der neutralen Faser dem Durchmesser des Rohres entspricht. Die neutrale Faser ist in der 2D-Ansicht der Mittelpunkt des Bogens. Das heißt, dass der äußere Radius 94 mm beträgt. Das führte dazu, dass der Rohrbogen nicht in den Originaltrichter passte, da dieser nur eine Tiefe von etwa 85 mm besaß. Aus diesem Grund wurde aus dem unteren, aus Metall bestehenden Teil des Trichters (7), ca. 1 cm Material abgetragen. Die Konstruktionsskizze auf Seite 35 zeigt den genannten Sachverhalt.

Um den Rohrbogen mittig im Trichter zu fixieren und zu stabilisieren, entwarf man ein entsprechendes Bauteil, welches in der Abbildung (5) dargestellt ist. Diese Platte wurde durch

ein Metallbauunternehmen aus einem 4 mm starken Edelstahlblech geschnitten. Sie besteht aus einem Innenring (9), welcher einen Innendurchmesser von 63,5 mm aufweist. Mit diesem Ring wurde der Rohrbogen (8) verschweißt. Der Innenring weist eine Dicke von 22,5 mm auf. Der äußere Ring (10) besitzt einen Außendurchmesser von 275 mm und passt somit genau in den oberen Ring des Trichters (4), welcher eine Höhe von 1 cm aufweist. Die beiden Ringe sind mittels dreier Speichen (11) miteinander verbunden. Diese Speichen weisen am inneren Ring eine Stärke von 13,3 mm auf, diese nimmt aber bis zum äußeren Ring auf 30 mm zu. Geachtet wurde während des Konstruierens darauf, genügend Raum für den Düngerfluss zu schaffen, aber trotzdem ausreichend Stabilität bei einer hohen Pendelfrequenz zu gewährleisten. Die Speichen haben einen Überhang (12) über den äußeren Ring von 9 mm. Mittels dieses Überhangs wird die Platte (5) in die Trichterseitenwand eingelassen und ein Verdrehen durch die Pendelbewegung wird verhindert.

Damit an der Konstruktion keine Schäden entstehen, wurde der Rohrbogen an dem unteren Teil des Trichters fixiert. Dazu wurde aus einer 4 mm starken Edelstahlplatte ein Keil herausgetrennt. Dieser wurde auf der einen Seite an die Rundung des Rohrbogens angepasst, auf der anderen Seite wurde er an die Form des Trichters angepasst. Des Weiteren wurde im unteren Teil des Metalltrichters eine Nut getrennt, in der dieser Keil angebracht wurde. Anschließend wurden beide Seiten mit einer Schweißnaht fixiert.

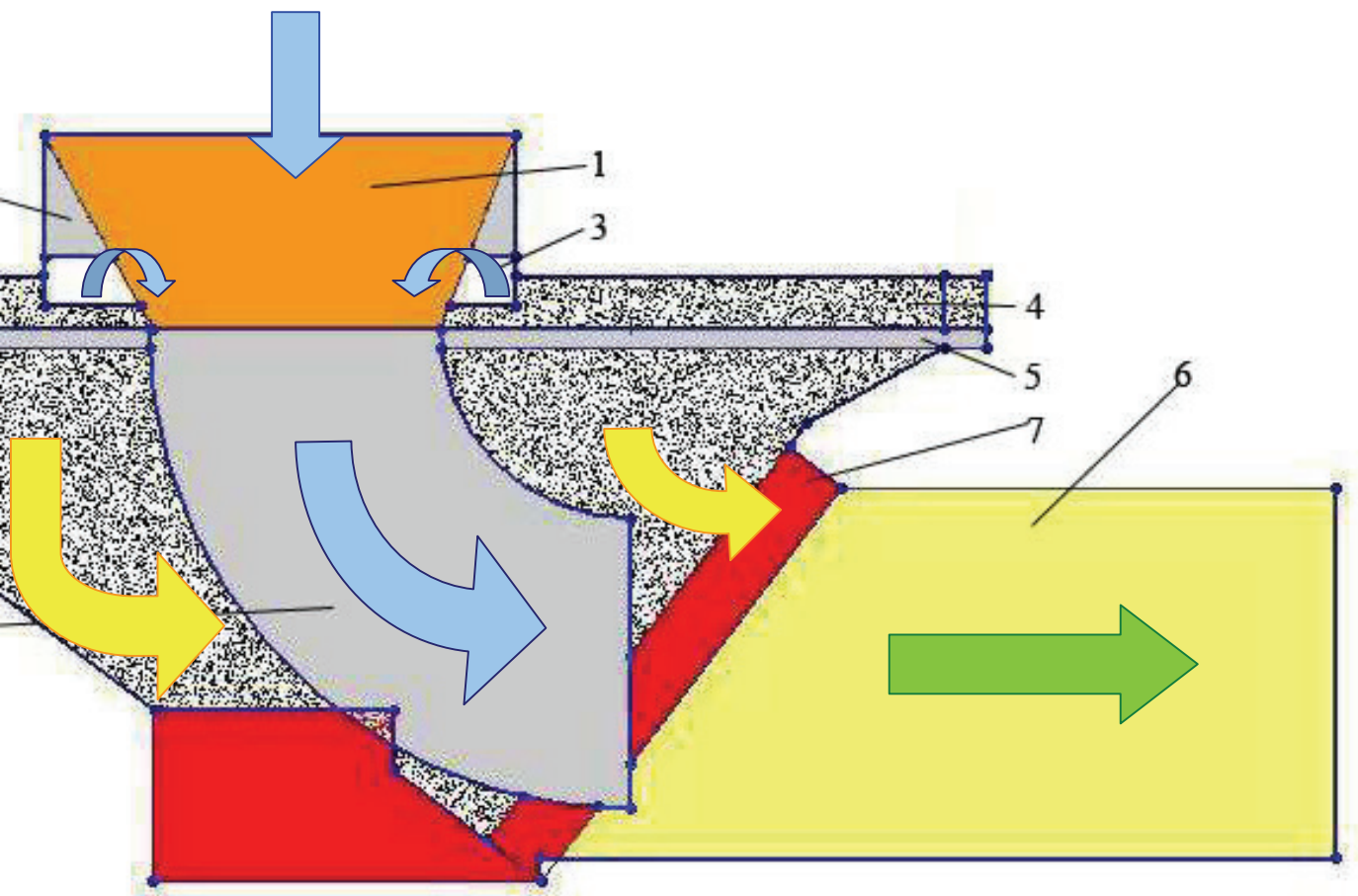
Die Luftzufuhr aus dem Radialgebläse erfolgt über das schon vorhandene Edelstahlrohr mit 100 mm Durchmesser. Dieses Rohr wurde unterhalb des Dosiermechanismus abgeschnitten, sodass zwischen dem Edelstahlrohr und der Stabilisationsplatte (5) noch 3 mm Platz waren. Als problematisch stellte sich der Übergabepunkt zwischen dem nicht beweglichen Zufuhrrohr und dem schwingenden Rohrbogen, welcher bündig mit der Stabilisationsplatte abschließt, heraus. Dieser Drehpunkt muss zum einen luftdicht sein, zum anderen muss er aber auch 1080 Schwingungen in der Minute ohne bedeutsamen Verschleiß überstehen. Hier wurde das Prinzip der Injektordüse genutzt. Diese ist im Pflanzenschutzbereich, aber auch in der Werkstattausrüstung, bekannt.

Im unteren Ende des Zufuhrrohres wurde eine Kunststoffscheibe (3) mit Metallkleber eingeklebt. Diese Kunststoffscheibe besitzt eine Dicke von 8 mm und wurde mit einer 70 mm großen runden Öffnung versehen. Außerdem wurde ein Kunststofftrichter (1) mit einem Außendurchmesser von 100 mm angeschafft. Dieser Kunststofftrichter wurde unten abgeschnitten, sodass der untere Teil des Trichters einen Durchmesser von 58 mm aufwies. Der Trichter steht ca. 5 mm über den Kunststoffeinsatz, sodass der Trichter ca. 2 mm in den Rohrbogen ragt. Zwischen der Innenwand des Rohrbogens und der Außenwand des Trichter ist ein

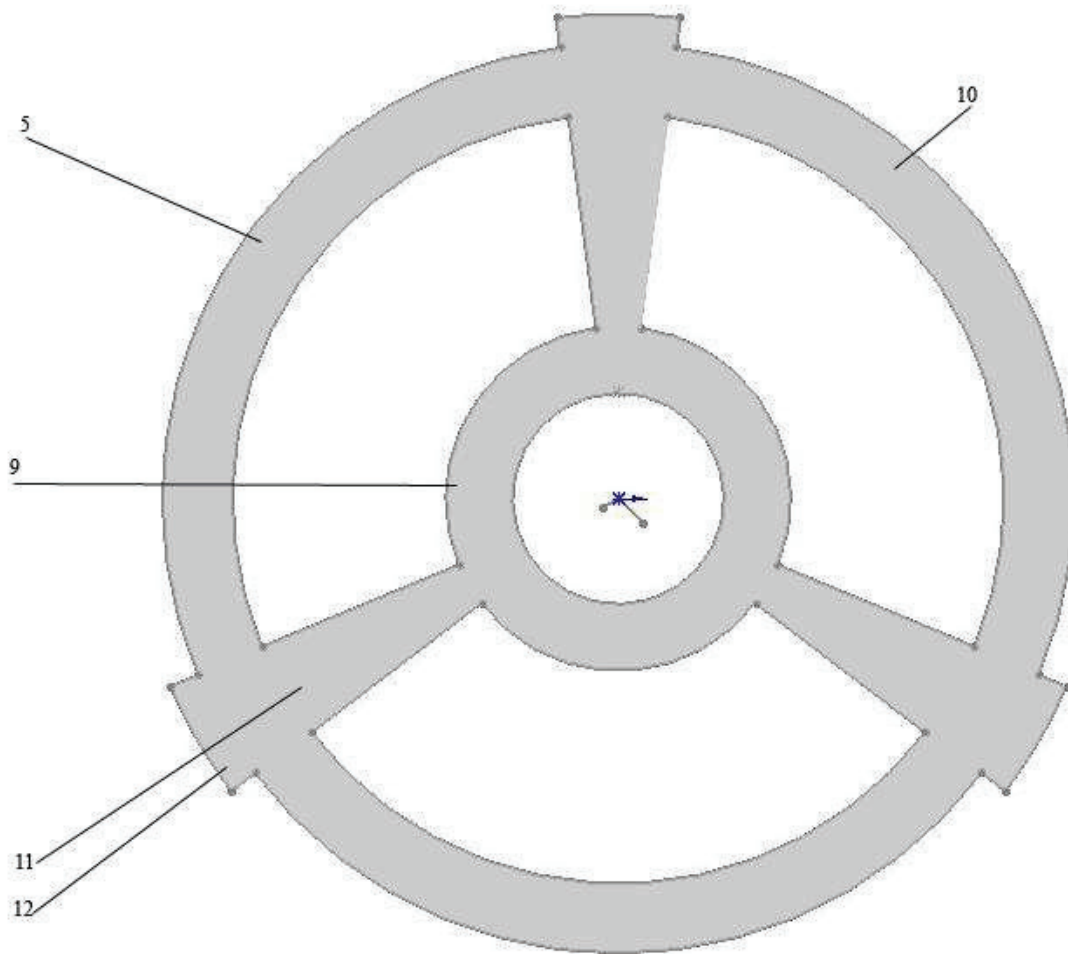
ca. 1 mm breiter Schlitz. Da die beiden Teile sich nicht berühren, kommt es auch nicht zu einem Verschleiß. Durch den Schlitz kann auch keine Luft verloren gehen, da durch den Sog des Luftstroms Außenluft angezogen wird. Hier kommt es also zu dem Injektoreffekt.

Test und Ergebnisse des neuen Streuers

Der Erfolg der Umbaumaßnahmen, die vorgenommen wurden, kann nur im Test überprüft werden. Grundsätzlich stehen für solche Tests zwar Strehallen- und Feldtests zur Verfügung, da aber die bereitstehenden Mittel begrenzt waren, beschränkte man sich auf einen Feldtest in Kooperation mit einem benachbarten Betrieb.




werks nach dem 2. Umbau




**Abbildung 6-4: Darstellung der Platte zur Stabilisation des Rohrbogens**

(Quelle: eigene Darstellung)

- |   |  |
|---|--|
| 1 Verjüngung des Zufuhrrohres                           | 7 Trichter Endstück aus Metall mit Verbindung<br>Zum Schwingungsmechanik |
| 2 Zufuhrrohr  | 8 Rohrbogen  |
| 3 Kunststoffeinsatz zur Stabilisation der<br>Verjüngung | 9 Innenring  |
| 4 Trichterendstück aus Kunststoff                       | 10 Außenring   |
| 5 Platte zur Stabilisation des Rohrbogens               | 11 Speichen  |
| 6 Pendelrohr  | 12 Speichenüberhang  |

 Strömungsrichtung der Luft

 Strömungsrichtung des Düngerkorns

## 7. Tests und Ergebnisse

Eine Überprüfung der Konstruktion ist nur möglich in dem man das Gerät möglichst Praxisnah einsetzt.

### 7.1. Durchführung des Feldtestes

Der Feldtest wurde mit Hilfe von 12 Prüfschalen durchgeführt. Für die Anordnung eines solchen Testes stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. So können z.B. 6 Prüfschalen hintereinander sowohl einmal mittig zwischen den Fahrgassen als auch in der Fahrgasse aufgestellt werden. Nachdem beide Fahrgassen abgefahren wurden, wird der Inhalt der Prüfschalen in einen Trichter gefüllt. Die Menge, die dabei mittig zwischen den Fahrgassen gemessen wurde, sollte sich leicht unter der Menge, die in der Fahrgasse erreicht wurde, bewegen. Dies ist auf die Höhe der Behälter zurückzuführen. (Amazone 2009) Ein solcher Feldtest eignet sich hervorragend, um die Arbeitsbreite des Streuers zu überprüfen. Er ist jedoch nicht ausreichend genau, um sich einen Überblick über die Verteilqualität zu verschaffen.

In dem schon erwähnten Projektseminar hat man die Verteilung geprüft, indem die Streuschalen auf 36 m verteilt wurden. Zwar kann man so eine Streukurve bei einer einzelnen Überfahrt erhalten, bei dem hiesigen Test hat man sich jedoch für eine andere Variante entschieden.

Dabei wurden die 12 Schalen in einem Abstand von 2 m aufgestellt, sodass die Schalen über eine Arbeitsbreite von 24 m verteilt waren. Des Weiteren wurden die Schalen zwischen zwei Fahrgassen aufgestellt. Die folgende Abbildung stellt den beschriebenen Sachverhalt dar.

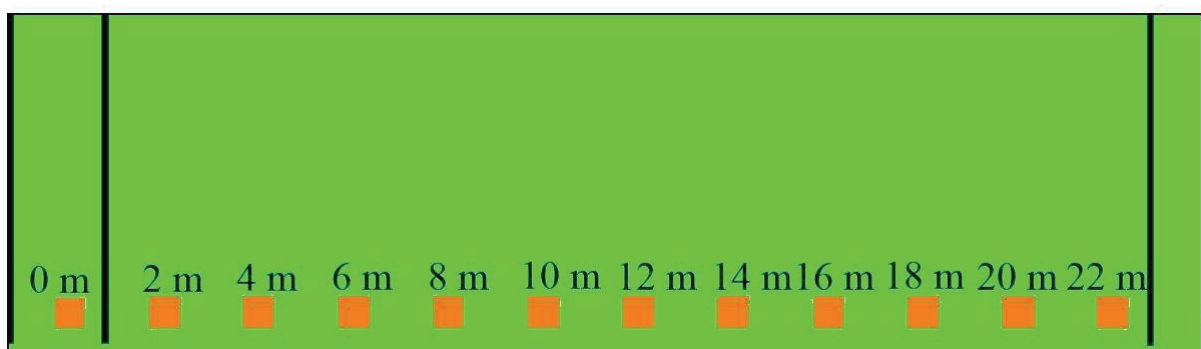


Abbildung 7-1: Anordnung der Streuschalen während des Feldversuches

(Quelle: eigene Darstellung)

Es wurde bewusst diese Aufteilung der Streuschalen gewählt, da sie am besten ein praxistaugliches Streubild wiedergeben kann. Während des Streuversuches wurde zweimal in gleicher Richtung über die Schalen mit einer Geschwindigkeit von 2,8 km/h gefahren, sodass sowohl die linke als auch die rechte Seite des Streubildes geprüft wurden. Ein mehrfaches Überfahren war deswegen notwendig, da nicht genügend Schalen zur Verfügung standen, um vier Schalen hintereinander aufstellen zu können. Es wurden vier unterschiedliche Tests durchgeführt:

0.- Versuch: Der Test erfolgte ohne Gebläseeinsatz, aber die Drehzahl der Zapfwelle wurde auf 750 U/min erhöht.

1.- Versuch: Das Gebläse wurde eingeschaltet. Am Pendelrohr wurden keine Veränderungen vorgenommen.

2.- Versuch: Das Gebläse wurde eingeschaltet, der Streubügel des Pendelrohres wurde abgebaut und außerdem wurden die beiden Schlitze am Ende des Pendelrohres mit Gewebekband verschlossen.

3.- Versuch: Das Gebläse wurde eingeschaltet, die Schlitze am Ende des Pendelrohres wurden verschlossen, der Streubügel aber wurde angebaut.

Die Versuche wurden auf einem Landwirtschaftsbetrieb in der Nähe von Neubrandenburg durchgeführt. Dabei waren die Bedingungen optimal, denn es wurde auf einer mit Mais bestellten umgebrochenen Niedermoorfläche gedüngt. Dabei war es nahezu windstill. Die Fläche war außerdem eben. Es musste nur darauf geachtet werden, dass auch die Prüfschalen möglichst eben auf den Boden gestellt wurden. Als Dünger empfahl sich aufgrund der guten Flugeigenschaften Kas. Zuvor jedoch wurde das Gebläse getestet, ohne dass das Pendelgetriebe in Bewegung gesetzt wurde. Dabei konnte man feststellen, dass aufgrund des Luftdrucks des Gebläses die Düngerkörner ca. 12 m weit geworfen wurden. Das heißt, dass der Luftdruck durchaus die Abwurfgeschwindigkeit des Düngerkorns ausreichend erhöhen könnte, um die Streubreite von 24 m zu erreichen.

## **7.2. Der 0. Versuch**

Bei dem 0. Versuch kamen die baulichen Veränderungen, die an dem Pendelstreuer durchgeführt wurden, nicht zum Tragen. Es wurde lediglich die Drehzahl um 210 U/min auf 750 U/min gesteigert. Ein Langzeiteinsatz mit dieser Drehzahl hätte jedoch maschinelle Schäden verursacht. Dieser Versuch wurde durchgeführt, um zu testen, ob eine weitere Erhöhung der Drehzahl auch eine Verbreiterung der Arbeitsbreite zufolge hätte. Die gleiche Methode zur

Arbeitsbreitenerweiterung wird nämlich auch von Vicon genutzt. Dabei wird durch eine Erhöhung der Drehzahl um 80 U/min die Wurfweite um ca. 2 m erweitert.

Die Ergebnisse dieses Versuches sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

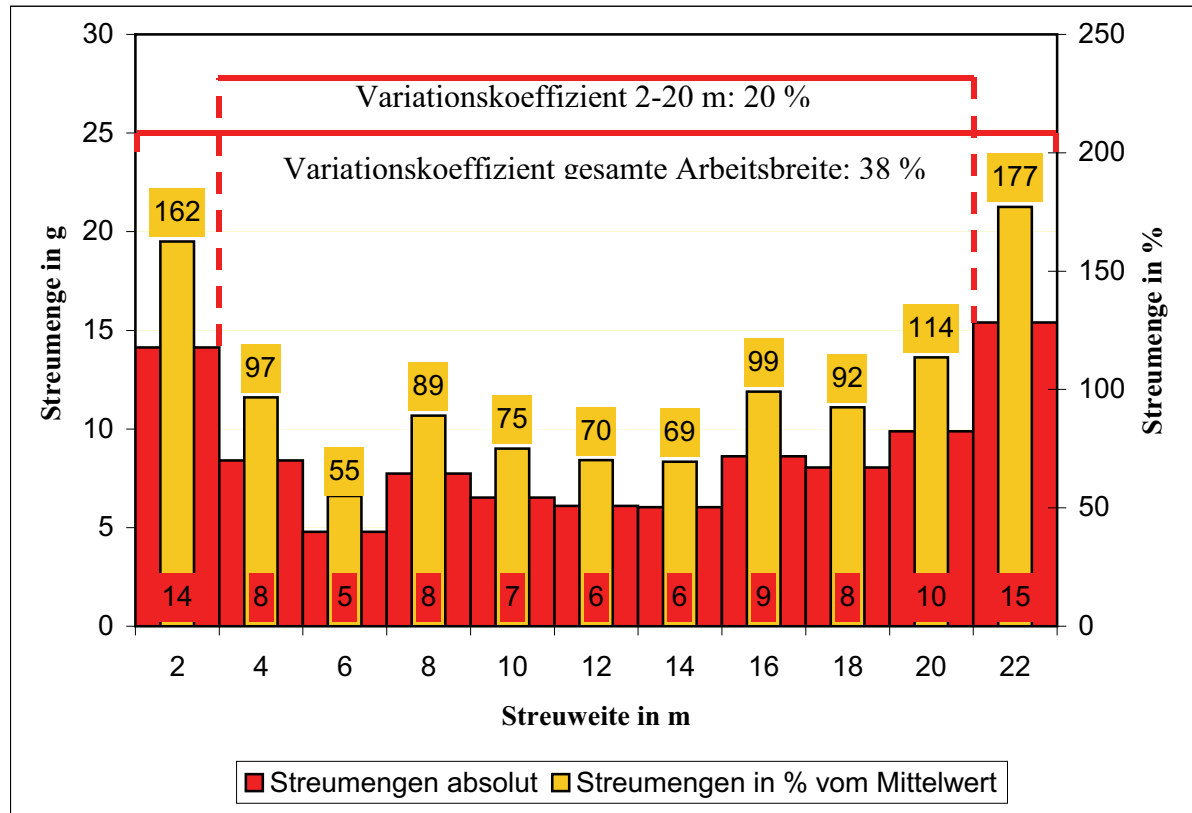


Abbildung 7-2: Streubild des 0. Versuches

(Quelle: eigene Darstellung)

Die grünen Säulen visualisieren die absoluten Streumengen in Gramm abhängig von der Streuweite, die orangen Säulen zeigen die Streumengen in Prozent vom Mittelwert an. Während des Streuveruches wurde ein Defekt am Düngerstreuer festgestellt, wobei Dünger am Trichter vorbei rieselte. Durch diesen Defekt kam es dazu, dass in der jeweils ersten Schale jedes Versuches eine Menge von ca. 120 g Kas vorhanden war. Da diese große Menge eindeutig auf den durch die Umbaumaßnahmen bedingten Defekt des Streuwerkes zurückzuführen war, wurden diese Schalen zwar in die Messung mit aufgenommen, spielten aber bei der Auswertung keine Rolle. So kann man zwar keine Aussage zu der Düngermenge in der Fahrgasse treffen, da aber die Priorität des Versuches darin lag die Streubreite zu überprüfen, ist dies vertretbar.

Die Menge an Dünger in den Streuschalen variiert im 0. Versuch zwischen 5 und 15 g. Es kommt damit zu einem Variationskoeffizient von 37 % über eine Arbeitsbreite von 22 m, da die erste Schale nicht mit aufgenommen wurde. Auffällig ist, dass jeweils die erste Schale



neben der Fahrgasse, also bei 2 und 22 m, den ca. zweifachen Inhalt der anderer Schalen aufweist. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Streumenge nach außen zunächst stark abfällt und dann relativ langsam weiter abnimmt. Mit der Ausnahme bei 6 m, nimmt die Düngermenge zur Mitte der beiden Spuren hin, also zwischen 10 und 14 m, nochmals ab. Das deutet darauf hin, dass die angestrebte Arbeitsbreite für diese Einstellung des Streuers zu groß bzw. dass auch mit einer Drehzahlerhöhung auf 750 U/min keine 24 m Arbeitsbreite erreicht werden können.

Es wurde auch der Variationskoeffizient zwischen 2 und 20 m berechnet, da durch eine Änderung des Streubügels eventuell die Mengen im Bereich der Fahrgasse noch zurückgenommen werden könnten. Deswegen werden die Ausreißerwerte im Streubildes ausgeblendet, also die Werte bei 0 und 22 m. Dadurch lag hier der Variationskoeffizient bei 20 %. Dieser ist also um 17 % niedriger als über die gesamte ausgewertete Arbeitsbreite, jedoch wiederum noch zu hoch für eine Anwendung dieser Einstellung in der Praxis. Festzuhalten bleibt, dass im 0. Versuch keine praxisrelevanten Lösungen für das Streuen auf einer Arbeitsbreite von 24 m mittels eines Pendelstreuers gefunden werden konnten.

### **7.3. Der 1. Versuch**

In diesem Versuch wurde mit dem Standardstreurohr und mit Hilfe der Druckluftunterstützung versucht die Streubreite zu erhöhen. Dieser Versuch wurde auch im vorhergehenden IPS durchgeführt, er kann also zum direkten Vergleich herangezogen werden. Im folgenden Diagramm wird das Ergebnis des Streutestes dargestellt.

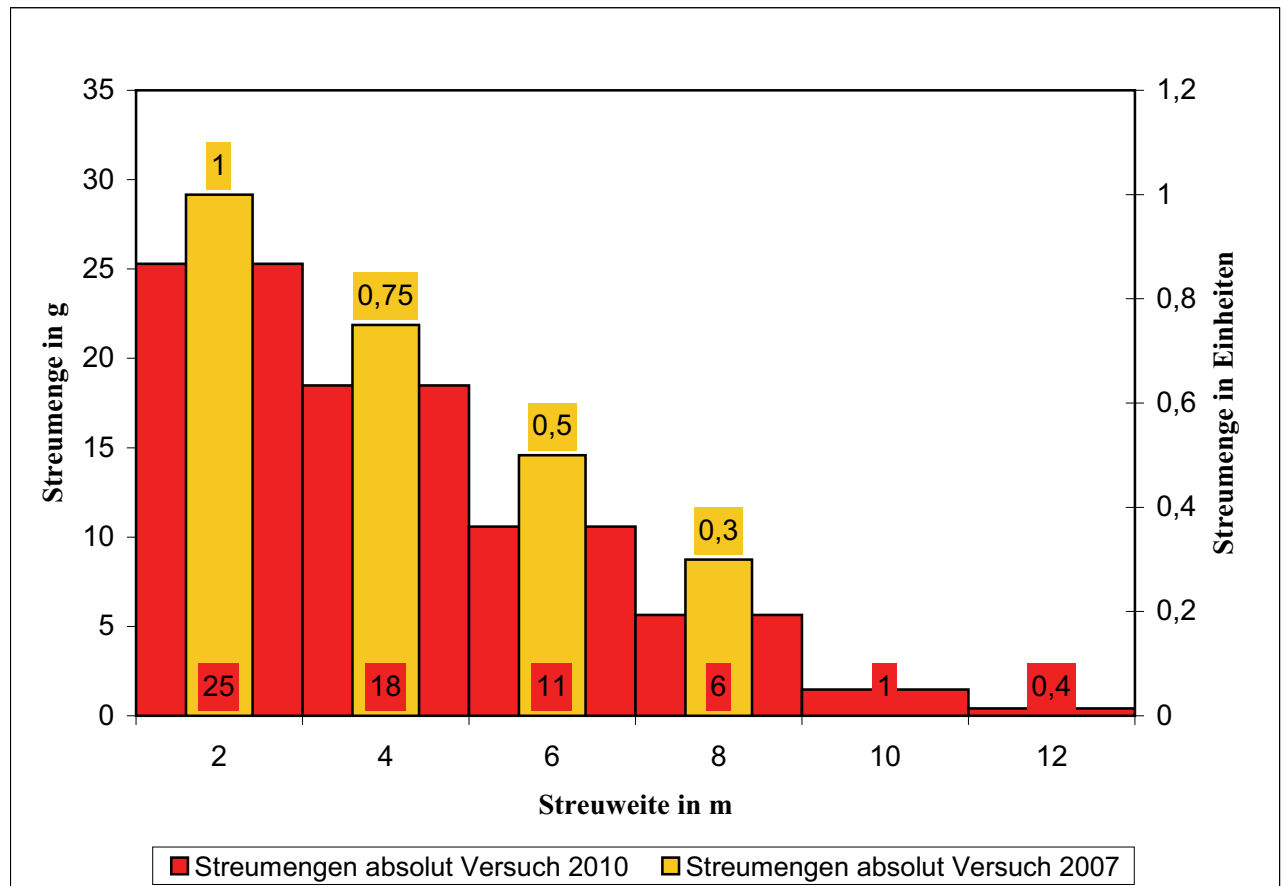


Abbildung 7-3: Streubilddiagramm des 1. Versuches

Quelle: eigene Darstellung

In dem Diagramm ist zum einen mit Hilfe der grünen Balken das Streuergebnis des neu umgebauten Streuers gezeigt. Dabei sind die Düngermengen in Gramm angegeben und auf der linken x-Achse skaliert. Die orangenen Balken zeigen die Werte des Streuers ohne direkte Lufteinleitung aus dem Jahre 2008, wie es im Kapitel 6.1 beschrieben wurde. Da die Auswertung der Düngermengen im Versuch mittels eines Messbechers geschehen ist, werden die Mengen in Einheiten angegeben. Der 1. Versuch wurde nicht wie die anderen Versuche komplett durchgeführt, sondern es wurde nur einseitig über die Auffangbehälter gefahren. Nachdem das Ergebnis dann besichtigt wurde, kam man zu dem Entschluss, dass eine Überfahrt auf der anderen Seite nicht nötig wäre, da der Versuch als gescheitert angesehen werden konnte. Es konnten nämlich nur Düngermengen in den ersten 7 Streuschalen nachgewiesen werden. Somit ergibt sich eine Wurfweite zur einen Seite von 12 m, was zu einer gesamten Wurfweite von 24 m führt und somit bei doppelter Überlappung zu einer Arbeitsbreite von 12 m. Im Vergleich zu den Versuchen im Jahre 2008 vergrößert sich somit die Arbeitsbreite um 4 m, bleibt aber immer noch unter dem von dem Hersteller angegebenen Wert von 14 m bzw.

15 m bei 620 U/min zurück. Aus dem Ergebnis kann geschlossen werden, dass das Einleiten von Druckluft in das Standardstreurohr nicht zu einer Arbeitsbreitenvergrößerung führt. Durch das Gebläse können aber die Düngerkörner eine Wurfweite von 12 m erreichen. Hierzu wurde jedoch das Ende des Pendelrohres verschlossen und der Streubügel abmontiert. Aus Kapitel 2 hat der Leser erfahren, dass das Streuwerk maximal in einem Winkel von  $54^\circ$  pendelt, d.h. es schlägt zu jeder Seite um  $27^\circ$  aus. Da die Düngerkörner durch die vom Gebläse ausgehende Kraft eine radiale Beschleunigung erfahren, ist die ursprüngliche Geschwindigkeitszusammensetzung aus Radial- und Bahngeschwindigkeit nicht mehr gegeben. Vielmehr erhöht sich die Radialgeschwindigkeit. Es ist jedoch zu klären, ob die Kraft, welche von dem Gebläse ausgeht, vollständig zur Abwurfgeschwindigkeit angerechnet werden kann, oder ob die in Abbildung 4-3 dargestellte Bahn des Düngerkorns sich verändert. Dies kann darin begründet sein, dass das Düngerkorn durch die höhere Anfangsgeschwindigkeit eine kürzere Verweilzeit in dem Pendelrohr hat. Dadurch verringert sich die Zahl der Pendelbewegungen, bei denen das Düngerkorn sich im Pendelrohr befindet und dadurch kann es dazu kommen, dass die radiale Geschwindigkeitskomponente verringert wird. Des Weiteren kommt noch hinzu, dass durch den Winkel des Pendelrohres von  $27^\circ$  der Luftstrom nur in einem  $27^\circ$  Winkel wirkt, wobei der optimale Winkel bei  $90^\circ$  liegt. Also muss das Düngerkorn in seiner Richtung abgelenkt werden. Es ist jedoch noch zu klären, ob der Streubügel dazu beiträgt oder nicht.

#### **7.4. Der 2. Versuch**

Ziel des Versuches war es vor allem die Wirkung des Streubügels sowie die der rechteckigen Schlitze am Ende des Pendelrohres zu beurteilen. Da Vicon eine Vielzahl von Streubügeln für die unterschiedlichsten Aufgaben anbietet, ist davon auszugehen, dass diesem eine wichtige Rolle für ein symmetrisches Streubild zukommt.

Für diesen Versuch wurde deswegen der Streubügel abmontiert und die Schlitze am Ende des Streurohres mit Gewebeklebeband abgeklebt. Dadurch wird sichergestellt, dass es am Ende des Streurohres nicht zu Luftverwirbelungen kommt bzw. zu einem Druckverlust. Mit den geschlossenen Luftschlitzen stellt das Streurohr nämlich eine durchgängige Röhre dar. Zu klären ist, ob durch das Wegfallen des Bügels mehr Dünger nach außen geworfen wird. Es wird vermutet, dass der Streubügel vor allem dazu führt, dass Düngerkörner abgebremst und besser verteilt werden, aber auch die Arbeitsbreite verringert wird. Die Ergebnisse des 2. Versuches werden in der folgenden Darstellung gezeigt.

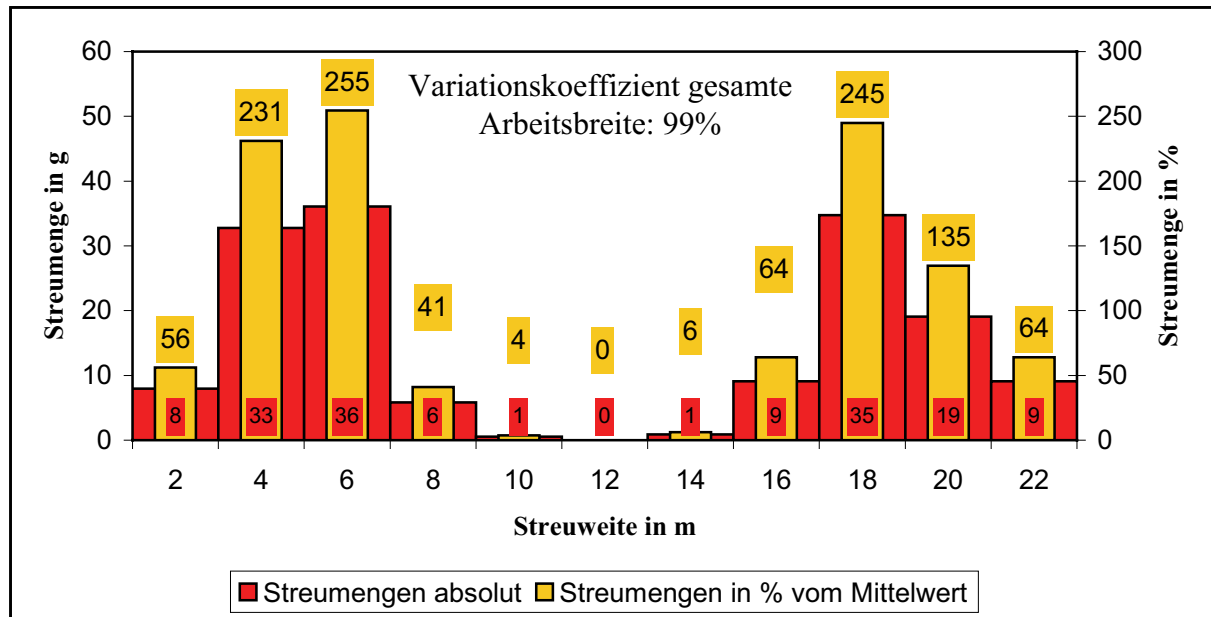


Abbildung 7-4: Streubildendiagramm des 2. Versuches

(Quelle: eigene Darstellung)

Die orangenen Balken stellen die Streumengen in Prozent dar, ihre Skale befindet sich auf der sekundären y-Achse. Die grünen Werte stellen die Streuergebnisse in Gramm dar, diese sind auf der primären y-Achse skaliert. In diesem Versuch wurde, wie auch schon im 0. Versuch, in beiden Richtungen über die Streuschalen gestreut.

Es wird deutlich, dass der Streuer keine Arbeitsbreite von 24 m erreicht hat. Die Berechnung des Variationskoeffizienten über die Arbeitsbreite von 2 bis 22 m ergab einen Wert von 99%. Es ist weiterhin auch gut zu erkennen, dass zuerst die Streumenge bis zu einer Wurfweite von 6 m ansteigt. Hier beträgt der Streuschaleninhalt das bis zu 2,5fache der durchschnittlichen Menge. Danach fällt die Streukurve wieder. Mittig zwischen den Fahrgassen, das heißt bei 12 m, kommt kein Dünger mehr an. Deswegen kommt es auch nicht zu einer doppelten Überlappung der Streudreiecke und dies führt unter anderem auch zu der schlechten Verteilqualität. Aus diesem Test lassen sich auch Rückschlüsse auf die Arbeit des Streubügels ziehen. So kann man davon ausgehen, dass der Streubügel, wie auch schon vermutet, für eine höhere Ausbringmenge im Innenbereich des Streubildes verantwortlich ist. Die Rolle der Schlitze ist jedoch in diesem Zusammenhang noch nicht geklärt. Es ist davon auszugehen, dass sie auch einen Anteil an der typischen gleichmäßigen Düngerverteilung haben. Wenn die Düngerkörner frühzeitig aus dem Pendelrohr austreten, was durch die Öffnungen geschehen kann, werden sie auch weniger stark beschleunigt und folglich weniger weit geworfen.

### 7.5. Der 3. Versuch.

In diesem Versuch wurde nun der Streubügel wieder montiert, deswegen kann man nun mit Hilfe der letzten drei Versuche auch feststellen, welchen Einfluss der Streubügel und Schlitze am Ende des Pendelrohres haben. Der Test wurde wie in den vorherigen Versuchen angelegt, so können die Ergebnisse verglichen werden. Dieser Test führte zu dem folgenden Ergebnis.

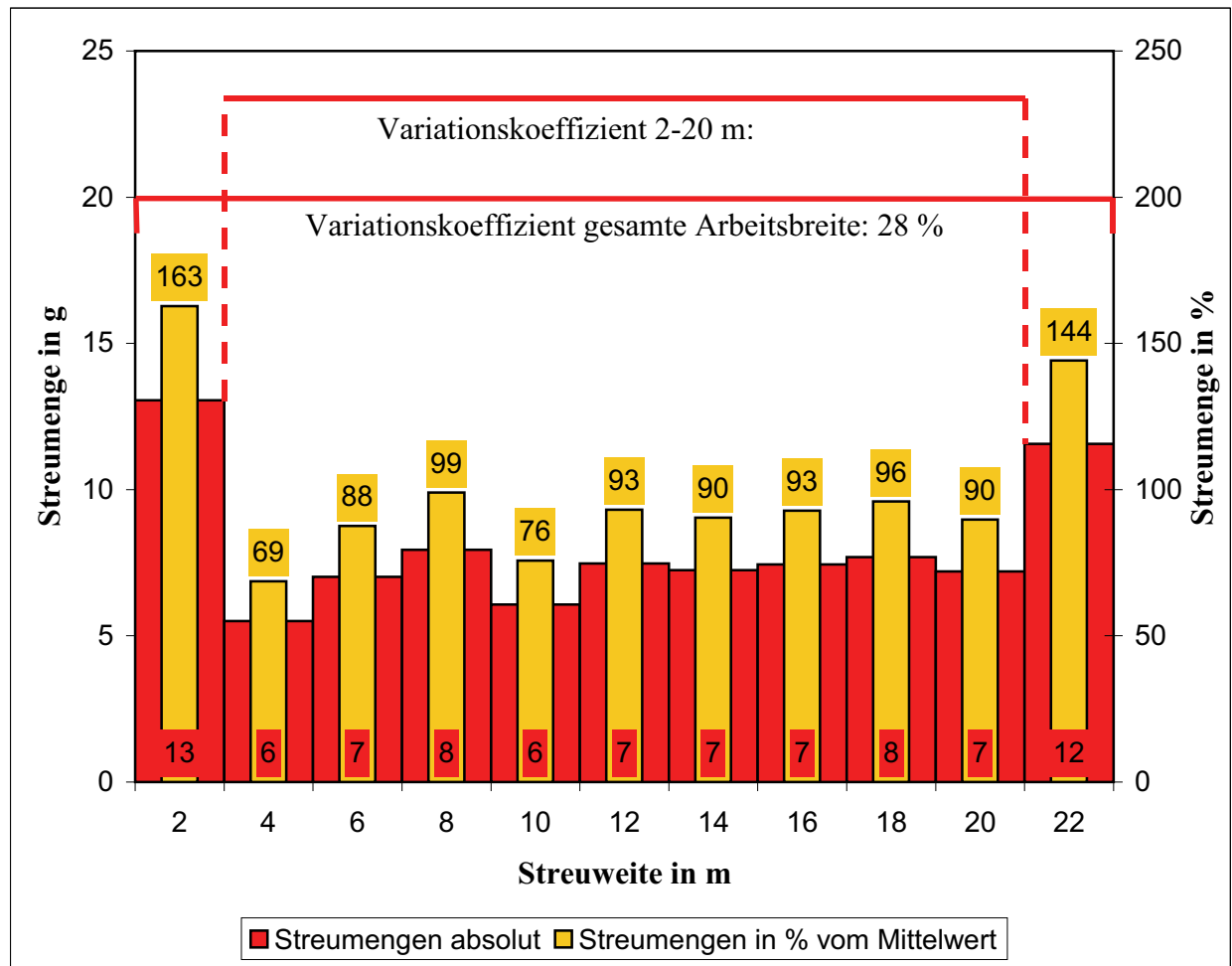


Abbildung 7-5: Streubildendiagramm des 3. Versuches

(Quelle: eigene Darstellung)

Wie auch in den bisherigen Abbildungen, sind die absoluten Streumengen in grüner Farbe dargestellt und auf der primären y-Achse in Gramm skaliert. Die prozentualen Streumengen sind in orange dargestellt und auf der sekundären y-Achse skaliert. Ähnlichkeiten zum 0. Versuch werden aus der Abbildung erkennbar. So zeigt sich, dass die Auffangschalen neben den Fahrgassen ca. das Doppelte der durchschnittlichen Menge aufgenommen haben. Insgesamt bewegen sich die Düngermengen die in den Streuschalen aufgenommen wurden, zwischen 6 und 13 Gramm, wobei die Schaleninhalte zwischen 2 und 20 m Arbeitsbreite nur um

2 Gramm variieren. So ergibt sich auch ein Variationskoeffizient über die gesamte Arbeitsbreite von 28 %, was deutlich zu hoch ist. Blendet man die äußeren Schalen jedoch aus, so ergibt sich eine Variationskoeffizient von 11 %, was durchaus vertretbar ist, wobei 10 % „Gut“ wären.

Als Ergebnis des Versuches wird festgestellt, dass der Streubügel außer für eine höhere Düngermenge in der Nähe der Fahrgassen auch für eine höhere Düngermenge ab 8 m Streuweite in diesem Test verantwortlich ist. Des Weiteren kann man auch feststellen, dass die Schlitze und eine Streuweitenerhöhung mittels Druckluft nicht vereinbar sind

### 7.6. Abschließende Betrachtung der Versuchsergebnisse

Aus den Versuchen konnten einige Erkenntnisse gezogen werden, welche auch schon beschrieben wurden. Im Folgenden sollen die Ergebnisse noch einmal zusammengefasst und Schlussfolgerungen gezogen werden.

Zum besseren Vergleich wurden alle Ergebnisse nochmals in einem Diagramm abgebildet und hier folgend dargestellt.

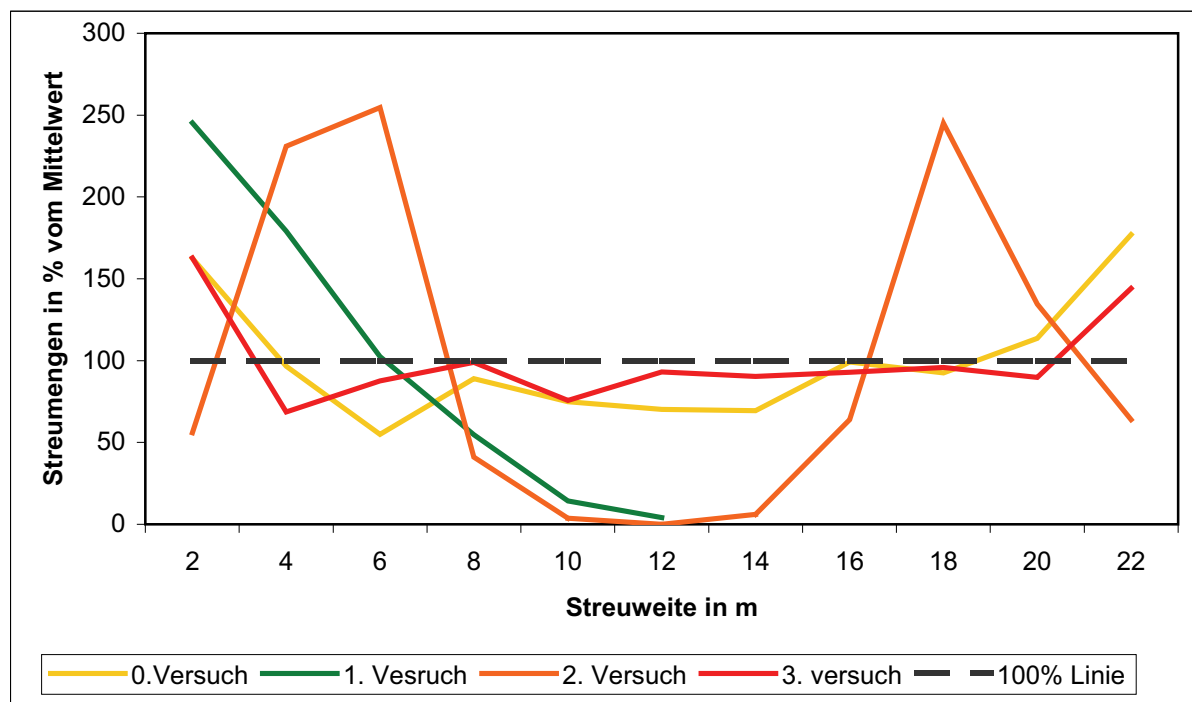


Abbildung 7-6: Übersicht über die Versuche

(Quelle: eigene Darstellung)

In diesem Diagramm wurden alle Werte der Versuche in % vom Mittelwert dargestellt. Das hat den Vorteil, dass im Gegensatz zu der Darstellung in Gramm die Werte vergleichbar sind.

Daraus folgt auch, dass die Kurven, die sich in der Nähe der 100%-Linie aufhalten, das gleichmäßigste Streubild hatten. In dem 0. Versuch und im 3. Versuch konnten Arbeitsbreitenerweiterungen festgestellt werden, wobei im 3. Versuch die Streuqualität um einiges besser war. Der Variationskoeffizient unterschied sich um 9 Prozentpunkte. Jedoch ist der Streuer noch nicht in der Praxis einsetzbar, vor allem bezüglich der Verteilqualität müssen noch einige Verbesserungen vorgenommen werden. Ein Problem stellt hier das Streurohr dar, welches wahrscheinlich anders konzipiert werden muss. So müssen die Schlitze am Ende des Streurohres entfernt werden. Da diese aber eine wichtige Rolle bei der Verteilung des Streugutes haben, muss dann der Streubügel anders konzipiert werden, sodass dieser die Aufgaben der Schlitze übernehmen kann. Auffällig ist jedoch, dass die Verteilung der Düngemittel im 0. Versuch der Verteilung im 3. Versuch sehr ähnlich ist. Auch was die Mehrmenge an den Seitenrändern betrifft ähneln sich die Versuche. Dabei handelt es sich im 0. Versuch aber um den Versuch ohne Einsatz des Gebläses. Dies deutet darauf hin, dass die ungleiche Düngierzufuhr durch die Größe des Einsatzes auch eine Rolle bei der ungleichmäßigen Verteilung spielt. Des Weiteren ist auch noch festzuhalten, dass die Zusammensetzung der Kräfte, die auf das Streugut einwirken, anders ist, als bei dem normalen Streuwerk. Dass die Streubreite trotzdem erhöht wurde, ist wohl vor allem auf den Streubügel zurückzuführen, der die Kraft umgelenkt hat.

## 8. Fazit

Es kann im Allgemeinen ein positives Resümee gezogen werden. Aus der Arbeit wird deutlich, welche Vorteile ein Pendelstreuer gegenüber den gängigen Schleuderstreuern hat. Jedoch wird durch die Rationalisierung der Landwirtschaft und die damit einhergehende Arbeitsbreitenvergrößerung bei Dünge- und Pflanzenschutzgeräten kaum mehr eine Maschine dieser Art in Ackerbaubetrieben genutzt. Aus diesem Grund werden vor allem in Grünlandregionen und auf klein strukturierten Betrieben Pendelstreuer eingesetzt. Nichts desto trotz haben Pendelstreuer eine Reihe Bauart bedingter Vorteile. Auch diese Vorteile haben dafür gesorgt, dass es schon einige Untersuchungen zu der Thematik gegeben hat. Zwar führten solche Untersuchungen auch zu Patentanmeldungen, jedoch wurde bisher kein Pendelrohrstreuer mit einer Arbeitsbreite von über 24 m gebaut.

Aus den dargelegten Versuchen wird aber deutlich, dass eine Erweiterung der Streuweite in zwei Versuchen gelungen ist, wobei hier nur in einem Fall das Gebläse betätigt wurde.

Für einen Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis müssen jedoch noch einige Veränderungen am Streuorgan vorgenommen werden. Außerdem müssten bei der weiteren Forschung auf diesem Gebiet Hallenstreutests durchgeführt werden. Nur mit Hilfe solcher Tests kann letztendlich entschieden werden, ob das Streuwerk auch größer dimensioniert werden muss, da durch den Einsatz des Gebläses der Düngerfluss behindert wird.

Jedoch bietet ein solches Gebläse natürlich auch Vorteile bezüglich der Veränderung der Verteilbreite. Für den Praxiseinsatz müsste dennoch ein anders konzipiertes Gebläse eingebaut werden, welches dann auch mechanisch angetrieben werden muss, damit ältere und schwächer motorisierte Traktoren für diesen Streuer in Betracht kommen. Nicht zuletzt auch wegen der schonenden Behandlung des Düngergutes könnte ein Pendelstreuer, der eine Arbeitsbreite von  $24\text{ m} + X$  hat, eine interessante Alternative zu einem Schleuderstreuer sein. Es muss dann aber sichergestellt werden, dass keine der vielen Einsatzmöglichkeiten durch ein Zusatzgebläse wegfällt.



## Quellenverzeichnis

### Literaturquellen

**Bahasoean, A.A./ Brouns, J.J.J.:** Het vergroten van de Werpbreedte van Pendelstrooiers. In: I-twee werktuigbouwkunde 3 (1988) Nr 3, S63-68

**Brandt, M. /Köhn, K.M./ Traube, N.:**Pneumatischer Pendelrohrstreuer, 2008, IPS- Bericht, Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften, Hochschule Neubrandenburg

**Dreyer, H. / Holtkamp, G.:** Offenlegungsschrift DE 3535702 A1.Bundes Druckerei (1985) S.6-11

**DLZ.:** Streufehler bei Seitenwind. In: DLZ Agrarmagazin(2006) Nr. 10, S 64-70

**Eichorn, H.:** **Landtechnik.** 7. Aufl.; Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 1999, S.185 f

**Heyde, H./ Kühn G.:** Landmaschinenlehre. 4 Aufl.; Berlin: VEB Verlag Technik,1978, S.84-90, Band 2.

**Klapp, E.:** Theorie der Verteilung von Feststoffteilchen mittels Schleuderscheiben. In: Forschung im Ingenieurwesen 31 (1965) Nr. 3, S. 83-86

**o.V.:** Betriebsanleitung Vicon Pendelstreuer Typ 601 1654.Kverneland BV Nieuw Vennepe, 2002.

**o.V.:** Streuprofi Pendel-Düngerstreuer. Prospekt Kverneland BV Nieuw Vennepe (2009), S1-10

### Internetquellen

**o.V.:** Europäischer Prüfbericht, Anbau-Zweischeibenstreuer-Düngerstreuer Vicon RS-C. 1999. Online im Internet. URL. <http://www.dlg-test.de/pbdocs/entam13.pdf> .

**o.V.:** Fehlerhafte Düngerverteilung bringt große Verluste - Ein Praxisbericht aus 2009. 01.2010. Online im Internet. URL: <http://www.incona.de/files/newsletter.php?id=304> (Stand 5.03.2010)

**o.V.:** Mit Nutramon-Kas gezielt und präzise düngen. ohne Datum. Online im Internet. URL: [http://www.dsm.com/de\\_DE/html/agro/Nutramon\\_Spreadingproperties.htm?DCSext.src=search](http://www.dsm.com/de_DE/html/agro/Nutramon_Spreadingproperties.htm?DCSext.src=search) (Stand 5.03.2009)

**o.V.:** Amazone Betriebsanleitung mobiler Prüfstand. 03.2009. Online im Internet. URL: <http://et.amazone.de/files/pdf/mg2951.pdf>(Stand05.07.2010)

### Ergebnisse und weitere Berechnungen der Versuche

	0 Versuch		1. versuch		2. Versuch		3. Versuch	
	in g	in %	in g	in %	in g	In %	in g	in %
0	184,46		194,16		234,02		55,65	
2	14,13	162,48	25,30	245,23	7,94	56,00	13,05	162,77
4	8,41	96,71	18,49	179,22	32,76	231,06	5,50	68,60
6	4,78	54,97	10,58	102,55	36,09	254,55	7,02	87,56
8	7,74	89,00	5,64	54,67	5,81	40,98	7,94	99,04
10	6,52	74,97	1,47	14,25	0,52	3,67	6,07	75,71
12	6,10	70,14	0,42	4,07	0,00	0,00	7,47	93,17
14	6,04	69,45			0,87	6,14	7,25	90,43
16	8,62	99,12			9,07	63,97	7,44	92,80
18	8,04	92,45			34,73	244,95	7,69	95,92
20	9,88	113,61			19,09	134,64	7,20	89,81
22	15,40	177,09			9,08	64,04	11,56	144,19
	280,12		256,06		389,98		143,84	
	8,70	100,00	10,32		14,18	100,00	8,02	100,00
	3,18	36,56			14,13	99,69	2,26	28,17
		0,37				1,00	0,28	0,28
		36,56				99,69		28,17

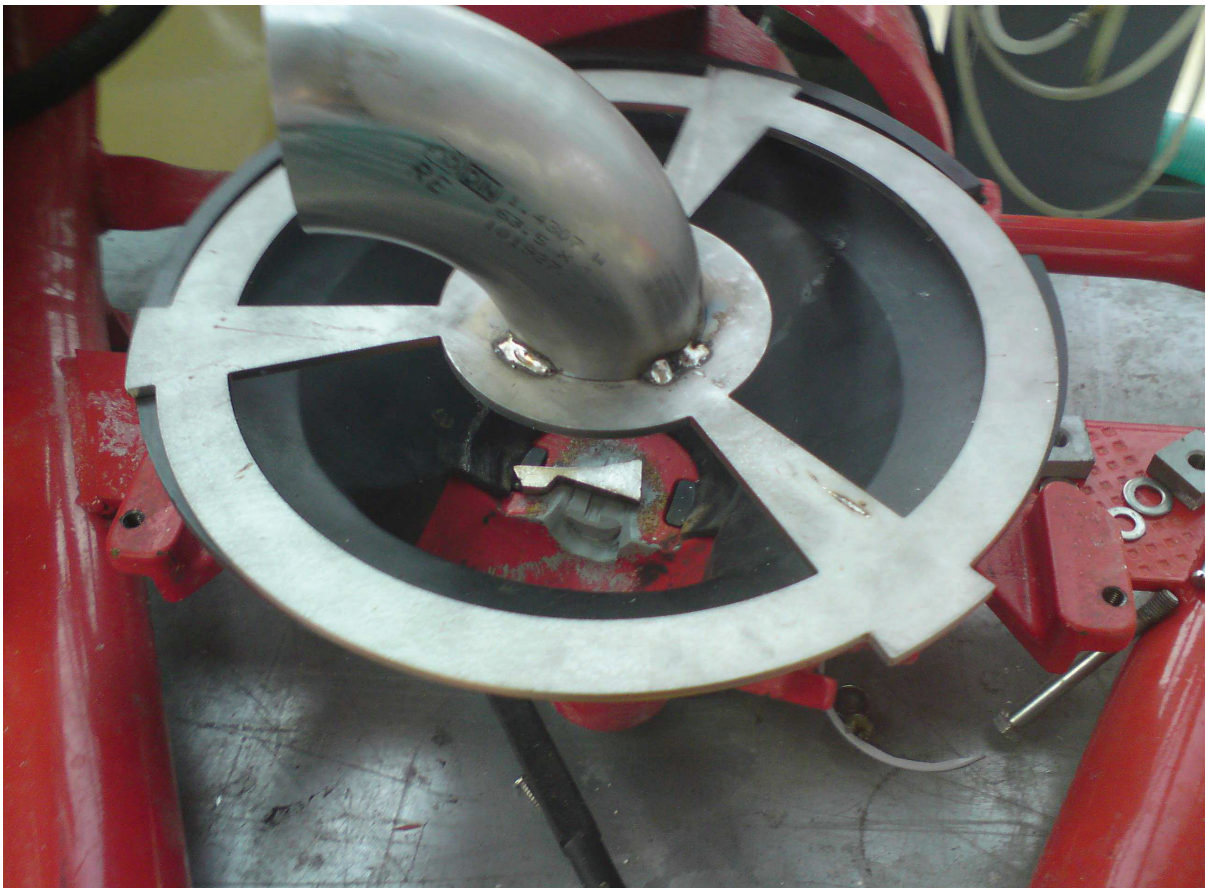
n)

**Berechnung Variationskoeffizienten 4-20 m 0. und 3. Versuch**

	0 Versuch		3. Versuch	
	in g	in %	in g	in %
0				
2				
4	8,41		114,46	5,50
6	4,78		65,05	7,02
8	7,74		105,34	7,94
10	6,52		88,73	6,07
12	6,10		83,02	7,47
14	6,04		82,20	7,25
16	8,62		117,31	7,44
18	8,04		109,42	7,69
20	9,88		134,46	7,20
22				
	66,13			63,58
	7,35	100,00		7,06
	1,50	20,46		0,79
		0,20		0,11
		20,46		11,14



Veränderte Dosiereinrichtung nach den Umbaumaßnahmen 2008 Quelle: eigene Darstellung



Rohrbogen mit Stabilisationsplatte bereit zur Endmontage. (Quelle: eigene Darstellung)



**Versuchsdurchführung 2010  
(Quelle: eigene Darstellung)**



**Abdichtung des Pendelrohres mit Gewebeklebeband, außerdem zusehen sind die überhöhten Düngermengen im Bereich der Fahrgasse. (Quelle: eigene Darstellung)**

**Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der ausgewiesenen Hilfsmittel angefertigt habe. Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach anderen gedruckten oder im Internet veröffentlichten Werken entnommen sind, habe ich durch genaue Quellenangaben kenntlich gemacht.

Stefan Engberink

Granzow Ausbau, 5. Juli 2010