

BSc thesis Agrotechnologie

Het ontwikkelen van een eenvoudige methode om de flow van kunstmest uit een kunstmeststrooier te voorspellen

Martijn de Jager

Maart 2011



WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN UR



Het ontwikkelen van een eenvoudige methode om de flow van kunstmest uit een kunstmeststrooier te voorspellen

Naam vak : Bachelorafsluiting Agrotechnologie
Vakcode : FTE-80812
Studiebelasting : 12 credits
Datum : Maart 2011

Student : Martijn de Jager
Registratienummer : 900305387020
Studieprogramma : BSc Agrotechnologie (BAT)

Begeleider(s) : Dr. Ir. J.W. Hofstee
Examinator : Prof. Dr. Ir. E.J. van Henten
Leerstoelgroep : Agrarische bedrijfstechnologie
Bornse Weilanden 9
6708 WG Wageningen
Tel: (0317) 48 2980
Fax: (0317) 48 4819
E_mail: office.fte@wur.nl



Voorwoord

Dit onderzoek is gedaan in het kader van mijn bachelorafsluiting van de opleiding Agrotechnologie. Het onderwerp is afkomstig van Kverneland Nieuw-Vennep. Ik heb het onderzoek grotendeels bij Kverneland uitgevoerd. Bij Kverneland in Nieuw-Vennep worden spuiten en kunstmeststrooiers gebouwd en ontwikkeld. Bij een kunstmeststrooier moet een afdraaioproef gedaan worden voordat begonnen kan worden met strooien. Kverneland wil graag een andere, eenvoudigere methode om te bepalen hoe de strooier ingesteld moet worden. Kverneland had dit onderzoek bij dhr. J.W. Hofstee neergelegd, die mij dit onderzoek heeft aangedragen voor mijn bachelorafsluiting.

Graag wil ik dhr. A. Wieringa en dhr. P.J. van der Marel van Kverneland bedanken dat ik mijn onderzoek bij Kverneland heb mogen uitvoeren. Zo heb ik gedurende mijn onderzoek kunnen zien hoe het er aan toe gaat bij een machinefabrikant.

Dhr. J.W. Hofstee wil ik graag bedanken voor de goede begeleiding tijdens het onderzoek.

Samenvatting

Bij de huidige kunstmeststrooiers van Kverneland zonder weeginrichting moet een afdraaiproef gedaan worden om te weten hoe de strooier ingesteld moet worden. Het nadeel van deze afdraaiproef is dat er met de strooier een bepaalde tijd gestrooid moet worden en deze kunstmest opgevangen en gewogen moet worden. Het probleem hierbij is dat de schoepen van de strooischotels verwijderd moeten. Vervolgens moet er een afdraaicontainer om de strooischotel geplaatst worden.

Ik heb literatuuronderzoek gedaan naar welke parameters van invloed zijn op de flow van kunstmest. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de eigenschappen van kunstmest en de eigenschappen van de kunstmeststrooier. Uit de literatuur blijkt dat de fractionering, de vorm, de vochtigheid, de menging en de dichtheid van de kunstmestkorrels invloed hebben op de flow. De vorm en opening van de doseeropening, de hellingshoek van de trechter en de zuigwerking van de schoepen zijn allen eigenschappen van de strooier die invloed hebben op de flow.

Bij Kverneland was van een aantal kunstmestsoorten de fractionering, de dichtheid en de flow door een zogenaamde labtrechter bepaald. Ook was met deze kunstmest een afdraaiproef gedaan. Vervolgens is er bepaald of er verband was tussen de eigenschappen en de afdraaiproef. De eigenschappen en de afdraaiproeven zijn door verschillende mensen op verschillende tijdstippen bepaald, zodoende waren deze gegevens onbetrouwbaar.

Vervolgens heb ik van acht verschillende granulaten de storthoek, de fractionering, de dichtheid en de flow door de labtrechter bepaald. Met deze kunstmest zijn ook afdraaiproeven gedaan voor de doseerstanden 36 tot en met 72.

Met SPSS is bepaald of er een verband is tussen de eigenschappen van de kunstmest en de bijbehorende afgifte. Hieruit bleek dat het mogelijk is om op twee manieren de afgifte te voorspellen. Voor het ene model moet de storthoek, de dichtheid en de flow door de labtrechter bepaald worden. Voor het andere model is het voldoende om de dichtheid en de flow door de labtrechter te bepalen. Ook blijkt dat het beter is om voor de doseerstanden 36, 54 en 72 een schatting te maken van de afgifte en vervolgens middels een kwadratische vergelijking de tussenliggende doseerstanden uit te rekenen.

Uiteindelijk is gebleken dat met het model waarbij de dichtheid en de flow door de labtrechter bepaald worden, de afgifte het nauwkeurigst voorspeld kan worden.

Omdat dit model de hoogste betrouwbaarheid heeft door dat er maar twee eigenschappen bepaald hoeven te worden. Ook is het met dit model mogelijk om met 95% nauwkeurigheid de afgifte te voorspellen. De afgifte bij de doseerstanden 36, 54 en 72 wordt als volgt berekend.

$$y_{36} = 14.26 \text{ Dichtheid} + 9.74 \text{ Flow} - 8.37$$

$$y_{54} = 64.94 \text{ Dichtheid} + 12.4 \text{ Flow} - 3.37$$

$$y_{72} = 193.31 \text{ Dichtheid} + 20.63 \text{ Flow} - 87.39$$

Hierbij is de dichtheid in kg/l, de flow door de labtrechter in kg/min en de afgifte in kg/min.

In vervolgonderzoek zal onderzocht moeten worden of dat het model op basis van de dichtheid en de flow door de labtrechter ook echt het beste model is. Dit komt doordat in dit onderzoek niet onderzocht is hoe betrouwbaar het model is onder verschillende weersomstandigheden, met verschillende kunstmesttypen en met verschillende strooiertypen. Ook zal het model moeten worden aangepast zodat bij alle doseerstanden een goede schatting van de afgifte gedaan kan worden.

Inhoudsopgave

Voorwoord	IV
Samenvatting.....	VI
Inhoudsopgave	VIII
1. Inleiding	1
1.1 Aanleiding tot het onderzoek	1
1.2 Gewenste situatie	1
1.2 Definitie van het probleem.....	1
1.3 Doel van het onderzoek.....	1
1.4 Onderzoeksvragen.....	2
1.5 Afbakening.....	2
1.6 Opbouw verslag	2
2. Theorie	3
2.1 Eigenschappen van kunstmest	3
2.2 Eigenschappen van de kunstmeststrooier	5
3. Materiaal en methode.....	7
3.1 Analyse kunstmest eigenschappen	7
3.2 Invloed van diameter.....	10
3.4 Statistische analyse	11
3.5 Kwadratische vergelijking	12
4. Resultaten en analyse	13
4.1 Invloed diameter	13
4.2 Eigenschappen acht granulaten	14
4.3 Afdraaiproeven acht granulaten	15
4.4 Modellen	16
4.4.1 Vijf doseerstanden.....	16
4.4.2 Doseerstanden 0-36-72.....	18
4.4.3 Doseerstanden 36-54-72.....	19
4.5 Flow door labtrechter	21
5. Discussie	23
6. Conclusie.....	25
7. Aanbeveling	27
8. Referenties	29
Bijlagen	i
Bijlage A	i
Bijlage B	viii

1. Inleiding

Voor boeren wordt het steeds belangrijker om hun werk snel, makkelijk en nauwkeurig uit te kunnen voeren. Dit geldt ook voor kunstmest strooien. Het is belangrijk dat de kunstmeststrooier vooraf goed wordt ingesteld, zodat de strooier de goede hoeveelheid kunstmest per hectare strooit.

Er zijn twee typen kunstmeststrooiers, de één met weeginrichting en de ander zonder weeginrichting. Bij de strooier waar een weeginrichting op zit wordt de gestrooide hoeveelheid continu bepaald en wordt de strooier zo nodig bijgesteld. Voor de strooiers waar geen weeginrichting op zit moet de strooier zo goed mogelijk worden ingesteld voor het strooien.

1.1 Aanleiding tot het onderzoek

Om een kunstmeststrooier zonder weeginrichting af te stellen moet een afdraaiproef uitgevoerd worden voor het strooien. Dit komt doordat de flow van kunstmest vanuit de strooier afhankelijk is van de fysische eigenschappen van kunstmest, maar ook van de weersomstandigheden.

Bij de huidige afdraaiproef wordt bepaald hoeveel kunstmest in een bepaalde tijd uit de strooier stroomt. De kunstmest wordt tijdens het strooien opgevangen in een bak. De inhoud van deze bak wordt gewogen en aan de hand van dit gewicht moet de kunstmeststrooier bijgesteld worden en daarna moet de afdraaiproef opnieuw uitgevoerd worden. Tijdens deze afdraaiproef dienen de schoepen van de kunstmeststrooier verwijderd te worden zodat de kunstmest in de bak terecht komt. Doordat de schoepen verwijderd moeten worden, wordt er tijdens de afdraaiproef ook niet hetzelfde gestrooid als in de praktijk. Mogelijk dat als de schoepen weer aan de strooier gemonteerd worden de flow van de kunstmest heel anders is als bepaald tijdens de afdraaiproef.

Deze afdraaiproef is een bewerkelijke methode, omdat het meerdere keren uitgevoerd moet worden tot de gewenste instellingen bereikt zijn.

1.2 Gewenste situatie

De gewenste situatie is dat de kunstmeststrooier goed ingesteld kan worden door van te voren een aantal eigenschappen van de kunstmest te bepalen. Met de eigenschappen van de kunstmest moet vervolgens de flow tijdens het strooien voorspeld worden

1.2 Definitie van het probleem

Het probleem is dat er geen simpele en nauwkeurige test is om de flow van kunstmest te bepalen, zodat bekend is op welke stand de kunstmeststrooier ingesteld dient te worden.

1.3 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om te bepalen of het mogelijk is om met een eenvoudige methode de flow van kunstmest te voorspellen, zodat bekend is hoe de strooier ingesteld moet worden zonder dat er meerdere keren een afdraaiproef uitgevoerd moet worden. Deze methode moet uiteindelijk toepasbaar zijn voor verschillende strooiertypen en voor alle te strooien producten. De methode dient nauwkeurig te zijn. Een nauwkeurigheid van 95% is minimaal vereist en liever een nauwkeurigheid van 97%.

1.4 Onderzoeksvragen

Voor dit onderzoek is de hoofdvraag:

- Is het mogelijk om met een eenvoudige methode de flow van kunstmest uit een Kverneland kunstmeststrooier te bepalen?

De volgende twee deelvragen zijn hieruit afgeleid:

- Van welke eigenschappen is de flow afhankelijk?
- Kun je met behulp van de eigenschappen van kunstmest de flow uit de strooier voorspellen?

1.5 Afbakening

Dit onderzoek richt zich op de kunstmeststrooiers zonder weeginrichting, omdat het bij deze strooiers belangrijk is dat ze van tevoren goed worden ingesteld.

Er zal voor één kunstmestgroep, namelijk granulaten, onderzocht worden wat het verband is tussen de eigenschappen van de kunstmest en de flow uit de strooier. Dit zal gedaan worden voor een beperkt aantal doseerstanden, omdat bij de laagste en de hoogste doseerstanden andere factoren van invloed zijn. Hierdoor zal het verband tussen de kunstmest eigenschappen en de flow te veel beïnvloedt worden. Ook zal het onderzoek onder constante weer- en omgevingsfactoren plaats vinden.

1.6 Opbouw verslag

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van welke parameters de flow uit de strooier afhankelijk is. Dit overzicht is opgedeeld in twee categorieën. In het eerste deel is uitgezocht van welke kunstmest eigenschappen de flow af zou kunnen hangen en in het tweede deel is uitgezocht welke onderdelen van de kunstmeststrooier invloed hebben op de flow.

In hoofdstuk 3 wordt beschreven hoe de verschillende delen van het onderzoek uitgevoerd zijn.

In hoofdstuk 4 worden de resultaten gegeven met een uitgebreide analyse/discussie. Uit deze analyse moet blijken hoe het volgende resultaat ontstaan is.

In hoofdstuk 5 vindt er discussie van de resultaten plaats.

In hoofdstuk 6 wordt de conclusie van het onderzoek gegeven. Hierbij wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvragen

In hoofdstuk 7 wordt een aanbeveling gedaan van wat nog onderzocht moet worden voordat het in de praktijk toegepast kan worden.

2. Theorie

De flow van de kunstmest uit een kunstmeststrooier is afhankelijk van vele factoren. De eigenschappen van de kunstmest, zoals de diameter, de hardheid, de hygroscopiciteit, de dichtheid en de uniformiteit van de korrels zijn van invloed op de flow. Deze eigenschappen zullen aan de hand van literatuur toegelicht worden in paragraaf 2.1 'Eigenschappen van kunstmest'.

Daarnaast is het ontwerp van de strooier van invloed op de flow van kunstmest. Hierbij moet gedacht worden aan de grootte en de vorm van de opening van de trechter. De hellingshoek van de trechter is ook van invloed op de flow. Daarnaast hebben de schoepen van een Kverneland kunstmeststrooier een zuigende werking. Deze eigenschappen zullen worden toegelicht in paragraaf 2.2 'Eigenschappen van de kunstmeststrooier'

2.1 Eigenschappen van kunstmest

Diameter van de korrels

De diameter van de korrels heeft een negatieve invloed op de flow. Dit betekent dat grotere korrels een lagere flow hebben door een even groot gat. Uit onderzoek (Kara, Hofstee;2000) is gebleken dat korrels van 4.00 mm diameter een 7% lagere flow geven dan korrels van 3.35 mm bij een bepaalde diameter van de opening. Dit heeft te maken met het feit dat er langs de randen van het gat openingetjes blijven als de stroom kunstmest erdoorheen gaat. Bij een grotere korreldiameter zijn deze openingen groter dan bij kleine korreldiameters.

Uniformiteit van de korrels

Met de uniformiteit van de korrels wordt bedoeld hoe groot de standaardafwijking van de korreldiameter is. Heb je te maken met een uniforme kunstmest dan heb je veel kunstmest met ongeveer dezelfde korreldiameter. Dit betekent dat de flow redelijk constant is. Maar als je te maken hebt met kunstmest met een ruime fractionering dan heb je te maken met ontmenging van kunstmest door transport, opslag en tijdens het gebruik. Dit gebeurt ook bij het vullen van de kunstmeststrooier. De grotere korrels rollen makkelijker naar de buitenkant dan de fijnere korrels. Bij het strooien zakt de kunstmest in het midden boven de opening het eerste waardoor er een soort kegel ontstaat voordat de kunstmest vanaf de zijkanten ook gaat zakken. Hierdoor heb je aan het begin van het strooien gemiddeld een iets lagere korreldiameter dan als de bunker verder leeg is. (Dipankar;1989).

Dit fenomeen ontstaat ook als je een blend van verschillende meststoffen strooit. De ene meststof rolt en zakt veel makkelijker dan een andere. Hierdoor varieert de flow veel meer. Maar daarnaast komt er ook geen egale samenstelling van de kunstmest uit de strooier en dit is niet optimaal voor het gewas (Arjan Wieringa, persoonlijke mededeling 26-1-2011)

Vorm van de korrels

De vorm van de korrels heeft ook invloed op de flow. Sommige kunstmestsoorten hebben een glad oppervlak en zijn rond, terwijl andere een ruw en hoekig oppervlak hebben. De korrels met een glad en rond oppervlak ondervinden ten opzichte van elkaar veel minder wrijving. Hierdoor zal de flow groter zijn dan bij een kunstmestsoort met een ruw en hoekig oppervlak met veel onderlinge wrijving.

Hard worden van kunstmest in opslag

Bepaalde soorten kunstmest worden hard in de opslag. Dit komt door de eigenschappen van de kunstmest en de aanwezigheid van vocht. Maar ook als er geen vocht in de buurt is worden bepaalde soorten kunstmest hard in de loop van de tijd. Sommige soorten worden door het verdere verwerken weer zacht. Er zijn ook soorten kunstmest die niet meer zacht worden door het verdere verwerken (Dipanker;1989). In deze kunstmest kunnen kluitjes blijven zitten en als er dan gestrooid gaat worden heeft dit ook invloed op de flow vanuit de kunstmeststrooier.

Hygroscopiciteit

Als je kunstmest hebt die hygroscopisch is dan betekent dit dat de kunstmest gemakkelijk vocht op kan nemen. Licht hygroscopische kunstmest zal alleen bij een hogere luchtvochtigheid vocht opnemen. Als kunstmest zeer hygroscopisch is dan neemt hij heel gemakkelijk vocht op onder alle omstandigheden. Als kunstmest vochtig wordt dan stroomt hij moeilijker en hierdoor wordt de flow lager. Als de kunstmest heel vochtig wordt en de opening waar de kunstmest doorheen stroomt niet zo groot is, dan komt de kunstmest niet door de opening heen (Dipankar;1989), (Kara, Hofstee;2000).

Dichtheid

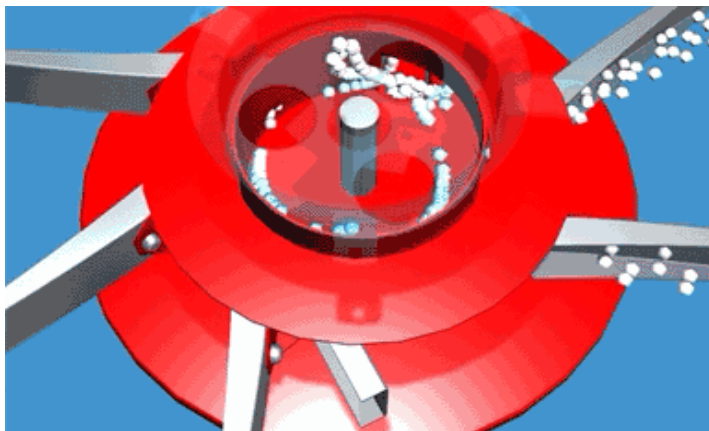
De dichtheid van kunstmest is niet afhankelijk van de fractionering. Een hogere dichtheid zorgt wel voor een hogere flow in kg/min. Dit komt simpelweg doordat er meer kg in een liter gaan. Als de kunstmest in elkaar trilt tijdens het transport dan zal de dichtheid ook iets toenemen maar stroomt de kunstmest juist weer moeilijker (Dipankar;1989)

2.2 Eigenschappen van de kunstmeststrooier

Zuigwerking van de schoepen

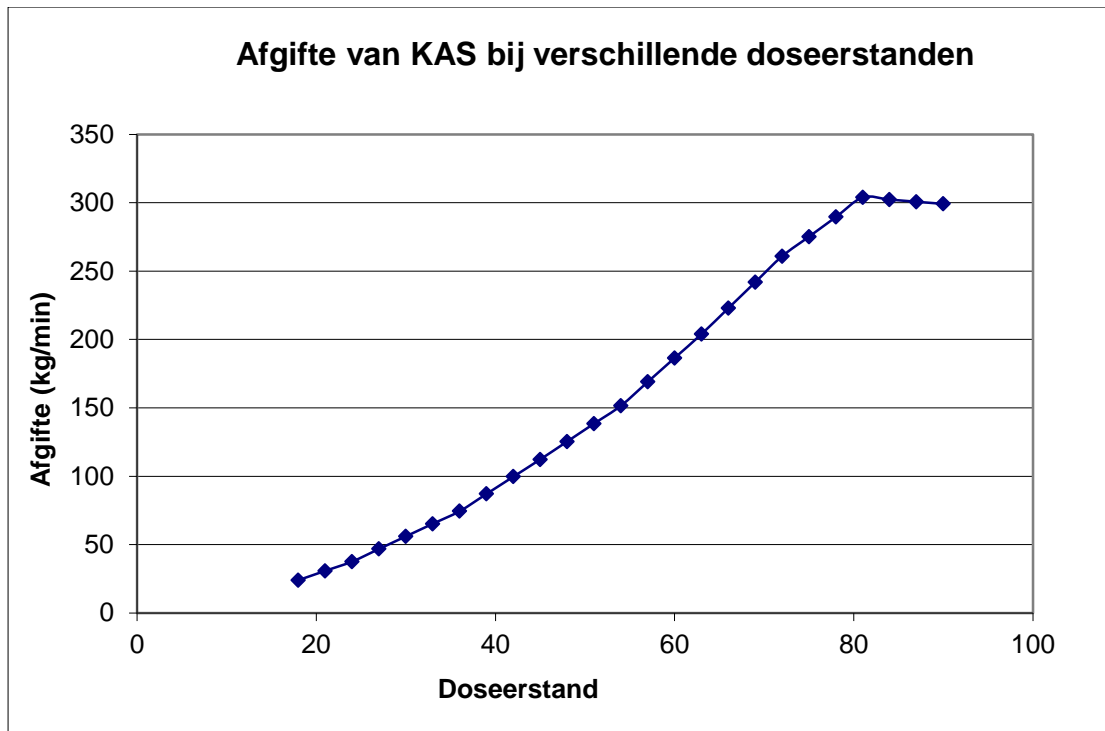
De Kverneland strooiers zijn uitgerust met het zogenaamde RotaFlow principe. Dit betekent dat de kunstmestkorrels in een ronddraaiende beweging van het hart van de strooischijf naar de schoepen stromen. De korrels stromen door een zogenaamde timingbus. Dit is een bus met een gat erin waardoor de kunstmest het hart van de strooischijf kan verlaten en op de schoepen terecht komt. Met deze timingbus is de plaats waar de kunstmest op de schoepen terecht komt af te stellen. Hiermee kun je de breedteverdeling aanpassen.

Dit RotaFlow principe zorgt voor een bepaalde zuigende werking van de schoepen, hierdoor ontstaat er een werveling in het hart van de timingbus en dit zorgt voor een zuigende werking door de doseeropeningen. Hierdoor wordt de kunstmest als het ware 'aangezogen'. De opbouw van dit principe is te zien in figuur 2.1.



Figuur 2.1 Het RotaFlow principe

Voor een optimale breedteverdeling wordt er bij Kverneland kunstmeststrooiers gewerkt met verschillende toerentallen. Een hoog toerental zorgt voor een grotere zuigwerking dan een laag toerental. Bij heel hoge doseerstanden (hoge afgifte) komt er zoveel kunstmest uit de trechter dat niet de doseeropening maar de opening van de timingbus beperkend is voor de afgifte. Dit is te zien in de afgifte curve van de strooier in grafiek 2.1. In deze grafiek is ook te zien dat vanaf doseerstand 80 de afgifte niet meer toeneemt. Dit komt doordat vanaf doseerstand 80 niet de doseeropening de beperkende factor is, maar de grootte van de opening van de timingbus.



Grafiek 2.1 De afgiftecurve van KAS van een Vicon RO-XL kunstmeststrooier

Hellingshoek van de trechter

De hellingshoek van de trechter heeft geen grote invloed op de flow, zolang de hellingshoek van de trechter maar groter is dan de storthoek van de kunstmest. Als de hellingshoek van de trechter kleiner is dan de storthoek van de kunstmest blijft er kunstmest op liggen. Dit zal in de praktijk wel mee vallen, omdat de strooier nooit stil hangt en er dus altijd bewegingen en trillingen zijn, zodat de kunstmest toch naar de opening in de trechter glijdt.

Vorm en grootte van de opening

De vorm en de grootte van de opening in de trechter zijn van grote invloed op de flow. Kverneland maakt gebruik van drie openingen die allemaal dezelfde vorm hebben. De vorm van het gat is een rond met een hoek erin. De grootte van het gat wordt ingesteld door twee over elkaar draaiende cirkels. Bij lage doseerstanden lijkt de vorm van het gat op een elips en bij hoge doseerstanden is het gat veel ronder.

De vullingsgraad van de strooier

De invloed van de vullingsgraad op de flow van de strooier is verwaarloosbaar. Dit komt doordat de meeste verticale kracht van de kunstmest opgevangen wordt door de wanden van de trechter. Pas als de strooier nagenoeg leeg is gaat de kunstmest sneller stromen, doordat de kracht niet meer door de wanden opgevangen wordt. (Dipanker;1989).

De roerder in de strooier

Bij een Kverneland strooier draait de roerder vrij dicht boven de opening rond. Hierdoor zal de roerder invloed hebben op de flow, doordat de roerder soms wel voor een gat zit en soms niet. Wat precies de invloed van de roerder is, is moeilijk te zeggen, omdat hij er ook voor moet zorgen dat de kunstmest niet vast gaat zitten boven het gat.

3. Materiaal en methode

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen is het onderzoek in verschillende delen uitgevoerd. Om iets te kunnen zeggen over de eigenschappen van de kunstmest is het nodig om een uitgebreide analyse te doen van de kunstmest. Om te weten wat de afgifte van de kunstmest is, moet er een afdraaiproef mee gedaan worden met een kunstmeststrooier. Hoe dit gedaan is in dit onderzoek, wordt beschreven in paragraaf 3.1 'Analyse kunstmest eigenschappen'.

Er is gekeken naar de invloed van de diameter van de korrels op de flow. Dit wordt beschreven in paragraaf 3.2 'Invloed van diameter'.

In paragraaf 3.3 'Kunstmestsoorten' wordt beschreven hoe de analyse gedaan is, zoals beschreven in paragraaf 3.1, voor acht verschillende kunstmestsoorten.

Om te kunnen bepalen of dat er verband is tussen de eigenschappen van de kunstmest en de afgifte met de kunstmeststrooier is het nodig om een statistische analyse te doen van de verzamelde gegevens. Hoe de statistische analyse in dit onderzoek is gedaan wordt beschreven in paragraaf 3.4 'Statistische analyse'.

Bij de afdraaiproeven van de verschillende kunstmestsoorten is de afgifte bepaald bij vijf verschillende doseerstanden. Uit de analyse van deze gegevens bleek dat niet mogelijk was om de afgifte te kunnen voorspellen voor tussen liggende doseerstanden. Daarom werd besloten om met behulp van de afgifte bij drie verschillende doseerstanden een kwadratische functie op te stellen. In paragraaf 3.5 'Kwadratische functie' wordt uitgelegd hoe een kwadratische vergelijking opgesteld wordt als er drie bekende punten zijn.

3.1 Analyse kunstmest eigenschappen

Voor het maken van een uitgebreide analyse van kunstmest moeten de volgende eigenschappen bepaald worden:

- Dichtheid
- Storthoek
- Fractionering
- Flow door labtrechter
- Afgifte met strooier bepalen

Hieronder worden de methodes om bovenstaande eigenschappen te bepalen toegelicht:

Dichtheid

De dichtheid werd bepaald met een cilinder die een inhoud had van 1.00 liter. Deze cilinder staat afgebeeld in figuur 3.1. Deze cilinder werd gevuld met kunstmest. Vervolgens werd er vijf keer met de onder kant van de cilinder op de grond geklopt. Daarna werd de cilinder bijgevuld, totdat de cilinder exact tot aan de rand gevuld was. De cilinder werd op een weegschaal gezet en het gewicht werd genoteerd. De weegschaal had een nauwkeurigheid van 0.1 gram. Dit was een weegschaal van het merk Mettler en het type was een PM6000. Vervolgens werd de cilinder leeggemaakt en weer gewogen. Dit gewicht werd ook genoteerd. Het gewicht van de lege cilinder werd van het gewicht van de volle cilinder afgetrokken en dit gewicht is de dichtheid in kg/l. Van elk monster werd deze meting drie keer herhaald. En van deze drie metingen werd vervolgens het gemiddelde berekend.



*Figuur 1
Cilinder 1liter*

Storhoek

De storhoek van de kunstmest werd bepaald met een plexiglas bak. De kunstmest werd in de trechter aan de linkerzijde gedaan. De trechter werd zover gevuld totdat hij half vol zat. Vervolgens werd de hoek bepaald die de kunstmest in de plexiglas bak had. Deze hoek werd bepaald met een elektronisch waterpas van het merk Mitutoyo en het type was een pro 360 950-317.



Figuur 3.2 Storhoek bak

Fractionering

De fractionering van de kunstmest werd bepaald met een zeefstoren. Dit is een trillende plaat waar verschillende zeven opstaan. De bovenste zeef is het grofst en de onderste is het fijnst. Voor dit onderzoek werd gebruikt gemaakt van de volgende zeven: 1.00, 2.00, 2.8, 3.35, 4.00, 4.75, 5.6, 6.75 mm. Met een bakje werd er 1.00 kg van de te zeven kunstmest afgewogen. Hierbij werd gebruik gemaakt van de Mettler weegschaal. Het bakje werd gelegd bovenop de grofste zeef. Vervolgens werd de zeefstoren aangezet op de hoogste trilstand gedurende tien minuten. Vervolgens werd de kunstmest die op elk zeef verzameld was, gewogen met de weegschaal met een nauwkeurigheid van 0.1 gram. Dit gewicht werd genoteerd. Dit zeven werd voor elk monster drie keer uitgevoerd en vervolgens werd voor elke fractie een gemiddeld gewicht bepaald.



Figuur 3.3 Zeefstoren

Flow door labtrechter

Om iets te kunnen zeggen over het stroomgedrag van kunstmest, werd een flow test door een zogenaamde labtrechter gedaan. De trechter die gebruikt werd, was een ronde trechter met onderin een gat van 25 mm doorsnede. Onder dit gat was een schuif gemonteerd die open en dicht gezet kon worden. De wanden van deze trechter hadden een hoek van 60 graden met de horizontaal. Deze trechter wordt in het vervolg labtrechter genoemd. De trechter wordt ook beschreven in norm EN-1236.

In deze labtrechter werd 2.00 kg kunstmest gedaan. Vervolgens werd de schuif onder de trechter open gezet en werd er een tijdsmeting gestart met een stopwatch met een nauwkeurigheid van 0.01 sec. De tijdsmeting werd stop gezet op het moment dat de laatste kunstmest uit de labtrechter kwam. De gemeten tijd was de flow tijd voor 2.00 kg kunstmest. Deze tijd werd vervolgens omgerekend naar grammen per seconde en kg per min. Deze flow test werd voor elk monster drie keer herhaald en vervolgens werd de gemiddelde tijd bepaald.



Figuur 3.4 Labtrechter

Afgifte met kunstmeststrooier

Om de afgifte van de strooier te bepalen werd er gebruik gemaakt van een Vicon RO-XL kunstmeststrooier. Deze strooier was opgehangen in een weegbok. Deze weegbok had een meetnauwkeurigheid van 0.1 kg. De strooier werd aangedreven middels een elektromotor waarvan het toerental te wijzigen was. De strooier was verbonden met een Kverneland Tellus computer. Op deze computer werd ingesteld hoe lang de strooier bij een bepaalde doseerstand moest werken. De Tellus computer werd geprogrammeerd volgens tabel 3.1. Bij een Vicon RO-XL lopen de doseerstanden van nul tot negentig. Bij doseerstand nul is de doseeropening geheel dicht en bij doseerstand negentig is de doseeropening zo ver mogelijk geopend.

Tabel 3.1 Doseerstanden en bijbehorende testtijden

Doseerstand	Testtijd (sec)
36	30
45	20
54	15
63	12
72	10

Vervolgens werd de strooier gevuld met ongeveer 600 kg kunstmest. De elektromotor werd aangezet en ingesteld zodat de strooischijven 950 toeren per minuut draaiden. Vervolgens werd het programma gestart op de Tellus computer en werd het programma afgewerkt volgens tabel 3.1. Vervolgens werden de gegevens die tijdens de proef verzameld waren ingelezen met een Microsoft Excel macro. Hieruit werden de afgiftes berekend in kg/min.

Deze proef werd twee maal gedaan met oplopende doseerstanden en twee maal met aflopende doseerstanden. Dit om te onderzoeken of eventuele speling op de onderdelen invloed heeft op de afgifte.

3.2 Invloed van diameter

Om de invloed van de diameter op de flow te bepalen is er onderzoek gedaan of de korreldiameter van invloed is op de flow. Dit is gedaan om te bepalen of dat er verband is tussen de flow en de korreldiameter.

Van één soort kunstmest, KAS 27%, werden verschillende fractioneringen gezeefd. Dit zeven werd ongeveer hetzelfde gedaan als beschreven in paragraaf 3.1. Bij deze proef werd alleen gebruik gemaakt van de zeven 2.0 mm, 2.8 mm, 3.35 mm, 4.00 mm en 4.75 mm. Bij deze proef werd ook niet exact één kg kunstmest gezeefd, maar werd er elke keer ongeveer één kg kunstmest gezeefd en dit werd herhaald, totdat er van de fracties 2.00-2.8 mm, 2.8-3.35 mm, 3.35-4.0 en 4.0-4.75 mm meer als 1 liter kunstmest verzameld was.

Van elk van de verschillende fracties werd de dichtheid bepaald. Ook werd de flow door de labtrechter bepaald. Dit werd hetzelfde gedaan als beschreven in paragraaf 3.1. De dichtheid en de flow door de labtrechter werd ook nog bepaald voor ongezeefde kunstmest. Om de gemiddelde diameter te bepalen werd er van ongezeefde kunstmest 1.00 kg in de zeftoren gedaan en werd deze ook tien minuten aangezet. Vervolgens werd elke fractie gewogen met dezelfde weegschaal als bij de bepaling van de dichtheid gebruikt werd en werd het gewicht genoteerd.

3.3 Kunstmestsoorten

Bovenstaande analyse en bijbehorende afdraaiproef werden uitgevoerd voor acht verschillende soorten kunstmest.

- Axan
- KAS
- Linzer NAC
- Sulfan
- Sulpur Gold
- Nutramon
- Linzer TIP
- Linzer Star

Van de eerste zes kunstmestsoorten werden vier monsters genomen en werden ook vier afdraaiproeven gedaan. De monsters werden zo genomen dat ze gekoppeld konden worden aan de desbetreffende afdraaiproef. Van de laatste twee soorten werd maar één afdraaiproef gedaan en werd er ook maar één monster genomen. Dit werd gedaan omdat er van deze soorten niet genoeg kunstmest voorradig was om de proeven vier keer te herhalen.

Met de verzamelde gegevens van de bepaling van de fractionering werden de D50, D16 en D84 berekend. De D50 is de diameter waarbij de helft van het gewicht van de korrels een grotere diameter heeft en de helft van het gewicht van de korrels een kleinere diameter heeft. Ditzelfde geldt ook voor de D16 en D84 waarbij het respectievelijk de maat is waarbij 16% en 84% van het gewicht van de korrels een kleinere diameter heeft.

3.4 Statistische analyse

Om de verzamelde gegevens te analyseren en te bepalen of er een lineair verband tussen zit, moet een regressieanalyse gedaan worden. Dit is bij dit onderzoek gedaan met behulp van het computerprogramma SPSS.

Voordat een regressieanalyse gedaan kan worden, moet er een model opgesteld worden in de vorm van:

$$y = b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + b_3 * X_3 + C + \varepsilon$$

Waarin X_1, X_2, X_3 de variabelen zijn. b_1, b_2, b_3, C zijn de parameters in het model en ε is de foutterm van het model, y is de uitkomst van het model.

Bij een regressieanalyse wordt een zo goed mogelijk lineair verband gezocht tussen verschillende punten. Dit gebeurt volgens de kleinste kwadraten methode. De kleinste kwadraten methode betekent dat er door alle meetpunten een lijn getrokken wordt en deze lijn wordt zo getrokken dat de som van de afwijkingen van elk van de punten, ten opzichte van de lijn in het kwadraat, het kleinst is.

De uitkomst van een regressieanalyse is een schatting van de parameters b_1, b_2, b_3, C met bijbehorende standaardfout. Ook worden verschillende gegevens over de betrouwbaarheid van het model gegeven. Van elk van de parameters wordt ook duidelijk hoe belangrijk die parameter voor het model is. Dit is de significantie van die parameter. Voor dit onderzoek is gekozen om parameters die een significantie hebben kleiner dan 0.1 als significant te beschouwen. Parameters met een significantie waarde groter dan 0.1 worden weggelaten. Hierdoor verbetert de betrouwbaarheid van het model. Dit komt doordat er minder parameters worden geschat waardoor de standaardfout kleiner wordt.

De standaardfout die bij elke parameterschatting gegeven wordt, betekent hoe nauwkeurig die parameter geschat kan worden met voldoende betrouwbaarheid. Als een parameter niet significant is, heeft deze meestal ook een hoge standaardfout.

Bij de uitkomst van een regressieanalyse wordt een R^2 gegeven. De R^2 van een model is dat deel van de variantie dat door het model verklaard wordt. Bij een R^2 van 1 wordt alle variantie in de uitkomst door het model verklaard en is er dus een perfect model gemaakt.

Bij dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de F-waarde van het model om verschillende modellen te vergelijken. De F-waarde die bij het model gegeven wordt is een toetsingsgrootte die afhangt van de foutterm van het model en het aantal variabelen. Bij een klein aantal variabelen en met een kleine foutterm in het model volgt de hoogste F-waarde (Field;2005).

SPSS kan ook de optimale parameterschatting bepalen. Hierbij wordt de parameter met de laagste significantie uit het model verwijderd. Dit wordt net zo vaak herhaald totdat alle parameters significant zijn.

3.5 Kwadratische vergelijking

Bij de afdraaiproeven van de verschillende kunstmestsoorten is de afgifte bepaald bij vijf verschillende doseerstanden. Uit de analyse van deze gegevens bleek dat niet mogelijk was om de afgifte te kunnen voorspellen voor tussenliggende doseerstanden. Daarom werd besloten om met behulp van de afgifte bij drie verschillende doseerstanden een kwadratische functie op te stellen. Om een lijn door drie bekende punten te trekken, moet een kwadratische vergelijking in de vorm van $y = ax^2 + bx + c$ opgesteld worden. De drie punten worden uitgedrukt als (x_1, y_1) , (x_2, y_2) en (x_3, y_3) . Vervolgens worden uit deze drie punten de waarden van a , b , c berekend. Voor elk van de punten wordt een vergelijking opgesteld.

$$y_1 = ax_1^2 + bx_1 + c \quad (1)$$

$$y_2 = ax_2^2 + bx_2 + c \quad (2)$$

$$y_3 = ax_3^2 + bx_3 + c \quad (3)$$

Vervolgens wordt uit vergelijkingen (2) en (3) de c geëlimineerd.

$$y_1 = ax_1^2 + bx_1 + c \quad (1)$$

$$y_2 - y_1 = a(x_2^2 - x_1^2) + b(x_2 - x_1) \quad (2)$$

$$y_3 - y_1 = a(x_3^2 - x_1^2) + b(x_3 - x_1) \quad (3)$$

En vervolgens wordt uit vergelijking (3) de term $b(x_3 - x_1)$ geëlimineerd.

$$y_1 = ax_1^2 + bx_1 + c \quad (1)$$

$$y_2 - y_1 = a(x_2^2 - x_1^2) + b(x_2 - x_1) \quad (2)$$

$$y_3 - y_1 - \left(\frac{x_3 - x_1}{x_2 - x_1}\right)(y_2 - y_1) = a(x_3^2 - x_1^2) - \left(\frac{x_3 - x_1}{x_2 - x_1}\right)a(x_2^2 - x_1^2) \quad (3)$$

Uit vergelijking 3 kan a berekend worden:

$$a = \frac{y_3 - y_1 - \left(\frac{x_3 - x_1}{x_2 - x_1}\right)(y_2 - y_1)}{(x_3^2 - x_1^2) - \left(\frac{x_3 - x_1}{x_2 - x_1}\right)(x_2^2 - x_1^2)}$$

Vervolgens wordt b berekend door in vergelijking (2) de zojuist gevonden a in te vullen.

$$b = \frac{y_2 - y_1 - a(x_2^2 - x_1^2)}{(x_2 - x_1)}$$

Vervolgens wordt c berekend door in vergelijking (1) de zojuist gevonden a en b in te vullen.

$$c = y_1 - ax_1^2 - bx_1$$

4. Resultaten en analyse

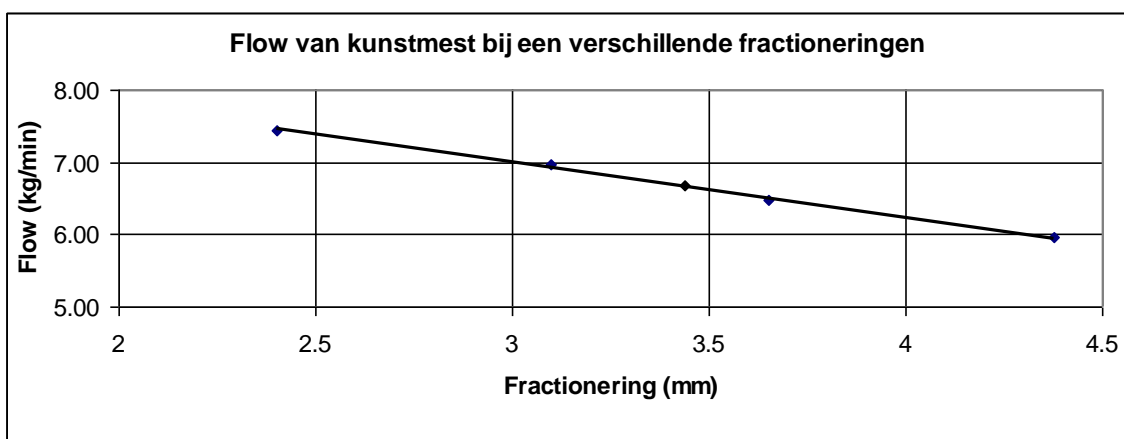
4.1 Invloed diameter

In tabel 4.1 staan de verschillende fractioneringen die gezeefd zijn met de bijbehorende dichtheid en flow. De laatste kolom in die tabel laat zien hoe groot de flow van een bepaalde fractie is ten opzichte van de ongezeefde kunstmest. Zoals te zien heeft de grootte van de korrels geen invloed op de dichtheid, maar wel op de flow door de labtrechter.

Grafiek 4.1 laat zien dat er een recht evenredig verband is tussen de flow en de fractionering. Een grotere diameter geeft een lagere flow door de labtrechter. Ook is te zien dat de flow van de ongezeefde kunstmest niet afwijkt van dit verband.

Tabel 4.1 Dichtheid en flow van verschillende fracties KAS

Fractionering (mm)	Litergewicht (g)	Flow (g/sec)	Flow (kg/min)	Flow (%)
2.0-2.8	1038	124	7.4	111%
2.8-3.35	1043	116	7.0	104%
3.35-4.0	1044	108	6.5	97%
4.0-4.75	1043	99	6.0	89%
D50=3.44	1041	111	6.7	100%



Grafiek 4.1 Flow van KAS bij verschillende fractioneringen

4.2 Eigenschappen acht granulaten

In tabel 4.2 staan de eigenschappen van acht verschillende granulaten. Van de eerste zes granulaten zijn vier monsters genomen en van de laatste twee maar één monster. Dit is gedaan omdat er van de laatste twee soorten niet genoeg kunstmest beschikbaar was om ook vier afdraaiproeven mee te doen. Uit de tabel blijkt dat er relatief weinig variatie zit tussen de verschillende monsters van eenzelfde kunstmestsoort. Wel kan je zien dat er bij voor de storthoek van sommige kunstmestsoorten variatie tussen de monsters is. Dit komt waarschijnlijk doordat de storthoek niet nauwkeurig vast te stellen was. Dit kwam doordat het waterpas tegen de meetbak aangehouden moest worden en er gemakkelijk een graad afwijking in kon zitten.

Tussen de verschillende soorten zijn er vrij grote verschillen te zien in de fractionering. Zo is de gemiddelde korrel diameter van Linzer NAC ongeveer 50% groter dan die van Sulphur Gold. Ook kun je zien dat over het algemeen de grove kunstmestsoorten een lagere flow hebben en de fijnere soorten hebben juist een hogere flow. Dit is redelijk in overeenstemming met wat in paragraaf 4.1 geconstateerd is. Zoals te zien is de D84-D16 van Linzer NAC veel groter dan die van de KAS van Yara. Dit heeft weinig invloed op de flow. Het maximale verschil in dichtheid tussen de verschillende granulaten is ongeveer 20%. In de flow is een variatie te zien van ongeveer 25%. In bijlage A staan alle ‘ruwe’ analyse gegevens.

Tabel 4.2 Eigenschappen van acht verschillende granulaten

Kunstmestsoort	Monster	D 50 mm	D 84- D16 mm	Dichtheid kg/l	Storthoek graden	Flow kg/min
Axan AN 0130	1	3.69	1.02	1.06	35.4	6.37
	2	3.68	1.02	1.06	35.7	6.35
	3	3.66	1.00	1.06	34.7	6.34
	4	3.71	1.07	1.07	36.2	6.39
KAS Yara AN 0153	1	3.54	0.97	1.04	36.5	6.46
	2	3.46	0.98	1.04	36.0	6.53
	3	3.39	0.99	1.05	35.5	6.63
	4	3.48	0.95	1.05	35.8	6.64
Linzer NAC AN 0136	1	4.10	1.59	0.99	35.3	5.49
	2	4.03	1.52	0.98	35.9	5.53
	3	4.03	1.55	0.98	36.6	5.45
	4	4.08	1.57	0.99	35.9	5.49
Sulfan AN 0086	1	3.56	1.16	1.02	37.2	6.00
	2	3.43	1.02	1.03	37.7	6.04
	3	3.36	1.01	1.02	36.4	6.04
	4	3.44	1.06	1.03	36.0	6.00
Sulphur Gold AN 0117	1	2.79	1.40	0.92	38.2	5.80
	2	2.74	1.36	0.92	37.8	5.77
	3	2.73	1.41	0.93	38.2	5.73
	4	2.78	1.38	0.94	38.4	5.77
Nutramon	1	3.71	1.27	1.05	36.7	6.24
	2	3.74	1.29	1.05	35.8	6.23
	3	3.74	1.33	1.05	36.3	6.27
	4	3.69	1.34	1.06	36.1	6.32
Linzer TIP	1	3.36	1.03	1.10	34.7	7.33
Linzer STAR	1	3.32	1.15	1.12	35.5	7.14

4.3 Afdraaiproeven acht granulaten

In tabel 4.3 zijn de resultaten te zien van de afdraaiproeven die gedaan zijn met de verschillende granulaten. Met elk van de kunstmestsoorten zijn vier afdraaiproeven gedaan. De eigenschappen zoals beschreven in tabel 4.2 zijn koppelbaar met de afdraaiproeven. Dus de eigenschappen van Axan monster 1 horen ook bij de afdraaiproef van Axan monster 1, enz.

De oneven monsters zijn gedaan met een oplopende doseerstand en de even monster zijn gedaan met aflopende doseerstand. Dit zie je in de tabel niet terug.

Uit tabel 4.3 blijkt dat, als je verschillende afdraaiproeven doet met dezelfde kunstmest op dezelfde doseerstanden, daar een ruime variatie in kan zitten. De ruimste afwijkingen van wat je zou verwachten zijn dik gedrukt gemaakt in de tabel.

Tabel 4.3 Afgifte van acht verschillende soorten kunstmest bij verschillende doseerstanden

Kunstmestsoort	Monster	Afgifte	Afgifte	Afgifte	Afgifte	Afgifte
		36 kg/min	45 kg/min	54 kg/min	63 kg/min	72 kg/min
Axan AN 0130	1	67.8	106.2	147.4	194.7	249.8
	2	69.0	101.4	146.4	196.9	244.5
	3	67.7	100.8	143.8	192.9	248.6
	4	68.8	104.3	142.2	191.5	251.0
KAS Yara AN 0153	1	68.6	105.1	143.2	190.1	256.2
	2	71.1	105.1	146.0	195.4	247.1
	3	68.5	103.5	150.0	191.6	248.2
	4	71.6	108.4	145.0	192.1	246.2
Linzer NAC AN 0136	1	56.5	89.0	126.1	172.5	220.7
	2	58.2	92.2	136.3	166.6	210.3
	3	57.0	86.9	127.3	166.2	211.8
	4	60.1	90.3	125.9	172.3	213.7
Sulfan AN 0086	1	70.4	96.7	134.0	179.8	237.3
	2	68.8	95.9	140.3	183.4	247.2
	3	62.0	93.3	137.5	185.9	225.4
	4	64.8	98.8	140.6	183.2	236.5
Sulphur Gold AN 0117	1	61.5	93.4	130.0	161.7	214.8
	2	59.5	92.6	125.4	174.0	207.9
	3	63.7	91.4	129.8	170.4	211.3
	4	60.8	94.2	128.2	168.5	213.7
Nutramon	1	69.3	103.3	141.5	197.1	250.4
	2	70.3	101.6	142.1	186.9	248.5
	3	65.4	101.5	143.1	186.6	239.5
	4	65.7	102.0	140.4	192.9	245.1
Linzer TIP	1	73.3	112.2	159.1	205.4	263.7
Linzer STAR	1	73.5	112.0	152.2	204.5	261.0

4.4 Modellen

Alle modellen zijn gebaseerd op de eerste zes kunstmestsoorten. De laatste twee soorten, Linzer Star en Linzer TIP zijn gebruikt ter validatie van de modellen.

4.4.1 Vijf doseerstanden

Tabel 4.4 is een samenvatting van de statistische analyse die gedaan is met SPSS. Dit model is gemaakt op basis van alle eigenschappen en voor alle doseerstanden. De schatting van de betreffende parameters is weergegeven in de kolom achter de parameter. In de kolom Std. Error staat de standaardfout van de parameterschatting en in de kolom significantie is de significantie gegeven van die parameter. De laatste twee kolommen geven respectievelijk de R^2 en de F-waarde van het model.

Tabel 4.4 Parameterschattingen van alle eigenschappen en de bijbehorende betrouwbaarheden van alle doseerstanden

Doseerstand	Parameter	B	Std. Error	Sig.	R^2	F
36	Constant	-91.4	42.3	0.04	0.848	20.16
	Dichtheid	40.8	38.4	0.30		
	Storhoek	1.9	0.9	0.04		
	D50	1.1	3.6	0.77		
	Delta	-3.0	4.5	0.50		
	Flow	7.6	3.7	0.06		
45	Constant	-34.8	38.6	0.38	0.925	44.09
	Dichtheid	1.1	35.0	0.98		
	Storhoek	0.4	0.8	0.64		
	D50	1.7	3.3	0.62		
	Delta	3.7	4.1	0.38		
	Flow	17.8	3.4	0.00		
54	Constant	61.6	56.3	0.29	0.899	32.04
	Dichtheid	59.3	51.1	0.26		
	Storhoek	-0.9	1.1	0.42		
	D50	-1.2	4.8	0.81		
	Delta	-4.3	5.9	0.48		
	Flow	9.8	4.9	0.06		
63	Constant	6.8	71.1	0.93	0.924	43.75
	Dichtheid	220.9	64.5	0.00		
	Storhoek	-1.6	1.4	0.27		
	D50	-10.9	6.1	0.09		
	Delta	7.2	7.5	0.35		
	Flow	6.8	6.2	0.29		
72	Constant	-240.5	100.6	0.03	0.930	48.05
	Dichtheid	225.1	91.3	0.02		
	Storhoek	3.4	2.0	0.11		
	D50	3.2	8.7	0.71		
	Delta	-3.9	10.6	0.72		
	Flow	19.1	8.8	0.04		

Tabel 4.5 is een weergave van het optimale model bij elke doseerstand. Dit is gerealiseerd door de niet significante parameters iteratief uit het model te verwijderen. Bij dit verwijderen begint SPSS met de parameter die het minst significant is. Vervolgens wordt een nieuw model berekend en wordt er weer bepaald welke parameter het minst significant is. Dit wordt herhaald totdat alle parameters

significant meetellen (kleiner dan 0.1) In de tabel zie je de parameterschattingen en bijbehorende betrouwbaarheden.

Tabel 4.5 Optimale parameterschattingen van de eigenschappen en de betrouwbaarheden bij alle doseerstanden

Doseerstand	Parameter	B	Std. Error	Sig.	R ²	F
36	Constant	-100.7	33.4	0.01	0.844	36.20
	Dichtheid	51.9	19.0	0.01		
	Storhoek	1.8	0.6	0.01		
	Flow	7.9	1.9	0.00		
45	Constant	3.2	6.4	0.62	0.911	223.92
	Flow	15.6	1.1	0.00		
54	Constant	-3.4	12.0	0.78	0.890	84.71
	Dichtheid	64.9	18.5	0.00		
	Flow	12.4	2.4	0.00		
63	Constant	-32.2	15.7	0.05	0.911	106.86
	Dichtheid	123.3	24.3	0.00		
	Flow	14.8	3.1	0.00		
72	Constant	-239.3	78.8	0.01	0.930	88.05
	Dichtheid	255.5	45.0	0.00		
	Storhoek	3.0	1.5	0.06		
	Flow	17.6	4.4	0.00		

In tabel 4.4 is te zien dat er veel parameters niet significant zijn, deze hebben een significantie niveau boven 0.1. Dit is ook te zien als SPSS een optimaal model maakt. Voor geen van de doseerstanden komen de Delta en de D50 als significante parameters naar voren. Hieruit blijkt dat de fractionering geen invloed heeft op de afgifte met de strooier. Ook is te zien dat de er weinig verschil zit in de R² van beide schattingen. Hieruit blijkt dat het weglaten van niet significante parameters bijna geen invloed heeft op de betrouwbaarheid van de schatting. Wel is te zien dat de F-waarden van de optimale modellen hoger zijn dan van de modellen waarbij alle eigenschappen meegenomen zijn. Dit komt doordat er bij het optimale model van minder parameters gebruik gemaakt wordt.

In tabel 4.5 is te zien dat er ook bij de optimale parameterschatting veel variatie zit tussen de verschillende modellen. De afgifte bij doseerstand 45 is het best te voorspellen als je alleen de flow weet, terwijl bij de doseerstanden 36 en 72 ook nog de dichtheid en storhoek bepaald moeten worden om een optimaal model te krijgen. Omdat het niet de bedoeling is dat de afgifte bij elke doseerstand apart wordt geschat, moet er een vergelijking opgesteld worden die het verloop van de afgifte curve kan voorspellen. Bij dit onderzoek wordt er alleen maar gekeken naar doseerstand 36 tot en met doseerstand 72. Mogelijk dat met een kwadratische vergelijking dit deel van de afgifte curve goed voorspeld kan worden. Bij Kverneland wordt er bij een bepaald type strooier, een gewone strooier met rijnsnelheidssensor (ED) ook gebruik gemaakt van een kwadratische functie die de afgiftecurve voorspelt.. Bij deze ED strooier moet de gebruiker afdraaiproeven doen op doseerstanden 36 en 72. Het derde punt dat gebruik wordt is doseerstand 0. Hierbij wordt aangenomen dat de afgifte op dat punt ook nul kg is.

Daarom is besloten om voor dit onderzoek te kijken naar de afwijkingen van de kwadratische vergelijking als deze wordt opgesteld aan de hand van schattingen van de afgifte bij doseerstand 0, 36 en 72. De kwadratische functie kan dan opgesteld worden zoals beschreven in paragraaf 3.5. De gemeten afgiftes bij de doseerstanden 45, 54 en 63 kunnen dan gebruikt worden om te bepalen hoe nauwkeurig het model is.

4.4.2 Doseerstanden 0-36-72

In tabel 4.6 is het resultaat te zien van het model, dat een kwadratische functie opsteld aan de hand van schattingen van de afgifte bij de doseerstanden 0,36 en 72, ten opzichte van de werkelijkheid als je de doseerstanden 36 en 72 volgens de optimale parameters schat. Voor beide doseerstanden is dit een model op basis van dichtheid, storthoek en flow. Dit zijn de parameters zoals vermeld in tabel 4.5.

In de tabel staan de gemiddelde afwijking van het model ten opzichte van de werkelijke afgifte bij een bepaalde doseerstand en de gemiddeld absolute afwijking van het model vermeld. De gemiddelde afwijking zegt iets over hoe goed het model past voor die doseerstand. De gemiddeld absolute afwijking zegt iets over hoe groot de variantie is van de afwijkingen ten opzichte van de werkelijkheid.

Tabel 4.6 Afwijkingen van het model 0-36-72 ten opzichte van de werkelijke afgifte

Model	Criterium	Doseerstand				
		36	45	54	63	72
Dichtheid,	Gem. afwijking	0.21%	-0.26%	-0.73%	-0.23%	0.20%
storthoek, flow	Gem. absolute afwijking	2.27%	2.07%	2.14%	1.91%	1.48%

In tabel 4.6 is te zien dat de gemiddelde afwijking voor doseerstand 54 ongeveer één procent afwijkt van de gemiddelde afwijking voor doseerstanden 36 en 72. Ook is te zien dat de gemiddelde absolute afwijking kleiner wordt voor de hogere doseerstanden. Dit betekent dat de hogere doseerstanden nauwkeuriger geschat kunnen worden. In tabel 1 in bijlage B is te zien dat er een aantal grote afwijkingen is tussen het model en de werkelijke afgifte. Hieruit blijkt dat dit model over het algemeen een vrij nauwkeurige schatting maakt, maar dat er een aantal uitschieters tussen zitten.

Ook is te zien in tabel 4.6 dat bij doseerstand 36 de gemiddelde absolute afwijking het grootst is. Dit betekent dat bij deze doseerstand meer variatie zit tussen de schatting van het model en de werkelijkheid.

Omdat er alleen van de doseerstanden 36 tot en met 72 afdraaiproeven gedaan zijn, kan eigenlijk alleen voor dit deel van de curve ook een goed model gemaakt worden. Voor het opstellen van een kwadratische vergelijking zijn minimaal 3 punten nodig. Daarom is besloten om een schatting te doen van doseerstanden 36,54 en 72.

Vervolgens kunnen de afgiftes bij de tussenliggende doseerstanden berekend worden aan de hand van een kwadratische functie. Hierdoor wordt de invloed van de variantie bij doseerstand 36 kleiner, doordat ook doseerstand 54 geschat wordt en niet berekend wordt. De gemeten afgiftes bij de doseerstanden 45 en 63 kunnen gebruikt worden te validatie van het model.

4.4.3 Doseerstanden 36-54-72

Om de betrouwbaarheid van het model te vergroten, is het noodzakelijk om met zo min mogelijk parameters een zo betrouwbaar mogelijke schatting te maken. Daarom is voor het model op basis van doseerstanden 36-54-72 niet alleen een model gemaakt op basis van de dichtheid, storthoek en flow, maar heb is er ook een model gemaakt op basis van de dichtheid en de storthoek en een model op basis van de dichtheid en de flow.

In onderstaande tabellen zijn de parameterschattingen en de bijbehorende betrouwbaarheden gegeven van de modellen geordend per doseerstand.

Tabel 4.7 Drie verschillende modellen voor doseerstand 36 en de bijbehorende betrouwbaarheden

Parameter	B	Std. Error	Sig.	R ²	F
Constant	-100.7	33.4	0.01	0.844	36.20
Dichtheid	51.9	19.0	0.01		
Storthoek	1.8	0.6	0.01		
Flow	7.9	1.9	0.00		
Constant	-148.1	42.1	0.00	0.707	25.34
Dichtheid	113.0	16.5	0.00		
Storthoek	2.7	0.8	0.00		
Constant	-8.4	10.4	0.43	0.780	37.29
Dichtheid	14.3	16.0	0.38		
Flow	9.7	2.0	0.00		

In tabel 4.7 is te zien dat bij doseerstand 36 de dichtheid niet significant is bij het model op basis van de dichtheid en de flow. Wat verder opvalt is dat de R² van het model op basis van dichtheid en storthoek het laagst is. De F-waarde van dit model is ook het laagst.

Tabel 4.8 Drie verschillende modellen voor doseerstand 54 en de bijbehorende betrouwbaarheden

Parameter	B	Std. Error	Sig.	R ²	F
Constant	29.2	45.2	0.53	0.893	55.48
Dichtheid	51.7	25.8	0.06		
Storthoek	-0.6	0.9	0.46		
Flow	13.1	2.5	0.00		
Constant	-49.5	63.3	0.44	0.750	31.58
Dichtheid	153.1	24.8	0.00		
Storthoek	0.9	1.2	0.47		
Constant	-3.4	12.0	0.78	0.890	84.71
Dichtheid	64.9	18.5	0.00		
Flow	12.4	2.4	0.00		

In tabel 4.8 is te zien dat bij doseerstand 54 de storthoek niet significant is bij de modellen op basis van dichtheid, storthoek en flow en op basis van dichtheid en storthoek. In de tabel is ook te zien dat het model op basis van dichtheid en storthoek de R² het kleinst is en de F-waarde het laagst.

Tabel 4.9 Drie verschillende modellen voor doseerstand 72 en de bijbehorende betrouwbaarheden

Parameter	B	Std. Error	Sig.	R ²	F
Constant	-239.3	78.8	0.01	0.930	88.05
Dichtheid	255.5	45.0	0.00		
Storhoek	3.0	1.5	0.06		
Flow	17.6	4.4	0.00		
Constant	-345.1	96.8	0.00	0.874	72.91
Dichtheid	391.6	37.9	0.00		
Storhoek	5.0	1.8	0.01		
Constant	-87.4	22.6	0.00	0.916	113.77
Dichtheid	193.3	34.9	0.00		
Flow	20.6	4.4	0.00		

In tabel 4.9 is te zien dat bij doseerstand 72 alle parameters bij alle modellen significant meetellen. Het model op basis van dichtheid en storhoek heeft de laagste R² en ook de laagste F-waarde.

In tabel 4.10 zijn de afwijkingen van de modellen ten opzichte van de werkelijke afgifte te zien bij de verschillende doseerstanden. De afwijkingen per kunstmestsoort en per afdraaiproef staan in bijlage B tabellen 1,2 en 3

Tabel 4.10 Afwijkingen van verschillende modellen ten opzichte van werkelijkheid

Model	Criterium	Doseerstand				
		36	45	54	63	72
Dichtheid,storhoek, flow	Gem. afwijking	0.21%	0.59%	0.09%	0.24%	0.20%
	Gem. absolute afwijking	2.27%	1.64%	1.48%	1.64%	1.48%
Dichtheid,storhoek	Gem. afwijking	0.22%	0.60%	0.08%	0.17%	0.07%
	Gem. absolute afwijking	3.30%	2.93%	2.24%	2.16%	2.00%
Dichtheid,flow	Gem. afwijking	0.04%	0.49%	-0.02%	0.09%	0.01%
	Gem. absolute afwijking	2.64%	1.63%	1.47%	1.58%	1.61%

In tabellen 4.7, 4.8, 4.9 en 4.10 is te zien dat een model op basis van de dichtheid en de storhoek niet geschikt is. Dit komt omdat dit model voor alle doseerstanden de laagste R² en F-waarde heeft. Dit heeft als gevolg dat dit model de grootste absolute afwijking heeft. Dit is dan ook terug te zien in tabel 4.4.7.

Het model op basis van de dichtheid, storhoek en flow en het model op basis van de dichtheid en flow zijn allebei ongeveer even nauwkeurig in het schatten van de afgifte. Dit is te zien in tabel 4.4.7. Het model op basis van de dichtheid en flow heeft bij alle modellen een hogere F-waarde dan het model op basis van dichtheid, storhoek en flow, terwijl het model op basis van dichtheid en flow bij alle doseerstanden een iets kleinere R² heeft dan het model op basis van dichtheid, storhoek en flow. In bijlage B tabel 5 is te zien dat het snijpunt met de y-as(=waarde van c) afhankelijk is van de kunstmestsoort. Te zien is dat elke kunstmestsoort een eigen snijpunt heeft met de y-as. Voor het model op basis van dichtheid, storhoek en flow is er geen verband te zien tussen kunstmestsoort en het snijpunt met de y-as

4.5 Flow door labtrechter

Omdat het belangrijk is om ook de flow door de labtrechter te weten heb ik geprobeerd om die flow te schatten op basis van de D50, storthoek en de dichtheid. Hieronder staan de resultaten van een model voor de flow op basis van D50, dichtheid en storthoek.

Tabel 4.11 Twee verschillende modellen voor de flow en de bijbehorende betrouwbaarheden

Parameter	B	Std. Error	Sig.	R ²	F
Constant	3.3	2.4	0.18	0.902	61.15
D50	-0.7	0.1	0.00		
Storthoek	-0.1	0.1	0.00		
Dichtheid	8.1	0.8	0.09		
Constant	-0.8	0.6	0.18	0.886	81.26
D50	-0.6	0.1	0.00		
Dichtheid	8.9	0.7	0.00		

In tabel 4.11 is te zien dat voor beide modellen alle parameters significant zijn. Wel is te zien dat de R² van het model op basis van D50 en dichtheid lager is dan van het model waar ook de storthoek in meegenomen is. De F-waarde van het model op basis van D50 en dichtheid is wel hoger dan die van het model waar ook de storthoek bij zit.

In tabel 4.12 staan de afwijkingen van het model om de flow te bepalen ten opzichte van de werkelijke flow zoals die gemeten is tijdens de analyse.

Tabel 4.12 Afwijking van de twee modellen voor de flow ten opzichte van de werkelijk gemeten flow

Model	Criterium	Afwijking
D50,dichtheid,storthoek	Gem. afwijking	1.65%
	Gem. absolute afwijking	2.05%
D50,dichtheid	Gem. afwijking	0.25%
	Gem. absolute afwijking	1.52%

In tabel 4.12 is te zien dat de absolute afwijking voor de schatting van de flow bij beide modellen vrij groot is. Dit betekent dat er vrij veel afwijking is van de geschatte flow ten opzichte van de werkelijke flow en dat het dus niet mogelijk is om de flow te schatten. Voor het model om de afgifte te schatten zal de flow toch gemeten moeten worden en kan deze niet nauwkeurig genoeg berekend worden aan de hand van de eigenschappen.

5. Discussie

Uit het literatuuronderzoek bleek dat de flow van kunstmest afhankelijk is van de storthoek, de dichtheid, de vorm en de grootte van de korrels. In dit onderzoek is naar voren gekomen dat de flow uit de kunstmeststrooier het beste voorspeld kan worden als je de dichtheid en de flow door een zogenaamde labtrechter weet. Vermoedelijk dat de flow door de labtrechter de invloed van de vorm, de grootte en de storthoek van de korrels kan vervangen.

In dit onderzoek is onderzocht of dat het mogelijk is om de flow uit een Vicon RO-XL kunstmeststrooier goed te voorspellen voor de doseerstanden 36 tot en met 72. Ook is er in dit onderzoek alleen maar gekeken naar de granulaten. Dit zijn over het algemeen korrels die een mooie ronde vorm hebben en niet erg hygroscopisch zijn. De verwachting is dat als er ook voor andere kunstmestsoorten onderzocht gaat worden of dat het mogelijk is om de flow op een zelfde manier te voorspellen de nauwkeurigheid van de voorspelling lager wordt. Dit omdat andere kunstmestsoorten zoals mineralen hele andere eigenschappen hebben.

Uit dit onderzoek is gebleken dat het niet mogelijk is om elk van de doseerstanden 36 tot en met 72 apart te schatten. Dit omdat anders de afgifte bij elke doseerstand op een andere manier geschat zou moeten worden. Het is beter om voor drie doseerstanden een schatting te maken van de afgifte en dan vervolgens door deze drie punten een kwadratisch verband te trekken. Deze drie punten kunnen op twee manieren geschat worden.

Door de dichtheid en de flow door de labtrechter te bepalen of door de dichtheid, de flow door de labtrechter en de storthoek te bepalen. Het eerste model is het beste, omdat de betrouwbaarheid van dit model hoger is doordat er maar twee eigenschappen van de kunstmest bepaald moeten worden. En de nauwkeurigheid van schatten is ongeveer gelijk. De drie doseerstanden waar een schatting van gemaakt moet worden zijn de standen 36,54 en 72.

De afgifte bij doseerstand 36 wordt voorspeld door formule (1), de afgifte bij doseerstand 54 wordt voorspeld door formule (2) en de afgifte bij doseerstand wordt voorspeld door formule (3)

$$y_{36} = 14.26 \text{ Dichtheid} + 9.74 \text{ Flow} - 8.37 \quad (1)$$

$$y_{54} = 64.94 \text{ Dichtheid} + 12.4 \text{ Flow} - 3.37 \quad (2)$$

$$y_{72} = 193.31 \text{ Dichtheid} + 20.63 \text{ Flow} - 87.39 \quad (3)$$

Hierbij is de dichtheid in kg/l en de flow door de labtrechter in kg/min.

Vervolgens worden de tussenliggende doseerstanden berekend middels een kwadratische vergelijking die gebaseerd is op deze drie doseerstanden.

Wat opvalt bij dit model is dat er een verband is tussen de kunstmestsoort en het snijpunt met de y-as. Bij het model op basis van dichtheid, flow door de labtrechter en de storthoek is juist te zien dat er geen verband is tussen de kunstmestsoort en het snijpunt met de y-as. Dit onderzoek is gedaan voor de doseerstanden 36 tot en met 72, maar mogelijk dat het verband tussen het snijpunt met de y-as en de kunstmestsoort een indicatie geeft van de afgifte bij de overige doseerstanden.

In dit onderzoek is gebleken dat als er vier keer dezelfde afdraaiproef wordt gedaan, er al een variatie in de afgifte is van ongeveer tien procent. Deze variatie wordt niet verklaard door de eigenschappen van de kunstmest. Vermoedelijk is de flow van de kunstmest toch nog afhankelijk van andere factoren, die in dit onderzoek niet meegenomen zijn, die de variatie kunnen verklaren als een zelfde afdraaiproef meerdere keren wordt herhaald.

6. Conclusie

Het is mogelijk om de flow van kunstmest uit de kunstmeststrooier op een eenvoudige manier te voorspellen voor de doseerstanden 36 tot en met 72 van een Vicon RO-XL kunstmeststrooier waarvan de strooischijven 950 toeren per minuut draaien. Dit kan door de dichtheid en de flow door een trechter (de labtrechter) te bepalen. Vervolgens kan, middels een model, de afgifte van de kunstmest voor de doseerstanden 36, 54 en 72 geschat worden. De afgifte voor de tussenliggende doseerstanden wordt berekend met een kwadratische formule die wordt opgesteld aan de hand van de schattingen van de afgifte bij de drie genoemde doseerstanden.

Volgens de literatuur kan de flow van kunstmest afhankelijk zijn van de storthoek, de dichtheid, de vorm en de grootte van de korrels. In dit onderzoek is gevonden dat het mogelijk is om de flow te voorspellen door alleen de dichtheid en de flow door de labtrechter te bepalen. Dit komt vermoedelijk doordat de invloed van de genoemde eigenschappen ook verklaard worden met de flow door de labtrechter. Alleen de dichtheid wordt niet verklaard door de flow door de labtrechter. Daarom moeten de dichtheid en de flow door de labtrechter bepaald worden om de afgifte goed te kunnen schatten.

7. Aanbeveling

Voor verder onderzoek naar een eenvoudige methode om de flow uit een kunstmeststrooier te voorspellen zijn er enkele aanbevelingen.

Praktijkontwerp

Er zal een ontwerp gemaakt moeten worden van een apparaatje dat lijkt op de labtrechter waarmee de flow bepaald is. Het apparaatje moet in elk geval in staat zijn om dezelfde stromings eigenschappen van kunstmest te bepalen als dat de labtrechter nu deed. Ook moet er iets ontworpen worden om nauwkeurig de dichtheid te bepalen. Mogelijk dat dit te combineren is met het apparaatje om de flow te bepalen.

Ook lijkt het me belangrijk om iets te ontwerpen waarmee de storthoek nauwkeuriger bepaald kan worden. Uit mijn onderzoek kwam naar voren dat de storthoek niet bepaald moet worden, maar mogelijk dat uit vervolgonderzoek blijkt dat het wel nodig is om de storthoek te bepalen. Dit, omdat onder andere omstandigheden of met andere kunstmestsoorten het model waar geschat wordt met dichtheid, flow en storthoek mogelijk het beste kan zijn.

Het is belangrijk om nu al een praktijkontwerp te maken, zodat het vervolgonderzoek gedaan kan worden met deze apparatuur. Hierdoor zijn de resultaten van het vervolgonderzoek ook gelijk betrouwbaar voor de praktijk. Als er aan het eind van het vervolgonderzoek pas een praktijkontwerp gemaakt wordt, is het mogelijk dat alle gevonden verbanden opnieuw bepaald moeten worden.

Alle doseerstanden

Dit onderzoek was gericht op de doseerstanden 36 tot en met 72. Er moet vervolgonderzoek plaats vinden wat het verband is voor alle doseerstanden. Dit kan het beste gedaan worden door afdraaiproeven te doen voor een aantal doseerstanden. Vervolgens moeten de tussenliggende doseerstanden berekend worden. Ook moet er gekeken worden of dat het zinvol is om de doseeropening te openen tot doseerstand 90. Dit omdat vanaf doseerstand 80 de afgifte niet meer toeneemt, omdat de timingbus van de strooier dan de beperkende factor wordt. Er is geen enkele formule die de huidige afgiftecurve in zijn geheel zou kunnen voorspellen door deze invloed. Zeer waarschijnlijk is de afgiftecurve tot doseerstand 80 goed te schatten met een 2^e of 3^e graads functie.

Verschillende soorten kunstmest

In dit onderzoek zijn alleen granulaten meegenomen. De methode moet toepasbaar zijn voor alle kunstmestsoorten. Vandaar dat er nog onderzoek gedaan moet worden wat het verband is bij andere kunstmestsoorten zoals mineralen en urea.

Verschillende strooiertypen

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een Vicon RO-XL kunstmeststrooier. Vicon heeft nog twee andere types strooiers in het pakket zitten en er zal ook moeten worden onderzocht wat het verband tussen de modellen en de afgifte van die strooiers is.

Verschillende toerentallen

Dit onderzoek is alleen maar gedaan voor 950 toeren per minuut. Er zal ook gekeken moeten worden of dat er voor de andere toerentallen een zelfde soort verband geldt.

Dit kan mogelijk door in de database met afdraaiproeven te kijken of dat er verbanden zijn tussen de verschillende toerentallen.

Verschillende weersomstandigheden

Dit onderzoek is gedaan binnen in de strooiertesthal van Kverneland. De kunstmest was opgeslagen in bigbags. Van deze bigbags is aangenomen dat de omstandigheden in die zakken bij alle geteste kunstmestsoorten hetzelfde was. Ook het klimaat in de hal was vrij constant gedurende het onderzoek. Er zal ook nog onderzoek gedaan moeten worden naar de invloed van verschillende weersomstandigheden en vochtigheden van de kunstmest uit de opslag.

Analyse protocollen

Voor dit onderzoek was het niet mogelijk om gebruik te maken van de gegevens die al beschikbaar waren bij Kverneland, doordat deze gegevens verzameld waren door verschillende mensen onder verschillende omstandigheden. Om in de toekomst wel de gegevens uit de database te kunnen gebruiken zullen de gegevens via een beter en nauwkeuriger protocol verzameld moeten worden. Er moet zo veel mogelijk geautomatiseerd worden, zodat het zo nauwkeurig mogelijk wordt vastgelegd. Ook moet er worden vastgelegd onder welke klimaatomstandigheden de gegevens verzameld zijn.

8. Referenties

Dipankar De; Flow behaviour of chemical fertilizers as affected by their properties;
Journal of Agricultural Engineering Research 1989; 42: 235-249

Kara M., Hofstee J.W.; Factors affecting the flowability of fertilizers through orifices;
International agrophysics 2000; 14: 67-72

Field A; Discovering statistics using SPSS; page 143-217 ; Sage publications; 2005

Bijlagen

Bijlage A

Kunstmestsoort Axan
 Nummer AN 0130

Analyse
 Monster 1

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	0.6	31.8	141.3	555.7	245.5	25.1	0.0
	0.0	2.6	47.0	199.4	599.6	139.4	12.0	0.0
	0.0	1.2	27.0	132.5	572.3	239.3	27.7	0.0

Dichtheid	1073.2	1062.5	1053.1
Flow	18.6	18.8	19.0
Storhoek	36.6	35.0	34.6

Monster 2

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	0.6	25.6	138.5	577.5	236.6	21.2	0.0
	0.0	2.1	46.9	165.4	579.4	184.0	22.2	0.0
	0.0	3.9	54.2	182.0	580.2	158.0	21.7	0.0

Dichtheid	1056.5	1055.6	1055.4
Flow	18.8	18.9	18.9
Storhoek	35.4	35.6	36.1

Monster 3

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	1.6	40.9	196.9	605.2	141.4	14.0	0.0
	0.5	3.0	43.7	183.5	562.9	190.7	15.7	0.0
	0.0	2.6	41.9	155.5	575.5	198.2	26.3	0.0

Dichtheid	1056.0	1058.5	1061.3
Flow	18.7	18.9	19.1
Storhoek	34.0	34.7	35.5

Monster 4

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	4.2	47.8	174.8	582.3	173.4	17.5	0.0
	0.2	4.7	46.8	133.6	514.4	281.7	18.6	0.0
	0.1	2.7	33.8	139.0	565.9	237.7	20.8	0.0

Dichtheid	1073.0	1070.8	1055.3
Flow	18.8	18.7	18.8
Storhoek	36.0	35.5	37.2

Kunstmestsoort KAS

Nummer AN 0153

Analyse
Monster 1

Zeeftoerenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	9.1	92.3	236.9	582.4	78.4	0.9	0.0
	0.0	6.3	82.3	223.3	592.3	95.8	0.0	0.0
	0.0	7.3	87.8	233.6	578.8	91.8	0.7	

Dichtheid	1043.6	1033.0	1041.2
Flow	18.7	18.6	18.5
Storhoek	35.3	38.3	35.8

Monster 2

Zeeftoerenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	6.8	114.1	316.6	516.6	45.9	0.0	0.0
	0.0	5.0	89.7	294.0	550.7	60.6	0.0	0.0
	0.2	6.7	104.1	301.3	526.6	59.7	1.4	0.0

Dichtheid	1037.6	1049.1	1047.5
Flow	18.4	18.5	18.3
Storhoek	35.6	35.8	36.5

Monster 3

Zeeftoerenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	7.5	131.0	339.3	486.7	35.4	0.1	0.0
	0.0	5.5	125.1	351.0	481.8	36.2	0.4	0.0
	0.0	5.8	106.5	330.3	514.1	42.4	0.9	0.0

Dichtheid	1041.9	1045.2	1049.5
Flow	18.0	18.1	18.2
Storhoek	35.5	35.0	36.0

Monster 4

Zeeftoerenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	3.5	82.2	305.8	561.4	47.1	0.0	0.0
	0.0	6.3	110.8	318.9	518.8	44.0	1.2	
	0.0	3.1	73.6	268.5	577.5	75.9	1.4	

Dichtheid	1045.8	1043.9	1051.6
Flow	18.0	18.2	18.1
Storhoek	34.7	37.3	35.4

Kunstmestsoort Linzer NAC

Nummer AN 0136

Analyse
Monster 1

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	1.5	24.1	106.2	313.2	301.8	233.7	19.5
	0.0	1.2	18.8	97.0	294.9	303.9	266.5	17.7
	0.0	0.8	21.2	95.5	288.3	297.3	277.6	19.3

Dichtheid	974.7	994.6	987.6
Flow	21.8	21.8	22.1
Storhoek	35.4	35.1	35.3

Monster 2

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	1.2	24.0	110.8	341.4	307.0	199.3	16.5
	0.0	1.1	21.6	108.0	346.5	303.6	202.7	16.5
	0.0	1.3	26.4	113.5	336.2	310.3	195.9	16.4

Dichtheid	981.6	995.3	975.5
Flow	21.7	21.6	21.8
Storhoek	35.5	36.0	36.2

Monster 3

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	2.7	34.8	134.7	340.3	301.5	174.3	11.7
	0.0	2.1	27.1	114.9	324.9	296.6	219.8	14.6
	0.0	1.1	22.3	102.1	310.9	304.6	238.4	20.6

Dichtheid	976.9	984.3	977.1
Flow	21.8	22.1	22.2
Storhoek	36.0	37.0	36.9

Monster 4

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	2.1	28.0	117.4	328.2	297.6	216.4	10.3
	0.0	1.3	20.3	95.5	323.0	304.1	241.3	14.5
	0.0	0.9	18.7	85.9	290.1	299.4	290.8	14.2

Dichtheid	983.6	988.2	983.3
Flow	21.9	21.9	21.9
Storhoek	34.3	37.8	35.7

Kunstmestsoort Nutramon

Analyse

Monster 1

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	5.6	77.2	174.1	469.6	246.5	27.0	0.0
	0.0	4.2	65.6	163.9	473.4	266.2	26.7	0.0
	0.0	4.3	61.0	158.8	488.0	261.5	26.4	0.0

Dichtheid

1054.0	1058.0	1050.0
--------	--------	--------

Flow

19.2	19.3	19.3
------	------	------

Stortheek

36.0	37.2	37.0
------	------	------

Monster 2

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	3.5	53.8	143.5	464.3	291.7	43.2	0.0
	0.0	5.8	70.5	170.7	462.9	260.5	29.6	0.0
	0.0	5.0	64.0	158.0	459.9	279.6	33.5	0.0

Dichtheid

1052.0	1050.0	1044.7
--------	--------	--------

Flow

19.1	19.4	19.3
------	------	------

Stortheek

35.9	35.0	36.5
------	------	------

Monster 3

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	7.0	62.6	160.3	452.2	271.0	46.9	0.0
	0.0	6.0	59.8	162.3	455.6	269.7	46.6	0.0
	0.0	8.0	64.6	159.2	448.3	272.5	47.3	

Dichtheid

1056.3	1047.7	1049.0
--------	--------	--------

Flow

19.0	19.2	19.2
------	------	------

Stortheek

35.2	36.1	37.5
------	------	------

Monster 4

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	8.5	82.5	184.6	454.2	241.6	28.6	0.0
	0.0	8.0	79.5	182.6	457.9	243.6	28.4	0.0
	0.0	9.0	84.0	186.6	451.8	239.6	29.0	0.0

Dichtheid

1057.1	1059.0	1050.0
--------	--------	--------

Flow

18.8	19.1	19.0
------	------	------

Stortheek

35.9	36.5	36.0
------	------	------

Kunstmestsoort Sulfan

Nummer AN 0086

Analyse
Monster 1

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	0.5	54.6	363.0	427.7	143.8	10.4	0.0
	0.0	0.8	29.1	210.2	498.2	251.8	9.9	0.0
	0.0	1.2	53.2	364.0	397.2	176.5	7.9	0.0

Dichtheid	1028.0	1017.0	1029.0
Flow	19.8	20.1	20.1
Storhoek	37.7	37.5	36.5

Monster 2

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	1.9	67.1	428.2	397.0	99.9	5.9	0.0
	0.0	0.6	47.0	359.5	431.9	153.1	7.9	0.0
	0.0	1.4	56.2	378.8	416.7	136.9	10.0	0.0

Dichtheid	1038.0	1037.0	1021.2
Flow	19.9	19.9	19.9
Storhoek	37.9	38.1	37.0

Monster 3

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	2.2	63.1	408.0	387.5	131.8	7.4	0.0
	0.0	2.7	78.5	429.2	390.4	93.2	6.0	0.0
	0.0	2.4	73.7	417.3	400.6	98.6	7.4	0.0

Dichtheid	1024.5	1021.4	1021.3
Flow	19.9	19.8	20.0
Storhoek	36.0	35.6	37.6

Monster 4

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	1.1	48.1	337.4	410.1	191.0	12.3	0.0
	0.0	1.9	81.1	430.4	393.5	86.1	7.0	0.0
	0.0	1.3	65.0	365.8	397.6	159.1	11.2	0.0

Dichtheid	1026.0	1019.6	1020.1
Flow	19.8	20.1	20.2
Storhoek	36.1	37.1	34.7

Kunstmestsoort Sulphur Gold

Nummer AN 0117

Analyse
Monster 1

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	66.9	505.0	250.8	162.8	14.5	0.0	0.0
	0.2	54.9	398.7	276.9	245.5	23.8	0.0	0.0
	0.3	64.0	425.4	253.1	229.5	27.7	0.0	0.0

Dichtheid	919.0	926.7	925.6
Flow	20.6	20.7	20.8
Storhoek	37.5	38.9	38.3

Monster 2

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	76.2	516.8	247.1	148.6	11.3	0.0	0.0
	0.3	55.5	417.5	270.4	235.8	20.5	0.0	0.0
	0.4	65.5	456.0	255.7	202.6	19.8	0.0	0.0

Dichtheid	913.0	931.3	926.3
Flow	20.9	20.7	20.8
Storhoek	37.5	38.0	37.8

Monster 3

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	84.5	444.5	242.9	195.6	32.5	0.0	0.0
	0.0	75.7	456.1	250.4	199.2	18.6	0.0	0.0
	0.0	92.1	443.4	246.7	201.0	16.8	0.0	0.0

Dichtheid	931.3	929.7	932.2
Flow	20.8	20.9	21.1
Storhoek	38.8	38.0	37.8

Monster 4

Zeeftorenfractionering	0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
	0.0	69.5	492.8	261.0	164.0	12.7	0.0	0.0
	0.0	58.5	433.6	273.3	214.5	20.1	0.0	0.0
	0.0	67.4	402.6	268.8	229.5	31.7	0.0	0.0

Dichtheid	934.8	937.1	934.9
Flow	20.7	20.9	20.8
Storhoek	37.9	37.7	39.6

Kunstmestsoort Linzer STAR

Nummer AN 0135

Analyse

Monster 1

Zeeftorenfractionering

0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
0.0	11.4	161.1	345.0	403.4	72.2	6.9	0.0
0.0	13.6	168.3	340.8	401.2	67.9	8.2	0.0
0.0	13.0	164.7	347.7	400.1	69.0	5.5	0.0

Dichtheid

1116.6	1110.1	1127.1
--------	--------	--------

Flow

16.8	16.9	16.8
------	------	------

Storhoek

36.0	35.5	35.0
------	------	------

Kunstmestsoort Linzer TIP

Nummer AN 0133

Analyse

Monster 1

Zeeftorenfractionering

0-1	1-2	2-2.8	2.8-3.35	3.35-4.0	4.0-4.75	4.75-5.6	5.6-6.75
0.0	8.3	124.1	357.8	448.6	59.9	1.3	0.0
0.0	9.4	130.3	343.9	443.7	70.5	2.2	0.0
0.0	13.0	144.2	353.4	411.7	75.6	2.1	

Dichtheid

1103.4	1100.0	1097.4
--------	--------	--------

Flow

16.4	16.4	16.3
------	------	------

Storhoek

35.5	33.7	35.0
------	------	------

Bijlage B

Tabel 1 Afwijkingen tussen model 0-36-72 op basis van dichtheid, storthoek en flow en de werkelijke afgifte

<i>Kunstmestsoort</i>	<i>Monster</i>	<i>Model 36</i>	<i>Model 45</i>	<i>Model 54</i>	<i>Model 63</i>	<i>Model 72</i>
Axan	1	0.69%	-3.19%	-1.94%	-0.76%	-0.37%
AN 0130	2	-0.99%	1.36%	-1.57%	-2.33%	1.27%
	3	-1.62%	0.05%	-1.32%	-1.47%	-1.36%
	4	1.98%	0.84%	3.45%	2.50%	0.62%
KAS Yara	1	1.67%	-0.99%	1.36%	1.50%	-3.45%
AN 0153	2	-2.13%	-0.92%	-0.33%	-0.89%	0.67%
	3	1.58%	0.74%	-2.97%	1.28%	0.46%
	4	-1.83%	-3.09%	1.21%	1.65%	1.82%
Linzer NAC	1	1.17%	-2.39%	-2.67%	-4.54%	-3.46%
AN 0136	2	0.49%	-4.20%	-9.29%	0.28%	2.40%
	3	3.34%	2.25%	-1.97%	0.46%	1.53%
	4	-3.08%	-2.31%	-1.18%	-3.37%	0.65%
Sulfan	1	-5.51%	3.07%	3.83%	3.02%	0.33%
AN 0086	2	-0.95%	5.70%	1.09%	2.75%	-2.17%
	3	5.16%	4.93%	-0.02%	-1.43%	4.38%
	4	-0.10%	-1.39%	-2.77%	-0.18%	-0.44%
Sulphur Gold	1	0.33%	-2.71%	-3.41%	2.56%	-1.46%
AN 0117	2	1.79%	-3.30%	-0.99%	-5.98%	0.87%
	3	-3.63%	-0.67%	-3.26%	-2.52%	0.45%
	4	2.50%	-2.34%	-0.64%	-0.17%	0.49%
Nutramon	1	-0.20%	0.31%	2.40%	-2.06%	-0.88%
	2	-4.68%	-0.46%	-0.13%	1.39%	-1.83%
	3	4.59%	1.25%	0.59%	2.79%	2.96%
	4	4.48%	1.26%	2.94%	0.02%	1.24%
Linzer TIP		4.29%	2.10%	0.56%	3.54%	3.55%
Linzer STAR		4.94%	3.28%	5.94%	5.05%	5.68%

Tabel 2 Afwijkingen tussen model 36-54-72 op basis van dichtheid, storthoek en flow en de werkelijke afgifte

<i>Kunstmestsoort</i>	<i>Monster</i>	<i>Model 36</i>	<i>Model 45</i>	<i>Model 54</i>	<i>Model 63</i>	<i>Model 72</i>
Axan	1	0.69%	-2.86%	-1.63%	-0.59%	-0.37%
AN 0130	2	-0.99%	1.42%	-1.50%	-2.29%	1.27%
	3	-1.62%	2.13%	0.68%	-0.34%	-1.36%
	4	1.98%	-0.89%	1.85%	1.60%	0.62%
KAS Yara	1	1.67%	-1.60%	0.78%	1.18%	-3.45%
AN 0153	2	-2.13%	-0.71%	-0.13%	-0.78%	0.67%
	3	1.58%	1.96%	-1.76%	1.93%	0.46%
	4	-1.83%	-2.60%	1.66%	1.90%	1.82%
Linzer NAC	1	1.17%	3.26%	2.69%	-1.43%	-3.46%
AN 0136	2	0.49%	0.00%	-5.10%	2.45%	2.40%
	3	3.34%	4.70%	0.47%	1.81%	1.53%
	4	-3.08%	1.68%	2.55%	-1.20%	0.65%
Sulfan	1	-5.51%	1.40%	2.25%	2.13%	0.33%
AN 0086	2	-0.95%	2.69%	-1.93%	1.10%	-2.17%
	3	5.16%	5.31%	0.37%	-1.21%	4.38%
	4	-0.10%	-0.43%	-1.84%	0.33%	-0.44%
Sulphur Gold	1	0.33%	-0.28%	-1.05%	3.84%	-1.46%
AN 0117	2	1.79%	0.34%	2.44%	-3.92%	0.87%
	3	-3.63%	1.27%	-1.34%	-1.43%	0.45%
	4	2.50%	-1.18%	0.46%	0.45%	0.49%
Nutramon	1	-0.20%	-1.84%	0.40%	-3.22%	-0.88%
	2	-4.68%	-0.24%	0.07%	1.50%	-1.83%
	3	4.59%	0.23%	-0.39%	2.25%	2.96%
	4	4.48%	0.45%	2.18%	-0.42%	1.24%
Linzer TIP		4.29%	2.07%	0.53%	3.53%	3.55%
Linzer STAR		4.94%	0.71%	3.56%	3.71%	5.68%

Tabel 3 Afwijkingen tussen model 36-54-72 op basis van dichtheid en storthoek en de werkelijke afgifte

<i>Kunstmestsoort</i>	<i>Monster</i>	<i>Model 36</i>	<i>Model 45</i>	<i>Model 54</i>	<i>Model 63</i>	<i>Model 72</i>
Axan	1	0.16%	-3.32%	-2.07%	-1.03%	-0.82%
AN 0130	2	-1.53%	0.97%	-1.95%	-2.75%	0.82%
	3	-3.17%	0.86%	-0.49%	-1.45%	-2.42%
	4	2.60%	-0.29%	2.34%	1.97%	0.89%
KAS Yara	1	-0.55%	-3.66%	-1.03%	-0.47%	-5.04%
AN 0153	2	-5.48%	-3.64%	-2.74%	-3.15%	-1.48%
	3	-3.44%	-2.42%	-5.80%	-1.58%	-2.78%
	4	-6.51%	-6.76%	-1.90%	-1.30%	-1.09%
Linzer NAC	1	4.06%	5.64%	4.77%	0.47%	-1.77%
AN 0136	2	3.60%	2.69%	-2.64%	4.45%	4.14%
	3	7.86%	8.61%	4.05%	4.92%	4.28%
	4	0.81%	4.87%	5.32%	1.32%	2.82%
Sulfan	1	-2.62%	3.89%	4.41%	3.98%	1.93%
AN 0086	2	2.51%	5.80%	0.94%	3.48%	-0.07%
	3	6.12%	6.19%	1.14%	-0.57%	4.86%
	4	1.44%	0.96%	-0.64%	1.32%	0.39%
Sulphur Gold	1	-2.68%	-2.94%	-3.49%	1.70%	-3.56%
AN 0117	2	-1.56%	-2.61%	-0.17%	-6.48%	-1.42%
	3	-5.06%	0.08%	-2.47%	-2.50%	-0.57%
	4	1.37%	-2.21%	-0.48%	-0.45%	-0.39%
Nutramon	1	1.65%	-0.10%	1.87%	-1.94%	0.16%
	2	-4.29%	0.11%	0.34%	1.68%	-1.73%
	3	5.30%	0.92%	0.19%	2.70%	3.29%
	4	4.77%	0.74%	2.40%	-0.28%	1.30%
Linzer TIP		-4.23%	-5.67%	-6.40%	-2.44%	-1.77%
Linzer STAR		1.20%	-2.85%	0.47%	0.97%	3.28%

Tabel 4 Afwijkingen tussen model 36-54-72 op basis van dichtheid en flow en de werkelijke afgifte

<i>Kunstmestsoort</i>	<i>Monster</i>	<i>Model 36</i>	<i>Model 45</i>	<i>Model 54</i>	<i>Model 63</i>	<i>Model 72</i>
Axan	1	1.44%	-3.01%	-1.88%	-0.65%	-0.13%
AN 0130	2	-0.68%	1.30%	-1.68%	-2.39%	1.31%
	3	1.11%	1.87%	0.11%	-0.24%	-0.23%
	4	0.47%	-0.89%	1.98%	1.35%	-0.18%
KAS Yara	1	1.18%	-1.68%	0.73%	1.02%	-3.80%
AN 0153	2	-1.43%	-0.86%	-0.37%	-0.84%	0.88%
	3	3.64%	1.73%	-2.25%	1.98%	1.32%
	4	-0.54%	-2.78%	1.32%	1.89%	2.30%
Linzer NAC	1	4.54%	2.94%	2.01%	-1.29%	-1.98%
AN 0136	2	2.19%	-0.22%	-5.54%	2.46%	3.05%
	3	2.90%	4.61%	0.39%	1.64%	1.23%
	4	-1.59%	1.47%	2.19%	-1.22%	1.19%
Sulfan	1	-8.81%	1.48%	2.63%	1.76%	-1.19%
AN 0086	2	-5.62%	2.86%	-1.29%	0.60%	-4.43%
	3	4.63%	5.24%	0.33%	-1.39%	4.03%
	4	-0.01%	-0.54%	-1.99%	0.21%	-0.50%
Sulphur Gold	1	-0.32%	-0.37%	-1.10%	3.66%	-1.88%
AN 0117	2	2.41%	0.17%	2.19%	-4.00%	1.07%
	3	-4.91%	1.22%	-1.28%	-1.67%	-0.24%
	4	0.59%	-1.18%	0.64%	0.16%	-0.54%
Nutramon	1	-2.76%	-1.78%	0.70%	-3.56%	-2.15%
	2	-4.57%	-0.35%	-0.07%	1.39%	-1.89%
	3	3.41%	0.20%	-0.32%	2.03%	2.32%
	4	3.72%	0.39%	2.18%	-0.61%	0.77%
Linzer TIP		6.86%	1.81%	-0.05%	3.64%	4.67%
Linzer STAR		4.58%	0.65%	3.51%	3.57%	5.42%

Tabel 5 Waardes van a.b.c van de kwadratische vergelijking om de afgifte curve te voorspellen

<i>Kunstmestsoort</i>	<i>Monster</i>	<i>Dichtheid. storthoek en flow</i>			<i>Dichtheid en flow</i>		
		A	B	C	A	B	C
Axan	1	0.042	0.49	-3.5	0.045	0.18	4.3
AN 0130	2	0.043	0.39	-0.8	0.044	0.25	2.9
	3	0.034	1.25	-22.8	0.044	0.23	3.1
	4	0.051	-0.41	19.2	0.045	0.14	5.2
KAS Yara	1	0.044	0.15	6.8	0.043	0.31	2.8
AN 0153	2	0.041	0.51	-2.3	0.044	0.22	5.0
	3	0.037	0.98	-13.8	0.045	0.15	7.3
	4	0.040	0.65	-5.4	0.045	0.14	7.7
Linzer NAC	1	0.017	2.47	-54.1	0.028	1.35	-25.6
AN 0136	2	0.023	1.91	-39.7	0.028	1.33	-24.9
	3	0.028	1.31	-24.4	0.027	1.42	-27.3
	4	0.023	1.84	-38.2	0.028	1.35	-25.6
Sulfan	1	0.047	-0.35	18.0	0.037	0.72	-9.1
AN 0086	2	0.054	-0.97	33.6	0.038	0.63	-7.2
	3	0.039	0.54	-4.2	0.037	0.71	-8.6
	4	0.037	0.74	-10.0	0.038	0.68	-8.4
Sulphur Gold	1	0.025	1.46	-23.5	0.023	1.65	-28.0
AN 0117	2	0.021	1.91	-34.9	0.023	1.67	-28.7
	3	0.027	1.26	-19.0	0.024	1.63	-28.4
	4	0.030	0.95	-11.3	0.024	1.57	-26.9
Nutramon	1	0.051	-0.57	23.3	0.043	0.33	0.3
	2	0.041	0.44	-2.3	0.042	0.38	-0.7
	3	0.047	-0.09	11.2	0.043	0.34	0.5
	4	0.046	0.00	9.0	0.043	0.27	2.2
Linzer TIP	1	0.046	0.44	0.4	0.058	-0.72	30.1
Linzer STAR	1	0.059	-0.88	32.0	0.058	-0.74	28.5

Tabel 6 Afwijkingen per kunstmestsoort tussen werkelijke flow en de gemeten flow

Kunstmestsoort	Monster	Model dichtheid. D50 en storthoek	Model dichtheid en D50
Axan	1	2.40%	0.63%
AN 0130	2	1.58%	0.05%
	3	3.44%	0.78%
	4	1.30%	0.61%
KAS Yara	1	-1.67%	-2.71%
AN 0153	2	-0.55%	-2.27%
	3	-0.65%	-3.06%
	4	-1.95%	-3.85%
Linzer NAC	1	2.34%	-0.12%
AN 0136	2	1.39%	-0.33%
	3	1.11%	0.37%
	4	1.58%	0.00%
Sulfan	1	2.60%	2.41%
AN 0086	2	3.76%	3.98%
	3	4.85%	3.30%
	4	5.96%	4.13%
Sulphur Gold	1	-0.02%	-1.60%
AN 0117	2	1.68%	-0.59%
	3	2.92%	1.35%
	4	1.96%	0.79%
Nutramon	1	1.52%	1.26%
	2	1.82%	0.43%
	3	0.83%	0.08%
	4	1.39%	0.37%
Linzer TIP		-3.07%	-5.72%
Linzer STAR		1.24%	-0.27%