

Afstudeerverslag

Verstoring in de gewichtsmeting

Kverneland Group Nieuw Vennep

Bart Buzink



Afstudeerverslag

Kverneland Group Nieuw-Vennep



Beroepsproduct: Afstudeerverslag

Student: Bart Buzink (09013326)

Periode: Afstudeerperiode

Ingeleverd op: 4-06-2013

Gecheckt door: Arjan Wieringa, Peter Buzink

Stagebegeleider: Arjan Wieringa

Stage coach: A. Schaap

Versie: 2.5

Plaats: Nieuw-Vennep

Voorwoord

Dit rapport is geschreven in het kader van het afstuderen aan de Haagse Hogeschool. De afstudeeropdracht is uitgevoerd bij de Kverneland Group te Nieuw-Vennep. Bij de Kverneland Group produceren ze een breed scala aan producten, zowel van het merk Vicon als het merk Kverneland. Deze producten worden op verschillende locaties ter wereld geproduceerd. Het scala aan producten dat de Kverneland Group produceert is grofweg in te delen in verschillende categorieën: grondbewerkingsmachines (ploegen, cultivators, schijveneg, etc.), spuiten (getrokken & gedragen spuiten), kunstmeststrooiers, zaaimachines, grasbewerkingsmachines (balenpersmachine, maaiers, opraapwagens, etc.) en voedermachines (voermengwagens).

In Nieuw-Vennep worden de spuiten en kunstmeststrooiers vervaardigd. Deze producten worden volledig ontworpen en opgebouwd in Nieuw-Vennep. Nadat een ontwerp getekend en uitgedacht is wordt er in de speciale testruimtes gekeken of de nieuwe functie zijn werk naar behoren doet. Elke productlijn (kunstmeststrooiers en spuiten) heeft een eigen testruimte. Dit onderzoek is volbracht in de testruimte van de kunstmeststrooiers.

De testruimte waarin de kunstmeststrooiers getest worden is reeds vernieuwd en op een nieuwe locatie volledig opnieuw opgebouwd. Dit is op het moment het meest geavanceerde testcentrum als het gaat om kunstmeststrooiers. In de testruimte van de kunstmeststrooiers zijn verschillende testmogelijkheden aanwezig. De testen geven elk inzicht in veel voorkomende situaties, waardoor de juiste afstelling van een machine gevonden kan worden. Kverneland Group besteed veel aandacht aan het testen van haar producten, kwaliteit staat bij de producten altijd voorop.

Om deze kwaliteit te blijven waarborgen is er onderzoek gedaan. Dit rapport is bestemd voor zowel de R&D afdeling van de Kverneland Group als voor de Haagse Hogeschool. De schoolinstelling zal beoordelen of de opdracht voldaan heeft aan de eisen en aan de hand daarvan het onderzoek beoordelen. De R&D afdeling van de Kverneland Group kan met dit onderzoek de kwaliteit van de testmeting verbeteren.

Ten slotte vermeld ik dat dit rapport mede tot stand is gekomen dankzij de hulp van de heer Wieringa en de gehele R&D afdeling van Kverneland. Deze personen wil ik bedanken voor hun gedetailleerde commentaar, technische ondersteuning en met name de mogelijkheid om het onderzoek uit te voeren.

Nieuw-Vennep, Mei 2013

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting.....	5
Verklarende woordenlijst.....	6
1. Inleiding	7
2. Bedrijfsinformatie	8
2.1 Bedrijfsomschrijving	8
2.2 Afdeling.....	9
2.3 Organisatie.....	10
3. Opdrachtoomschrijving	11
3.1 Probleemstelling.....	12
3.2 Onderzoek naar de mogelijke oorzaken van de verstoring	13
3.3 Pakket van Eisen.....	14
3.4 Functieanalyse.....	15
4. Onderzoeksplan	16
4.1 Mechanisch onderzoek.....	16
4.2 Elektronische onderzoek.....	16
5. Onderzoeksresultaten	17
5.1 Elektrische gedeelte van het systeem	17
5.2 Mechanische gedeelte van het systeem.....	20
5.2.1 De baan	21
5.2.2 De strooieropstelling.....	25
5.2.3 Overige verstoringen	28
5.2.4 Conclusies testresultaten	30
6 Detail analyse.....	31
6.1 Eigenfrequentie analyse	31
6.1.1 Simulatie.....	31
6.1.2 Invloeden op de eigenfrequentie	32
6.2 Modaal analyse	34
6.2.1 De modaal meting.....	34
6.2.2 Aanpassing computermodel.....	37

7	Oplossingen	38
7.1	Eigenfrequentie	38
7.1.1	Strooi-installatie.....	38
7.1.2	Meetinstallatie.....	38
7.2	Stuiterende korrels.....	39
7.3	Windverstoring.....	40
8	Controletesten praktijk	41
8.1	Smalle trechters	41
8.2	Absorberende laag	41
8.3	Vernieuwde bakhouder	41
9	Conclusie	42
9.1	Aanbeveling.....	43
10	Literatuurlijst.....	44

Samenvatting

Dit rapport behandelt het onderzoek naar de verstoringen in het meetsignaal bij de testbaan voor kunstmeststrooiers van Kverneland Group Nieuw-Vennep. Het doel van het rapport is om de verstoring op te sporen en deze te verhelpen. In het rapport gaan de achtereenvolgende hoofdstukken stapsgewijs in op het onderzoek. Zo wordt het volgende besproken:

- **De omgeving waar het onderzoek wordt uitgevoerd**
Hier wordt het bedrijf, de afdeling en de testruimte waar de afstudeerstage gelopen is besproken en er wordt uitgelegd hoe de installatie werkt
- **Het daadwerkelijke probleem**
Het probleem wordt afgebakend
- **De opzet van het onderzoek, manier van meten en de meetresultaten**
De manier van aanpak wordt besproken en onder de loep genomen waarna de resultaten uitvoerig worden doorgelicht en teruggekoppeld
- **Oplossingen aan de hand van de resultaten en testen in de praktijk**
In dit hoofdstuk worden oplossingen gesimuleerd in een computermodel waarna ze in werkelijkheid getest worden
- **Conclusies en aanbevelingen richting Kverneland**
Alle aspecten worden samengevat en er wordt een duidelijk advies gegeven aan Kverneland hoe ze het probleem kunnen oplossen

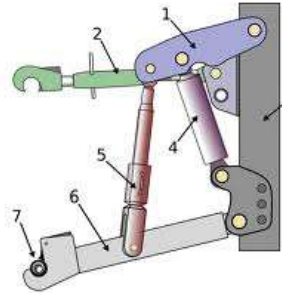
Tijdens het onderzoek zijn veel aspecten naar voren gekomen die de meting niet verstoren, deze liggen met name rondom de testruimte van Kverneland. Aspecten die de meting wel verstoren zijn: de geometrie van de strooi-installatie, wind vanuit de schoepen en de massa/vorm van de kunstmestkorrels zelf.

De conclusie van het onderzoek is dat Kverneland Group Nieuw-Vennep haar testopstelling voor het meten van de strooipatronen van de kunstmeststrooiers kan verbeteren door:

- De vernieuwde bakhouders te plaatsen
- Smallere trechters in de baan te zetten
- Een absorberende laag aan de onderzijde van de meetbakken aan te brengen
- Eventueel buitenzijde secties te ondersteunen wanneer deze meer verstoren dan de binnenste
- Kleinere loadcellen te plaatsen

Wanneer deze aanpassingen worden geïmplementeerd zal het meetsignaal sterk verbeteren. De sterke verbetering van het signaal komt voort uit de verstoring-signaal verhouding: doordat er minder verstoring is in het meetsignaal is het uiteindelijke signaal zuiverder. Een zuiver signaal resulteert in een egale grafiek en een beter meetresultaat.

Verklarende woordenlijst

Woorden	Betekenis
Driepuntsophanging	De driepuntsophanging is een onderdeel dat tegenwoordig bij alle tractoren te vinden is. Het is een onderdeel om werktuigen snel aan te koppelen en kan zich zowel aan de voorzijde als aan de achterzijde van de tractor bevinden. 
Load cell	Load cell is de Engelse benaming voor een weegcel. Een weegcel is een elektronische sensor die doormiddel van rekstrookjes een kracht omzet in een elektrisch signaal. De omzetting gebeurt als volgt: door het gewicht vervormt het metalen element, de vervorming (rek) van het element wordt gemeten met een vervormingssensor die het vervolgens omzet in een elektrisch signaal.
Strooibeeld	Een strooibeeld is een afbeelding die weergeeft wat er daadwerkelijk gestrooid is achter de trekker na één werkgang. Hierin kan men zien wat voor vorm er is gestrooid en hoe ver de korrels verspreid zijn. Aan de hand van deze afbeelding (2D en 3D) kan men zien wat er verbeterd kan worden.
Terminal	De terminal is de computer die zich in de trekker bevindt waarmee de kunstmeststrooier of een ander werktuig aangestuurd kan worden. In deze computer kunnen waardes veranderd worden waardoor instellingen van het werktuig mee veranderen. Bij de meest uitgebreide werktuigen kunnen alle instellingen veranderd worden waardoor de boer niet meer uit de trekker hoeft te komen.
Volveldsbeelden	Een volveldsbeeld is een beeld wat men krijgt wanneer men het gehele veld bestrooid heeft. Dit krijgt men door een aantal keer heen en weer te rijden waardoor er een kleine overlap is in het strooi gebied. Tijdens het testen wordt dit beeld gecreëerd om te zien of er niet te veel of te weinig overlap is en of er eventuele aanpassingen nodig zijn aan het strooi beeld.
Werkgang	Een werkgang is wanneer de boer met zijn trekker van de ene kant naar de andere kant van het land is gereden terwijl deze een bewerking uitvoert. Het aantal werkgangen is het aantal keren dat de boer met zijn trekker over het land moet om een handeling voltooid te krijgen.

1. Inleiding

Kverneland Group produceert kunstmeststrooiers in allerlei verschillende maten en uitvoeringen. De ontwikkelingen die hiermee gepaard gaan brengen verbeterpunten of geheel nieuwe machines voort.

Wanneer er een nieuwe kunstmeststrooier is ontwikkeld of een nieuwe functie/ onderdeel aan de machine is toegevoegd, zal deze getest moeten worden. Deze testen worden uitgevoerd in het testcentrum van Kverneland Group Nieuw-Vennep. In de testruimte bevindt zich een testopstelling die het strooibeeld van de kunstmeststrooier in beeld brengt. Het strooibeeld is het beeld wat in 2D en 3D weergeeft wat er daadwerkelijk aan kunstmest gestrooid is op het veld. Aangezien dit zo goed mogelijk dient te zijn bij verschillende werkbreedtes worden alle instellingen getest, om zo de juiste te vinden.

De testopstelling bestaat uit een bok waarop een kunstmeststrooier bevestigd wordt. Deze bok draait een ronde van 50 tot 300 graden. Wanneer de kunstmeststrooier met de bok meebeweegt, draait deze over een meetbaan die recht voor de bok is geplaatst. De meetbaan bestaat uit secties die zijn opgedeeld in vier vakken. Elk vak bestaat uit een trechter waaronder een meetbak is bevestigd. Door te meten op welk moment er een korrel in de bak valt kan er een 3D beeld gemaakt worden. De meting van het moment waarop de korrel in de bak valt gebeurt door middel van het meten van de kracht die de massa creëert in combinatie met de tijd.

Wanneer de meting start worden alle bakjes op 0 gram getarreed, vervolgens meet de computer elke 200 milliseconden de massa in het bakje. Dit neemt normaal gesproken alleen maar toe aangezien er geen korrels uit de bakken verdwijnen. Toch is er in de meting te zien dat er pieken en dalen in de grafiek zitten, dit betekent dat er massa is gemeten welke vervolgens niet in de bak aanwezig is. Er is een factor die de meting verstoord waardoor er geen goed 3D beeld gemaakt kan worden.

Dit onderzoek is er op gericht de oorzaak van het probleem op te sporen en te verhelpen. Het opsporen van de oorzaak van het probleem zal gebeuren door middel van een onderzoek naar mogelijk versturende factoren. Dit onderzoek laat zien wat voor effect de versturende factor heeft op de meting. Na het vaststellen van de oorzaken van de verstoringen worden er oplossingen uitgewerkt om de storingen te verhelpen. Deze worden in de testopstelling verwerkt om vervolgens getest te worden.

Dit afstudeerverslag geeft het inhoudelijke verloop van het onderzoek weer gedurende het totale onderzoek. Het afstudeerverslag is gedurende de stageperioden aangevuld en zal uiteindelijk worden voltooid op 31 mei 2013. Het is samengesteld uit de beroepsproducten zoals die geleerd zijn op de Haagse Hogeschool: het plan van aanpak, het conceptrapport en het technisch product dossier. Deze beroepsproducten zijn verwerkt in één verslag.

In het verslag vindt men de stappen die tijdens het project genomen zijn terug in de hoofdstukindeling van het rapport. Gemaakte keuzes zijn terug te vinden in het verslag met daarbij de motivatie voor de keuze.

2. Bedrijfsinformatie

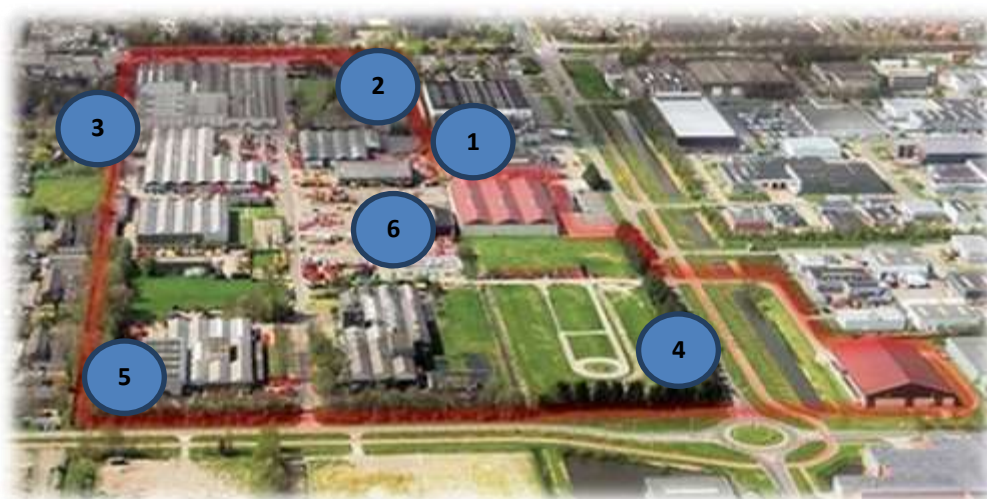
De afstudeerstage van de opleiding Werktuigbouwkunde in het tweede semester van het vierde jaar is vervuld bij Kverneland Group Nieuw-Vennep. Het doel van het afstuderen is om te laten zien wat er in de opleiding werktuigbouwkunde geleerd is en dit toe te passen op een casus in de praktijk. Om deze opdracht te vervullen is er onderzoek gedaan in de testruimte van de Research & Development afdeling van de Kverneland Group Nieuw-Vennep. Het onderzoek zal volgens de eisen en wensen van het bedrijf worden uitgevoerd.

Om inzicht te geven in het bedrijf en haar organisatie zijn er een aantal onderdelen in dit hoofdstuk toegelicht, hierdoor ontstaat een goed beeld van de organisatie.

2.1 Bedrijfsomschrijving

Kverneland Group is een producent van verschillende landbouwwerktuigen. Met 8 productievestigingen over de gehele wereld (Duitsland, Nederland, Noorwegen, Denemarken, Frankrijk, Italië, Rusland en China) en haar eigen verkoopafdelingen in 19 landen is Kverneland een van de grootste fabrikanten van landbouwwerktuigen ter wereld. Kort geleden is Kverneland overgenomen door Kubota waardoor het bij een groter concern hoort.

In Nieuw-Vennep worden spuiten en kunstmeststrooiers vervaardigd. Niet alleen de vervaardiging van deze producten maar ook de ontwikkeling en het testen van de producten gebeurt in Nieuw-Vennep. Bij Kverneland is het gebruikelijk dat elke vestiging haar eigen producten ontwikkelt en vervaardigt. In een luchtfoto is het 14,5 hectare grote bedrijventerrein van Kverneland Nieuw-Vennep te zien, zie afbeelding 2.1.



1. Strooiertesthal
2. R&D afdeling
3. Fabricage
4. Testterrein
5. Cursusgebouw
6. Opslag

Afbeelding 2.1 Luchtfoto Kverneland Nieuw-Vennep

Meer gedetailleerde informatie is te vinden op www.werkenbijkvernelandgroup.nl of www.kvernelandgroup.com. Hier vindt u alle producten die geproduceerd worden en de historie van het bedrijf.

2.2 Afdeling

Het onderzoek is bij de Research & Development afdeling en bij de testruimte voor de kunstmeststrooiers uitgevoerd. De afdeling R&D houdt zich bezig met het ontwikkelen van nieuwe, en het verbeteren van bestaande kunstmeststrooi- en spuitmachines. De R&D afdeling is grofweg opgesplitst in twee delen: de constructeurs voor de kunstmeststrooiers (2 constructeurs + 1 stagiair) en een groep constructeurs voor de spuiten (+/- 10 constructeurs). Naast de constructeurs zijn er een aantal personen die in de R&D-werkplaats de prototypes bouwen. Wanneer er prototypes zijn of verbeteringen zijn aangebracht aan bestaande machines worden deze getest in de daarvoor bestemde testruimtes. Hier zijn specialisten aanwezig die bij de R&D afdeling horen.

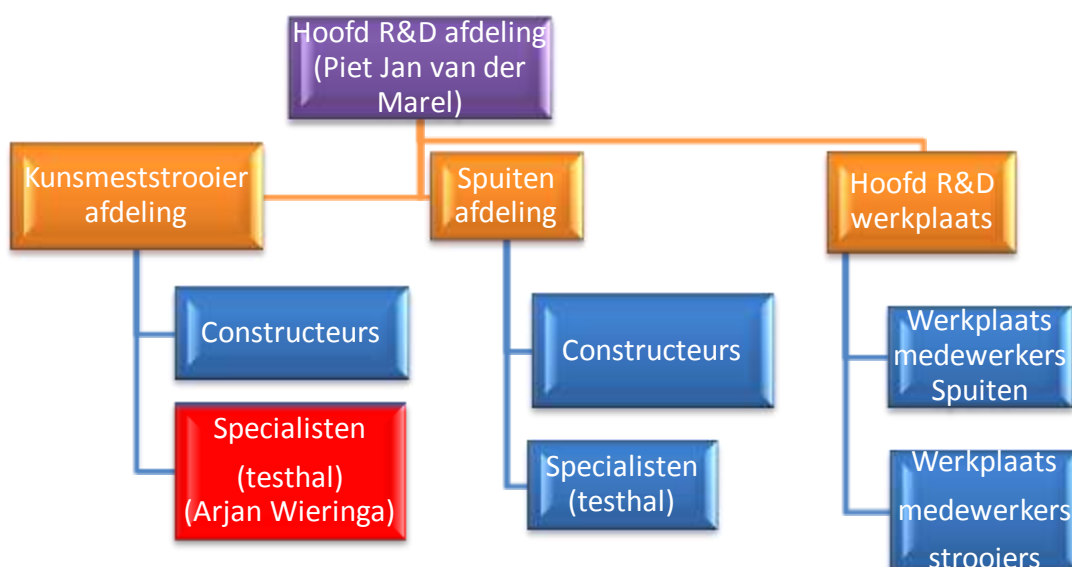
De constructeurs verzorgen met 3D tekenprogramma's de ontwerpen, de specialisten testen in de testruimtes de nieuwe onderdelen of aanpassingen. Dit onderzoek valt onder de R&D afdeling en vindt plaats in de test-hal van de kunstmeststrooiers. Hier bevindt zich de kunstmeststrooier specialist (Arjan Wieringa) die advies heeft gegeven in het onderzoek naar de testopstelling.

De test-hal bestaat uit de daadwerkelijke hal waarin de testopstellingen staan, met daarbij een kantoor waar de metingen worden geanalyseerd.

In de test-hal zelf worden niet alleen nieuwe producten of onderdelen getest maar ook nieuwe kunstmestsoorten. Hiermee wordt de juiste afstelling voor de nieuwe kunstmestsoort op elke machine gevonden. Wanneer deze gevonden zijn voor elke werkbreedte, worden deze ingevoerd in de tabellen die vervolgens in de tabellenboekjes komen die bij nieuwe machines worden geleverd. Op internet is er een applicatie die aangeeft welke instellingen voor de kunstmeststrooier optimaal zijn voor de betreffende kunstmest. Nieuwe gegevens worden online bijgewerkt waardoor de database altijd up-to-date is.

2.3 Organisatie

De Kverneland Group is van oorsprong een Noors bedrijf dat uitgegroeid is over de gehele wereld. De locatie in Nieuw-Vennep behoorde eerst toe aan het merk Vicon, een producent van kunstmeststrooiers. Later is Vicon overgenomen door de Kverneland Group. Door de overname zijn er een aantal wijzigingen doorgevoerd in de structuur van het bedrijf. De organisatie van de R&D afdeling is weergegeven in figuur 2.1:



Figuur 2.1 Organigram R&D afdeling Kverneland Nieuw-Vennep

Zoals te zien is in het organigram is de structuur van de R&D-afdeling redelijk plat. Dit komt doordat een persoon de leiding heeft over de gehele R&D afdeling. De korte communicatielijnen in combinatie met de hechtheid van het team zorgt ervoor dat problemen snel opgelost worden.

De afdeling die in het rood is weergegeven is de betreffende afdeling waar het gehele onderzoek is uitgevoerd.

Ondanks dat de testruimte zich in een apart gebouw bevindt is men op de hoogte over de gang van zaken binnen de R&D-afdeling. Dit komt met name door de maandelijkse vergadering waarbij de R&D afdeling bij elkaar komt om te bespreken waar op dat moment aan gewerkt wordt en hoe het er voor staat. Eventuele opmerkingen of verbeterpunten worden aangegeven tijdens deze vergadering.

3. Opdrachtschrijving

Kverneland beschikt over een ultramoderne test-hal voor haar kunstmeststrooiers, zie afbeelding 3.1 onderaan de pagina. Deze hal is minder dan een jaar oud en bevat de nieuwste testopstellingen. Voorafgaand aan deze testruimte was er een test-hal buiten het terrein waarbij met een trekker over bakken in de vloer werd gereden en de meting pas na het strooien werd gestart. In de nieuwe hal gebeurt de meting automatisch, de kunstmeststrooier draait automatisch rond waarna de meting start. Deze meet zolang de kunstmeststrooier draait en verwerkt dit in een 3D beeld. De omstandigheden voor de meting zijn constant.

De nieuwe opstelling brengt echter problemen met zich mee. De meting vertoont namelijk verstoringen, in de grafieken lijkt het alsof de massa in de bakjes soms toeneemt en vervolgens afneemt. Dit terwijl er in werkelijkheid alleen maar massa bij kan komen door middel van vallende kunstmestkorrels.

De opdracht is om de oorzaak van de verstoringen te vinden. Dit gebeurt door middel van een onderzoek waarbij alle mogelijke versturende aspecten worden onderzocht. Om de versturende aspecten te vinden worden verschillende situaties uitvergroot, zo is het effect van de specifieke situatie goed te meten. Uit het onderzoek komt naar voren waar de verstoring vandaan komt, hier wordt vervolgens een oplossing voor bedacht.

Wanneer de versturende oorzaken bekend zijn, zullen er oplossingen bedacht worden. Deze oplossingen zullen daadwerkelijk gefabriceerd worden waarna getest wordt om te kijken of het probleem verholpen is. Er wordt rekening gehouden met het bestaande leegstelsel, dit stelsel zorgt ervoor dat met een druk op de knop alle bakjes geleegd worden. Het leegstelsel mag niet verhinderd worden door eventuele aanpassingen, de meetbaan moet met de verbeterde punten blijven functioneren zoals hij dat nu doet.

In de onderstaande afbeeldingen is de testruimte te zien. De kunstmeststrooier hangt in de bok die over de baan heen draait. De lange rij met bakken staan loodrecht op de bok, zoals te zien is in figuur 3.2.



Afbeelding 3.1 Achteraanzicht van de baan strooier + lange rij bakken waarin gemeten wordt.



Afbeelding 3.2 Vooraanzicht strooier (camera op de meetbaan)

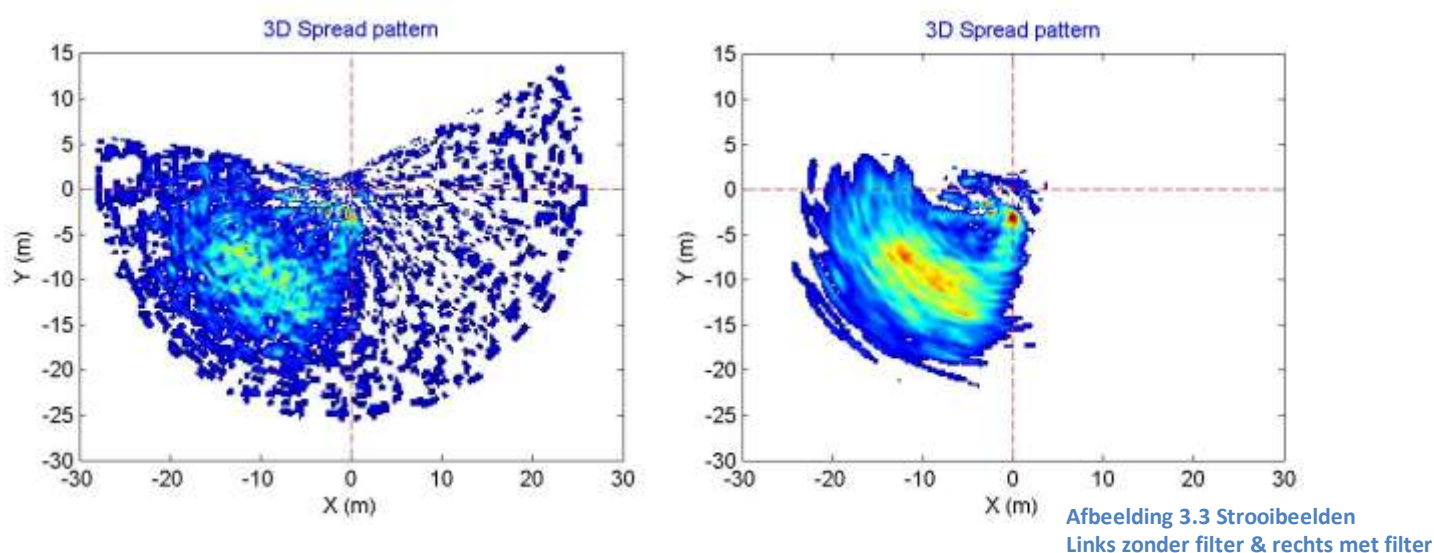
3.1 Probleemstelling

De verstoring in het meetsignaal veroorzaakt een verstoord 3D-beeld. Het 3D -/strooibeeld geeft aan waar de meeste kunstmestkorrels liggen, door de foutieve meting worden ook plekken buiten het daadwerkelijke strooiveld weergegeven. Plekken waar kunstmest nooit terecht kan komen zijn hierdoor toch te zien in het strooibeeld. De verstoring van het 3D beeld maakt dat het advies (voor de afstelling van de machine) minder nauwkeurig is.

Om dit probleem tijdelijk op te lossen zijn er op de computer twee filters aangebracht. De eerste filter zorgt dat de gemiddelde verstoring die in de meting zit eruit wordt gefilterd. De gemiddelde verstoring vindt zijn oorsprong bij de loadcellen, deze hebben een marge waarin ze kunnen meten. Hierdoor ontstaat een kleine verstoring welke altijd zal blijven. Het tweede filter zorgt ervoor dat de verstoring (die onderzocht is) er redelijk uitgefilterd wordt. Dit wordt gedaan door van tien metingen het gemiddelde te nemen. Deze oplossing zorgt ervoor dat het beeld redelijk stabiel is, bij grote verstoringen is de verstoring wel zichtbaar in het meetbeeld.

Om het probleem aan te pakken wordt er naar de bron van het probleem gezocht. Aangezien de bron niet bekend is richt het onderzoek zich op de testopstelling, deze meet de verstoring en leidt het onderzoek naar de bron/veroorzaker van het probleem. Feit is dat er altijd een filter over de meting gelegd kan worden, dit is echter niet de gewenste situatie. Om een goed advies te geven aan de gebruikers moet de werkelijke situatie zo goed mogelijk gemeten worden, dit houdt in dat er geen verstoring in de meting mag zitten.

Om een beeld te geven van de huidige situatie en de beoogde verbetering is hieronder in afbeelding 3.3 een beeld weergegeven waarbij geen filters zijn gebruikt tegenover een beeld zoals deze in de huidige situatie (met filters) wordt gebruikt.



Zoals te zien is in de metingen geeft de linker meting een vertekend beeld. De rechter meting geeft de werkelijke situatie weer op wat vlekken na. Het rechterbeeld is dan ook het beoogde doel om te halen zonder dat er filters aan te pas komen. Let op: er wordt met een zijde gestrooid, het werkelijke strooibeeld moet nog gecreëerd worden door het eenzijdige strooibeeld te spiegelen!

3.2 Onderzoek naar de mogelijke oorzaken van de verstoring

Om het onderzoek goed van start te laten gaan is de huidige situatie vergeleken met de oude situatie, hieruit kunnen conclusies getrokken worden die het onderzoek afbakenen.

3.2.1 Verschil met oude situatie

Doordat in de oude hal een andere manier van meten werd toegepast (over de baan heen rijden + strooien, achteraf pas meten) waren er geen verstoringen die de meting verstoorden, de bakken waren in rust. In de nieuwe situatie meten de loadcellen gelijk wanneer er korrels in de bak vallen waardoor deze nooit in de ruststand zijn tijdens het meten. Het sterke vermoeden bestaat dat de foutieve meting wordt veroorzaakt door trillingen. De meetinstallatie is exact hetzelfde als in de oude testruimte, het enige verschil is dat de meting van statisch naar dynamisch is gegaan. Ook de hoogte van de bakken ten opzichten van de hoogte van de strooier is gelijk gebleven. Onderdelen die veranderd zijn qua meting en invloed kunnen hebben op de verstoring zijn:

- Manier van strooien (over de bakken heen rijden vs. ronddraaien op de bok)
- Manier van meten (1 meting nadat er gestrooid is vs. continue per 200 milliseconden meten)
- Bewegende componenten tijdens de meting (stilstaande baan vs. draaiende kunstmeststrooier)
- Ophanging van de weegcellen

3.2.2 Analyse van de mogelijk oorzaken

Om te ontdekken waar de verstoringen vandaan komen wordt er naar de constructie van de baan gekeken, aangezien deze geheel nieuw is. In de oude situatie was de meting een moment opname van de massa die op dat moment in de bakken zat, een verstoring was hierbij niet zichtbaar. Feiten die van belang zijn tijdens het onderzoek:

- **Plaats van de testruimte**
De oude testruimte bevond zich buiten het fabrieksterrein van Kverneland Nieuw-Vennep. Er was geen sprake van enige verstoring vanuit externe factoren. De nieuwe locatie staat aan de zijkant op het fabrieksterrein van Kverneland Nieuw-Vennep, hierdoor zou er weinig verstoring moeten zijn van externe factoren, ware het niet dat het tegen de R&D-werkplaats aan is gebouwd.
- **Heien van de hal**
Bij de nieuwbouw van de test-hal is er voor gekozen om de hal niet te heien. Dit zou een versturende factor kunnen zijn, aangezien trillingen vanuit de bodem kunnen doorwerken op de gewichtsmeting. De hal staat op een zandplaat en zou daarom theoretisch niet geheid hoeven worden. Het vervelende is dat de naastgelegen werkplaats ook op de zandplaat staat en tegen de betonnen vloer van de testruimte aanligt, trillingen kunnen hierdoor eenvoudig doorgegeven worden.
- **Trillingen uit de werkplaats**
In de R&D-werkplaats waartegen de nieuwe testruimte is aangebouwd wordt veel gewerkt met heftrucks en ander zwaar materieel. Deze werkzaamheden kunnen trillingen veroorzaken die via de zandplaat of andere bronnen doorwerken op de gewichtsmeting.

- **Ophang- & leegsysteem bakken**

De gehele ophanging van de weegbakken is opnieuw ontworpen zodat met één druk op de knop alle bakken tegelijkertijd gelegeerd worden.

Uit de feiten blijkt dat de verstoring van verschillende bronnen afkomstig kan zijn. Wanneer er uit de test naar voren komt dat een bron een verstoring veroorzaakt zal deze verder onderzocht worden zodat exacte de mate van verstoring bepaald kan worden.

3.3 Pakket van Eisen

De eisen en wensen die aan het project gesteld worden zijn in overleg met de heer Arjan Wieringa aan het begin van de afstudeerperiode vastgesteld. Deze eisen zijn nagestreefd gedurende de opdracht. Aangezien het een onderzoek betreft dat vele kanten op kan zijn er een beperkt aantal eisen en wensen opgesteld. Hieronder is een lijst weergegeven met de eisen en wensen waaraan het onderzoek moet voldoen:

Eisen

- De oplossing moet alle oorzaken vanuit de omgeving die het meetsignaal verstoren wegnemen of zodanig verminderen dat ze verwaarloosbaar zijn.
- De load cellen moeten de werkelijke massa blijven meten
- Gegevens van de meting zijn alleen afkomstig uit eigen testruimte
- Alle gegevens en testen worden overzichtelijk opgeslagen zodat deze eenvoudig terug te vinden zijn.
- Oorzaken van de verstoring moeten in kaart gebracht worden
- Gevonden oorzaken moeten meerdere keren gemeten worden ter controle
- Wanneer de oorzaken gevonden zijn wordt er een oplossing bedacht
- De oplossingen worden getest
- Het huidige systeem mag geen hinder ondervinden van een eventuele aanpassing of oplossing
- Getekende onderdelen moeten in eigen fabriek geproduceerd kunnen worden

Wensen

- Geen of zo min mogelijk gebruik maken van filters na de meting
- Eenvoudige oplossing
- Nadat het prototype getest is, een verbeterd model realiseren

Uit het pakket van eisen en wensen komt nogmaals naar voren dat de grenzen van de opdracht zeer breed zijn. Dit is gedaan in verband met de eigen invulling van de opdracht, de belangrijkste taak is om de oorzaak te vinden en een ontwerp te maken voor de oplossing. Wanneer de tijd het toelaat zal het ontwerp dan ook daadwerkelijk gefabriceerd en getest worden, om zo een verbeterd model te kunnen leveren. De invulling van het onderzoek is open en zal dan ook zelf worden bepaald, wel zal er terugkoppeling zijn naar mijn begeleider om te checken of hij het eens is met de gang van zaken. Hij kan zo, waar nodig, het onderzoek sturen.

3.4 Functieanalyse

In dit hoofdstuk zijn de functies beschreven van de testopstelling. Er is gekeken welke functies van belang zijn bij de meting en welke functies in mindere mate invloed hebben. In het overzicht komt naar voren welke functies ongewijzigd blijven gedurende het proces. De functies zijn opgedeeld in drie stappen:

3.4.1 Hoofdfuncties

- **De gewichtsmeting**

Het meten van de massa op het tijdstip dat de korrel in de bak komt is de hoofdtak van de testopstelling. Wanneer dit verandert ontstaat er een foutief meetbeeld. Aan deze hoofdfunctie mag niks veranderen, de meetinstallatie in de testopstelling blijft ongewijzigd. De manier van meten staat daarnaast ook vastgelegd in een norm en is voor alle fabrikanten van kunstmeststrooiers gelijk.

- **Korrels weggooien**

Het wegwerpen van de kunstmestkorrels gebeurt door de kunstmeststrooier die in de bok hangt. De driepuntsophanging die aan de bok is bevestigd dient zo min mogelijk veranderd te worden, dit is een standaard onderdeel welke zo is ontworpen dat alle soorten kunstmeststrooiers erin gehangen kunnen worden. Onderdelen zoals de aandrijving liggen niet vast en mogen veranderd worden.

3.4.2 Hulpfuncties

- **Opvangen van de korrel**

De opvangschotten en trechters die ervoor zorgen dat de korrel naar de bak wordt geleid hebben een hulpfunctie in het proces. Deze zijn van belang voor het proces maar mogen veranderingen ondergaan wanneer nodig.

- **Legen van de baan**

Het legen van de bakken is een belangrijke functie binnen het proces. Wanneer blijkt dat er in het leegmechanisme een onderdeel aanwezig is die verstoring veroorzaakt zal het aangepast moeten worden. Bij de aanpassing dient rekening gehouden te worden met de functie van het leegsysteem, deze dient behouden te blijven.

3.4.3 Deelfuncties

- **Schoonvegen naast de baan & kunstmest opslag**

Wanneer de testen afgerond zijn, wordt alle gestrooide kunstmest aangeschoven doormiddel van een heftruck met daarop een schuifbord. Deze functie is niet van invloed op het meetproces, wel is het een handige functie om te behouden. Dit geldt ook voor de kunstmestzakken die achterin de hal zijn opgeslagen.

- **Overige testopstellingen**

De overige testopstellingen staan in dezelfde testruimte, wanneer er verstoringen worden gecreëerd vanuit de naastgelegen testopstelling zullen hier aanpassingen aan gedaan worden. Hierbij moet in gedachte worden gehouden dat dit het meetresultaat van de betreffende testopstelling niet mag beïnvloeden.

4. Onderzoeksplan

In het onderzoeksplan wordt besproken welke aspecten er onderzocht gaan worden en waarom juist deze aspecten. Voorafgaand aan het onderzoeksplan is er eerst een week meegelopen bij het testen van kunstmestsoorten en het maken van strooi-beelden, hier vielen een aantal aspecten op die zijn opgenomen in het onderzoeksplan.

Het verstoren van de meting kan grofweg te maken hebben met twee sectoren: het elektrische gebied of het mechanische gebied. In dit onderzoek zullen beiden aspecten worden onderzocht. Het onderzoeksplan is te vinden in de bijlage, Hoofdstuk 1.

4.1 Mechanisch onderzoek

Bij het mechanische gedeelte is er onderscheid gemaakt tussen verschillende aspecten die uit de meeloopweek zijn voortgekomen. De baan is in drie stukken opgedeeld: de baan met meetbakken, de strooieropstelling en de overige verstoringen. Voor al deze stukken en haar onderdelen zijn testopstellingen bedacht en beschreven, deze zijn te vinden in de bijlage (paragraaf 1.1).

4.2 Elektronische onderzoek

Naast het mechanische gedeelte is ook het elektrische gedeelte compleet doorgelicht. Hierdoor is het gehele systeem onderzocht en kan er uitsluitel worden gegeven richting bepaalde onderdelen. Aangezien mijn persoonlijke kennis qua elektronica op het gebied van metingen enigszins beperkt is, is de hulp ingeroepen van de heer Uitdenbogerd. Een expert op het gebied van trillingen en de meting daarvan. Aan de hand van zijn aanwijzingen en mijn persoonlijke kennis is het gehele systeem stap voor stap doorgelopen. De weg die het signaal aflegt, is het onderzoeksplan voor het elektrische gedeelte, met alle obstakels die het signaal daarin tegenkomt.



Afbeelding 4.1 Overzicht van de baan

5. Onderzoeksresultaten

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van het onderzoek toegelicht. Naar aanleiding van de resultaten wordt er naar een oplossing gezocht, waarna deze opnieuw getest wordt.

Tijdens de test-week is er een instelling versprongen in het meetprogramma. Hierdoor werd er niet elke 200 milliseconden gemeten maar elke 500 milliseconden, later zelfs elke 1000 milliseconden. De metingen die met hetzelfde (verkeerde) interval zijn gemeten kunnen met elkaar vergeleken worden, de mate van verstoring is zichtbaar. De metingen met een verkeerd interval waarbij verbeteringen of een ernstige verstoringen naar voren kwamen zijn opnieuw getest met de juiste instelling. Zo is er zekerheid dat het gemeten effect correct is.

Als eerste is er gekeken naar het elektrische deel van het systeem, om uit te sluiten dat elektronica de oorzaak is van de verstoring. Vervolgens is het mechanische deel onder de loep genomen.

5.1 Elektrische gedeelte van het systeem

Dankzij mijn afstudeerbegeleider vanuit de Haagse Hogeschool is er contact gelegd met de heer Uitdenbogerd, een specialist op het gebied van trillingen en de meting daarvan. Momenteel is hij werkzaam bij het ministerie van Defensie als engineer en was hij bereid om advies te geven over mogelijke oorzaken van de verstoring.

De heer Uitdenbogerd concludeerde uit de testresultaten van de testweek (zie bijlage, hoofdstuk 2) dat het probleem veel weg heeft van problemen die vaak voorkomen bij het meten van trillingen. Enkele bekende problemen zijn: verstoringen van het signaal en te lage trillingen proberen te meten. Dit lost de heer Uitdenbogerd op door naar een vast aantal punten te kijken. Deze punten zijn onderzocht, de resultaten zijn teruggekoppeld aan de heer Uitdenbogerd.

- *Gevoeligheid sensor*

Een load cell heeft van zichzelf altijd een kleine afwijking, in het huidige systeem geeft de load cell een vaste verstoring van 0.1 a 0.2 gram. Om dit te reduceren moet er een kleinere/gevoeligere load cell geplaatst worden, deze zorgt voor een kleinere verstoring. Momenteel hangen er 5 kg loadcellen in het systeem, aangezien de verstoring bekend is kan de opdeling berekend worden.

$$Aantal\ opdelingen = \frac{Max\ gewicht\ loadcell}{Verstoring}$$

De 5 kg loadcellen zijn opgedeeld in 50000 (bij 0,1 g verstoring) t/m 25000 (bij 0.2 g verstoring) stukken. Hieronder is een overzicht gegeven van de verstoring per type loadcel.

Een load cell van 3 kg zou ideaal zijn aangezien het lege gewicht van de bak 1,5 kg is.

Tabel 5.1 Type load cell met zijn standard verstoring

Type Load cell	Verstoring
5 kg	0.1 a 0.2 g
4 kg	0.08 a 0.16 g
3 kg	0.06 a 0.12 g
2 kg	0.04 a 0.08 g
1 kg	0.02 a 0.04 g

- **Aarding**

Een slechte geaard systeem kan verstoring in het signaal geven, vandaar dat er gecontroleerd is of de baan voldoende geaard is. Na controle bleek de baan goed geaard te zijn, de gehele baan is extern geaard met een kabel aan de bok die op de grond staat. Naast de extern geaarde kabel is er tussen alle secties een kabel aanwezig met een geaarde mantel, deze zorgt ervoor dat elke sectie nog eens extra geaard is. De aarding van het systeem zorgt niet voor de verstoring.

- **Batterij voeding**

Een spanning van 220 volt kan een verstoring in het signaal geven, voorkeur is dan ook om batterij voeding te gebruiken. Dit is echter niet gewenst door Kverneland, daarnaast is de kans dat de verstoring wordt veroorzaakt door de 220 volt voeding zeer klein. Verstoring door de voeding zou te zien moeten zijn in het meetsignaal van elke sectie, dit is niet het geval.

- **Voorversterker**

Een mogelijke oplossing kan zijn om een voorversterker te plaatsen in het systeem. Deze versterkt het signaal zodat de ruis/signaal verhouding beter wordt. Als er een 10mv/N sensor aanwezig is en het signaal wordt 10x versterkt dan wordt de sensor omgezet naar 100mv/N, waardoor er minder ruis aanwezig zal zijn. Dit kan echter alleen als men werkt met een analoog signaal, wat hier het geval is.

In de junctionboxen die nu aanwezig zijn in de installatie bevindt zich een analyser die het analoge signaal omzet in een digitaal signaal. De junctionbox filtert zowel het analoge als het digitale signaal, dit verbetert het signaal aangezien de ruis er redelijk uit gefilterd wordt.

- **Manier van meten**

De verstoring kan naast het signaal ook plaatsvinden in de manier waarop er gemeten wordt. Het meetinterval staat ingesteld op 200 milliseconden (5 Hz). Wanneer alle bakken tegelijkertijd (parallel) om de 200 milliseconden gemeten worden vergt dat veel rekenkracht van de meetapparatuur, deze methode is erg nauwkeurig. Bij een parallel meting wordt de sample frequentie opgedeeld over het aantal sensoren (80 stuks) en daalt drastisch. In het geval van de testbaan is de sample frequentie:

$$\frac{25 \text{ Hz (sample frequentie)}}{80 \text{ sensoren}} = 0,3 \text{ Hz}$$

De sample frequentie wordt dan extreem laag en zou voor aliasing* zorgen. Echter wordt er in de installatie niet parallel gemeten maar sequentieel. Dit houdt in dat de bakken/secties een voor een achter elkaar gemeten worden. Deze manier van meten vraagt minder reken capaciteit wat overeenkomt met de apparatuur die aanwezig is bij Kverneland. De manier van meten zorgt niet voor een verstoring van het signaal aangezien de reken capaciteit groot genoeg is.

*** Voor uitleg zie volgende paragraaf (Sample frequentie)**

- *Sample frequentie*

Het analoge signaal wordt uitgestuurd (mv/N), de analyser (als het ware een grote voltmeter) meet het signaal in mvolt en zet dit om in een digitaal signaal zodat de computer de berekeningen kan uitvoeren. Dit omzetten gebeurt met een bepaalde frequentie, de sample frequentie.

Deze sample frequentie moet hoger zijn (liefst 2x) dan de meetfrequentie om geen aliasing te krijgen. Aliasing is een verschijnsel/digitale storing die ontstaat als een signaal een meer dan twee maal zo grote frequentie heeft als de gebruikte sample frequentie. Wanneer dit gebeurt wordt het oorspronkelijke signaal niet goed weergegeven, wat leidt tot een verstoring van de meting (*).

De sample frequentie wordt bepaald door de transformer die het analoge signaal omzet in het digitale signaal, dit gebeurt in de junctionbox. De gebruikte junctionbox zet het signaal tot 40 keer per seconde om, wat gelijk staat aan 40 Hz (zie datasheets in de bijlage, paragraaf 5.3). De meetfrequentie staat standaard ingesteld (in de computer) op 200 ms wat gelijk staat aan 5 Hz, dit staat in de norm voor het testen van kunstmest voorgeschreven. De minimale sample frequentie (2x de meetfrequentie) is 10 Hz wat gelijk staat aan het 10 keer per seconden omzetten van het signaal. Wanneer de junctionbox de maximale omzetting niet haalt, zit er nog genoeg speling in de sample frequentie. De samplefrequentie is 2 keer zo hoog als de meetfrequentie, hier treedt geen verstoring op.



Afbeelding 5.1 Schematische weergave van de weg die het signaal aflegt (load cell -> junctionbox -> laptop)

In afbeelding 5.1 is schematisch de weg die het signaal aflegt weergegeven. Nu blijkt dat de omzetting bij de junctionbox en de manier van meten geen verstoring veroorzaken kan vastgesteld worden dat de verstoring niet in het elektrische gedeelte van het systeem ligt.

Ook de berekening met het digitale signaal in de computer geeft geen verstoring. De gemiddelde frequentie in het meetprogramma is 200 Hz, dit is vijf maal zo veel als het maximaal aantal hertz dat het digitale signaal kan bevatten (40 Hz). Daarnaast brengt het rekenen met het digitaal signaal geen verstoring in het signaal zelf met zich mee.

(*) = <http://nl.wikipedia.org/wiki/Aliasing> & [http:// www.encyclo.nl/begrip/Aliasing](http://www.encyclo.nl/begrip/Aliasing)

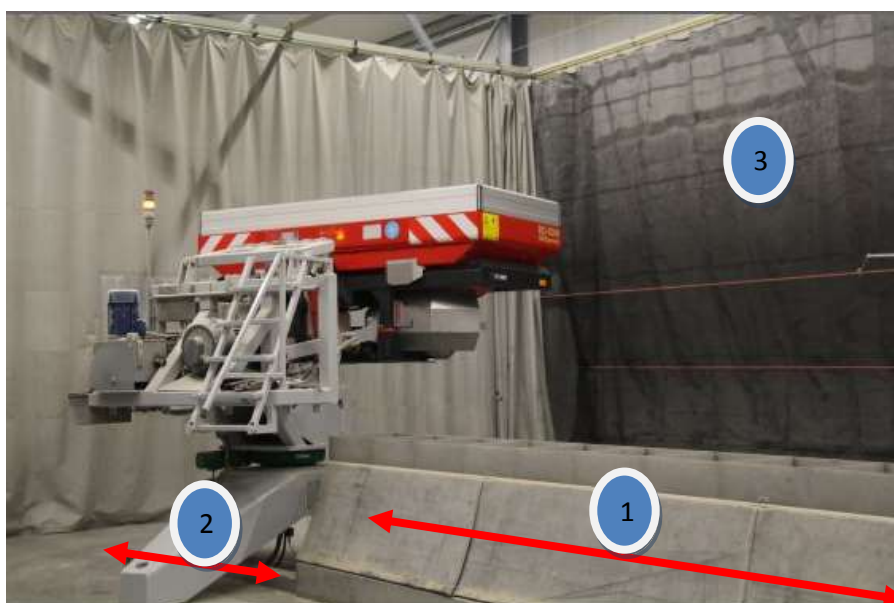
- *Signaal van de loadcellen*

De load cell meet doormiddel van rekstrookjes de vervorming van het materiaal en zet dit om in een elektrisch signaal. Deze rekstrookjes zijn geplaatst in een brug van Wheatstone, deze opstelling levert een optimale gevoeligheid. Het uitgangssignaal betreft enkele millivolts die naar de junctionbox gaan. Het uitgangssignaal van een load cell kent verschillende mogelijkheden, de meest gebruikte zijn een piëzo of een resistief signaal. De betreffende load cell maakt gebruik van een resistief signaal aangezien het gebruik maakt van rekstrookjes.

Het piëzo signaal maakt gebruik van het materiaal zelf en het piëzo-elektrisch effect. Dit effect houdt in dat kristallen van een materiaal een elektrische spanning creëren wanneer ze onder druk gezet worden. Men meet dan de spanning die afkomstig is van het materiaal en berekent zo de vervorming bij een piëzo load cell, bij een resistief signaal komt de spanning uit de rekstrookjes.

5.2 Mechanische gedeelte van het systeem

Nadat is uitgesloten dat de verstoring niet in het elektrische deel van het systeem ligt zijn er testen uitgevoerd die betrekking hebben op het mechanische gedeelte van het systeem. Hierbij zijn alle onderdelen getest, waardoor het totale systeem onderzocht is. Vanwege het feit dat het mechanische deel uitgebreid is getest, is dit hoofdstuk opgedeeld in sub paragrafen. (1) Eerst is er gekeken naar de baan waarin de korrels opgevangen worden (opvangbakken & meetsysteem), (2) vervolgens wordt de opstelling onderzocht waar de strooiër in hangt (strooi-installatie en bok), als laatste komen de overige invloeden (3) aan bod die de meting verstoren. In afbeelding 5.2 is de verdeling van het onderzoek schematisch weergegeven.



Afbeelding 5.2
Opdeling testbaan
voor het
mechanisch
onderzoek

In deze paragraaf worden oorzaken van de verstoring verder uitgelicht om vervolgens in het volgende hoofdstuk opgelost te worden.

5.2.1 De baan

In deze sub paragraaf wordt de meet-baan onderzocht. Hieronder vallen alle onderdelen in de testopstelling die zich tussen de kunstmeststrooier en het einde van de testruimte bevinden. Al deze onderdelen hebben te maken met de vliegende kunstmestkorrels die opgevangen dienen te worden. Met name de trechters, het meetsysteem en het leegsysteem spelen hierbij een belangrijke rol. De testen zijn uitgevoerd op een sectie (zie afbeelding 5.3), aangezien alle secties gelijk zijn gelden de conclusies voor de gehele baan.



Afbeelding 5.3 Een sectie van de baan (binnenzijde)

5.2.1.1 Gewicht ter stabilisatie

Het vermoeden bestaat dat er ongewenste trillingen in de secties aanwezig zijn. Gecontroleerd is of de trillingen weg te nemen zijn door gewichten toe te voegen. De gewichten zorgen ervoor dat de constructie onder spanning komt te staan. Verwacht wordt dat de constructie minder snel zal gaan vibreren. Verschillende gewichten zijn op de bovenzijde van het meetsysteem gelegd om verstoring te voorkomen. Uit het onderzoek is gebleken dat het plaatsen van gewichten een klein positief effect heeft op de meting. De verbetering is echter zo klein dat het toevoegen van gewichten geen oplossing is voor het verhelpen van de verstoring. De complete analyse is terug te vinden in de bijlage (paragraaf 2.1.1.1).

5.2.1.2 Trilmotoren

Op de trechters zijn trilmotoren bevestigd om de trechters schoon te trillen voordat ze gelegeerd worden (dit gebeurt niet tijdens een meting). Het trillen van de motoren voor een meting blijkt geen effect te hebben, de meting verstoort net zoveel als normaal.

5.2.1.3 Steunrubber

De steunrubbers waar het frame zich in drukt wanneer de baan gesloten is, zouden als dempers moeten functioneren. Om de werking te controleren zijn er testen gedaan waarbij de rubbers waren verwijderd en er extra materiaal was toegevoegd. Uit de test kwam naar voren dat het verwijderen van de steunrubbers geen afwijking met zich mee bracht in de meting. Aangezien het frame zonder steunrubbers volledig los hangt is het noodzakelijk om de steunrubbers te behouden voor de stabiliteit van het frame.

5.2.1.4 Scharnierpunten

Om de bakken te legen is er een systeem bedacht waarin de gehele constructie in een frame hangt die naar buiten toe beweegt. Hierdoor hangt het meetsysteem in een aantal scharnierpunten. De scharnierpunten zijn niet even strak aangedraaid over de gehele baan. Getest is of de manier van aandraaien invloed heeft op de meting. Uit de test bleek dat er geen verschil is wanneer de scharnierpunten: los aangedraaid zijn, niet aangedraaid zijn of strak aangedraaid zijn.

5.2.1.5 Lossingshoek van de kunstmest

Kunstmestkorrels worden weggeslingerd door de schoepen waarna ze onder een hoek in de trechters terecht komen. Aangezien de hoek voor elke korrel anders is, zal gekeken moeten worden waar de meeste verstoring vandaan komt. Verwacht wordt dat de impactenergie van de korrel het grootst is wanneer deze loodrecht naar beneden valt. Om dit te onderzoeken is er geëxperimenteerd met de hoek waarin de korrel tegen de trechter komt. Hierbij kwam naar voren dat de impactenergie van een vallende korrel het grootst is wanneer deze recht naar beneden in de bak valt en een groot formaat heeft. Wanneer de korrel onder een hoek in de trechter komt verliest het een deel van zijn energie door het stuiteren tegen de trechter. De analyse met de exacte verstoring is terug te vinden in de bijlage (paragraaf 2.1.1.2).

5.2.1.6 Bodem meetbak

Wanneer de kunstmestkorrels in de meetbakken terecht komen stuiteren ze enkele malen heen en weer voordat ze tot rust zijn gekomen, hierdoor ontstaat er een foutieve meting. Om de kunstmestkorrel tot rust te laten komen is er onderzoek gedaan naar de beste materiaalkeuze voor de onderzijde van de bakken. Dit onderzoek (zie bijlage, paragraaf 2.1.1.3) is verricht in het lab waarbij kunstmestkorrels recht boven de trechter werden losgelaten op verschillende type materialen. De meetopstelling is te zien in afbeelding 5.4.



Afbeelding 5.4
Testopstelling in
het lab

Uit de test is gebleken dat een niet samenhangend en energie absorberend materiaal de ideale oplossing is voor het opvangen van de korrels. Deze absorbeert de impactenergie en voorkomt het stuiteren van de korrels.

5.2.1.7 Buitenste bakken

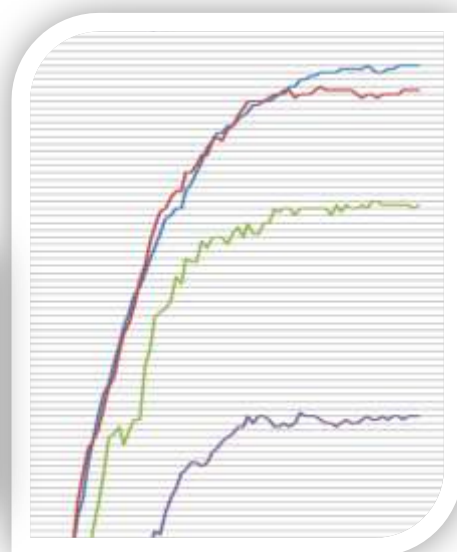
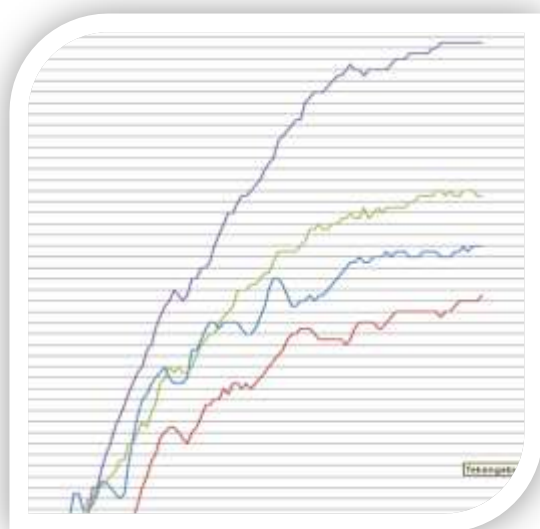
Tijdens eerdere testen is opgevallen dat de buitenste bakken in een sectie meer verstoren dan de binnenste bakken. Gedacht wordt dat de constructie waarin de bakken hangen de oorzaak is. Dit omdat de buitenste bakken overhangen, ze worden niet ondersteund aan de buitenzijde. Om te controleren of de buitenste bakken inderdaad meer verstoren is er een testopstelling vervaardigd. De testopstelling is in hoogte verstelbaar en ondersteunt de buitenzijde van de bakken. De opstelling staat op rubberen voeten op de grond, zie afbeelding 5.5.

Uit de test blijkt dat wanneer een sectie aan beide zijde ondersteund werd, de meting sterk verbeterde. Hier zitten een aantal voorwaarden aan verbonden: de ondersteuning moet licht aangedraaid worden en mag slechts met een sectie verbonden zijn. In afbeelding 5.6 is het effect te zien in de meting wanneer een sectie ondersteund wordt. Aan de linkerkant de huidige situatie, aan de rechterkant de ondersteunde sectie (blauwe en rode lijn). Te zien is dat de lijnen minder pieken vertonen.

De totale analyse van de ondersteuning is te vinden in de bijlage (paragraaf 2.1.1.4).



Afbeelding 5.5 Steunpoot voor buitenkant sectie.



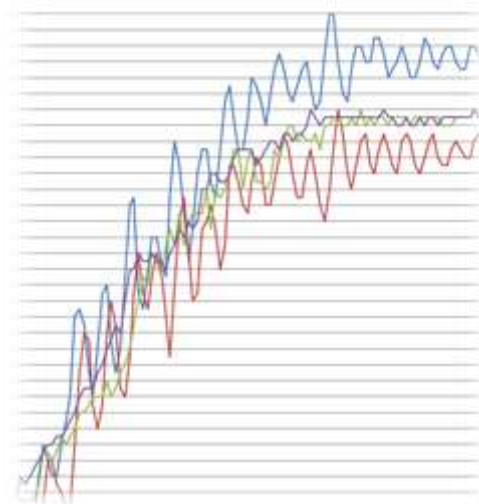
Afbeelding 5.6 Schematische weergave van het verbeteringsproces

5.2.1.8 Gewicht in de bakken

Tijdens metingen blijkt dat indien het gewicht in de bakken toeneemt gedurende de metingen, het beeld langzamerhand verstoort. Aangenomen wordt dat dit komt doordat het gewicht in de bakken te hoog wordt. Om deze aanname te controleren zijn er gewichten vervaardigd die in secties zijn geplaatst waarna de baan getarreed is. Hierdoor is het verschil tussen de naastgelegen secties zonder gewicht en de secties waar een exact gewicht in ligt goed waar te nemen. De meting is terug te vinden in de bijlage (paragraaf 2.1.1.5).

Ter controle zijn in de baan drie secties voorzien van extra massa. De eerste sectie bevindt zich aan het begin van de baan, de tweede in het midden en de derde aan het eind. De tweede sectie is geanalyseerd, waarbij de eerste en derde sectie als controlesectie dienen. Deze secties komen redelijk overeen met de gemeten sectie. Het verschil is dat op den duur de eerste sectie een verstoring achterloopt.

Bij een toename aan gewicht in de meetbakken ontstaat een verstoring. Wanneer het gewicht in de meetbakken boven de +/- 500 gram komt, verstoren de buitenste weegcellen. De buitenste weegcellen minderen hun verstoring vanaf 1000 gram. Hetzelfde geldt voor de binnenste weegcellen, deze komen echter later op gang in hun verstoring. De verstoring van de binnenste weegcellen begint bij +/- 1000 gram en vlakt af bij +/- 1500 - 1750 gram.



Afbeelding 5.7 Verstoring dankzij grote massa in de bakken. (let ook op de harmonische vorm)

In afbeelding 5.7 is een verstoring te zien welke voortkomt uit een te hoog gewicht. Het lijkt erop dat de bakken in een frequentie terecht komen. Dit is af te leiden aan de vorm die de trilling heeft, een harmonische vorm. Of dit te maken heeft met de eigenfrequentie van de constructie wordt verderop in dit hoofdstuk onderzocht.

5.2.1.9 Conclusie baan

In het gedeelte waar de kunstmestkorrels terecht komen zijn er een aantal versturende factoren ontdekt. De lossingshoek van de korrel bepaalt de mate van verstoring, deze is het grootst wanneer een grote kunstmestkorrel recht in de trechter valt. Dit kan voorkomen worden door een absorberend materiaal aan de onderzijde van de bakken te bevestigen. Naast de impact van de korrel is de constructie bekeken. Hier kwam naar voren dat de buitenste bakken het meest verstoren ten opzichte van de rest. Wanneer de bakken een gewicht van 500 gram bereiken begint het meetsignaal te verstoren.

5.2.2 De strooieropstelling

In deze sub paragraaf wordt de opstelling van de strooier onderzocht. Hieronder vallen alle onderdelen die zich op de driepoot bevinden. De onderdelen hebben te maken met het verplaatsen van de kunstmestkorrels. Met name de strooier zelf en de aandrijving spelen hierbij een belangrijke rol. De verschillende strooiers worden op een driepoot geplaatst (zie afbeelding 5.7) waarna ze getest worden.

5.2.2.1 Luchtverplaatsing schoepen

De schoepen zijn van groot belang bij het verplaatsen van de kunstmestkorrels, echter verplaatsen de schoepen niet alleen kunstmest maar ook een grote hoeveelheid lucht. Verwacht wordt dat de luchtverplaatsing de oorzaak is van de verstoring in de eerste drie secties van de baan. Deze verstoring aanzienlijk meer in vergelijking met de rest. De hypothese is onderzocht door de te meten hoe groot de verstoring is wanneer de schoepen draaien (met en zonder het strooien van kunstmest). De totale analyse is terug te vinden in de bijlage (paragraaf 2.1.2.1 t/m 2.1.2.3), de belangrijkste punten zijn:



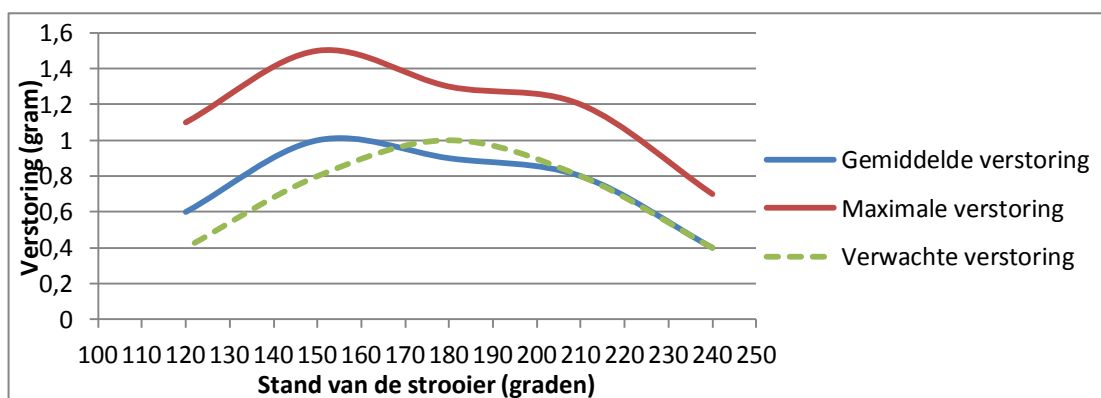
Afbeelding 5.8 Strooieropstelling

- Windfrequentie

De frequentie die de schoepen veroorzaken is 5700 Hz, dit is vele malen hoger dan de eigenfrequentie van een materiaal of onderdeel kan zijn. Hier kan de verstoring niet vandaan komen.

- Luchtdruk

De luchtverplaatsing die wordt gecreëerd door de schoepen resulteert in een luchtdruk op de bakken in de eerste drie secties. Hierdoor wordt er door de loadcellen een grotere kracht gemeten dan daadwerkelijk in de bakken aanwezig is. Dit leidt tot hoger gewicht in de meting, wat een verstoring van 0.5 tot 1 gram met zich mee brengt. Het verloop van de verstoring is te zien in grafiek 5.1.



Grafiek 5.1 stand van de strooier vs, verstoring

- Soort schoepen

De luchtverplaatsing verschilt per soort schoep. Wanneer er liftschoepen worden gebruikt is de verstoring twee maal zo hoog als bij normale schoepen. In grafiek 2.2 in de bijlage (paragraaf 2.1.2.3) is goed te zien dat de verstoring per sectie afneemt. De verstoring is voor elke sectie te bepalen aan de hand van de grafiek, een oplossing zou kunnen zijn om de verstoring door middel van een rekenfilter weg te halen in het computerprogramma.

Uit testen is gebleken dat de winddruk die de schoepen creëren de meting in de voorste secties ernstig verstoord. Om te voorkomen dat de wind op de bakken drukt zal er gezocht worden naar een oplossing om de luchtverplaatsing te sturen. Hierbij moet rekening gehouden worden dat de kunstmestkorrel hun natuurlijke weg blijven afleggen, anders ontstaat er een foutieve meting.

5.2.2.2 *Rondraaien van de strooier*

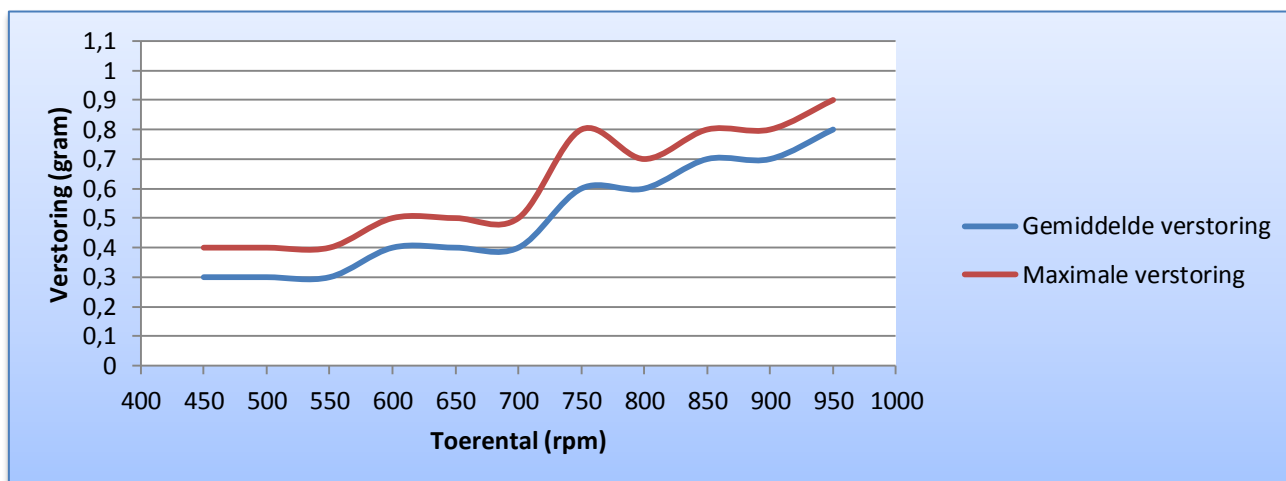
Het draaien van de strooier gebeurt door een elektromotor. Verwacht werd dat er verstoring waarneembaar zou zijn wanneer het systeem in beweging komt, mede doordat de beweging wordt aangedreven door een draaikrans. Dit bleek niet het geval te zijn, er trad geen verstoring op. De meting is uitgevoerd tijdens het vooruit draaien (1, 2, 3, 4, 5 graden per seconde) en het terugdraaien van de strooier.

5.2.2.3 *Draaien van de schoepen zonder kunstmestkorrels*

Naar aanleiding van de test met de luchtdruk is er gekeken naar gemiddelde verstoring die de wind met zich mee brengt, verwacht wordt dat hier een lineaire lijn door te trekken is. Om de verstoring waar te nemen is er een test gedaan waarbij de strooier draait zonder kunstmest te strooien. In de bijlage (paragraaf 2.1.2.4) is een tabel toegevoegd met de verstoring bij verschillende snelheden van de schoepen. Onder de maximale verstoring wordt de hoogste piek in de meting verstaan. De verstoring in de voorste secties is terug te vinden in de paragraaf luchtverplaatsing (paragraaf 5.2.2.1), hier wordt niet verder op ingegaan.

Uit de metingen is op te maken dat het strooibeeld in de eerste twee secties stevig wordt verstoord door de snelheid van de schoepen. De verplaatsing van de lucht is hierbij de belangrijkste factor. Naarmate de snelheid van de schoepen (en de luchtverplaatsing) toeneemt is er een grotere verstoring in de meting waarneembaar.

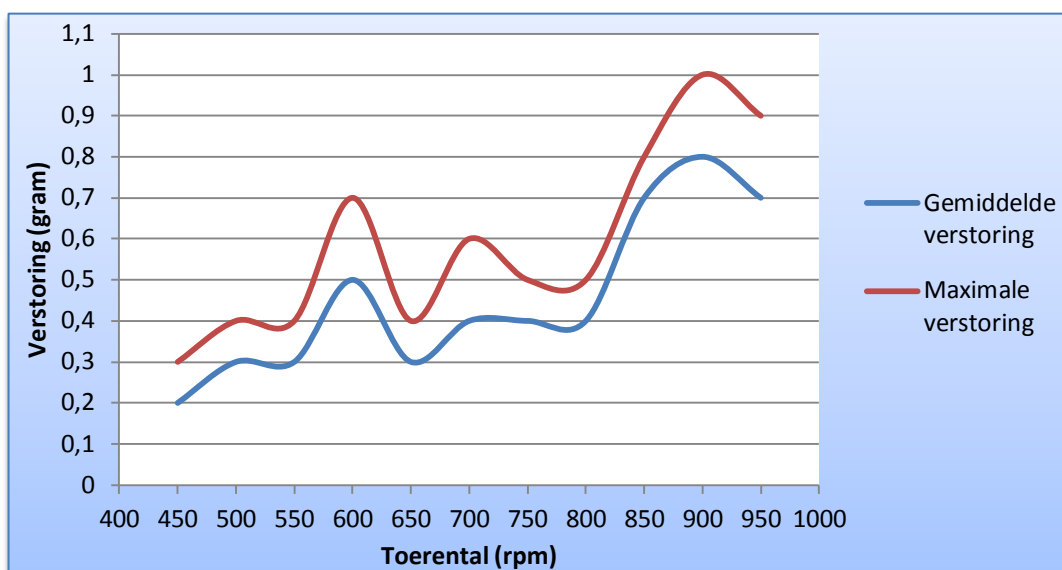
Wanneer de gegevens verwerkt worden in een grafiek is te zien dat de maximale en de gemiddelde waarde evenwijdig met elkaar lopen, de uitschieters verschillen weinig met andere toerentallen. Uit de tabel en grafiek blijkt dat de toename van de verstoring gepaard gaat in stappen. Tot en met het toerental van 700 toeren per minuut gaat elke 150 toeren per minuut de verstoring een tiende gram omhoog. Na het toerental van 700 toeren per minuut komt er per 100 toeren per minuut een tiende gram verstoring extra in de voorste sectie (zie grafiek 5.2). Door de grafiek kan een lineaire lijn getrokken worden, zo ontstaat er een formule voor de mate van verstoring.



Grafiek 5.2 Verstoring bij het draaien zonder kunstmest

5.2.2.4 Draaien met kunstmestkorrels

Om te controleren of het effect van de wind vergelijkbaar is wanneer er met kunstmest gestrooid wordt, is dit getest. Uit de test blijkt dat de totale verstoring afwijkt van de verstoring gemeten zonder kunstmest. Dit komt doordat de lucht die verplaatst wordt in dit geval gevuld is met kunstmest. De combinatie massa en lucht zorgt ervoor dat de verstoring piekeriger is in vergelijking met de eerste meting. In grafiek 5.3 is te zien dat ook hier de maximale verstoring evenwijdig loopt aan de gemiddelde verstoring. Door de grafiek is geen lineaire lijn te trekken zoals dat bij “zonder kunstmest” wel kan. De gecombineerde gegevens zijn verwerkt in een tabel en een grafiek, deze zijn terug te vinden in de bijlage paragraaf 2.1.2.4. Uit de gecombineerde gegevens kan geconcludeerd worden dat er geen verband getrokken kan worden tussen de verstoring (met en zonder strooien van kunstmest).



Grafiek 5.3 Verstoring bij het draaien met kunstmest

5.2.2.5 Conclusie strooiopstelling

De strooiopstelling bestaat grofweg uit twee componenten: de strooier en de bok. Uit de bok en de aandrijving van de strooier komen geen verstoringen voort. De bron van de verstoringen bij de strooiopstelling is de strooier zelf. De luchtverplaatsing van de schoepen creëert een luchtdruk die de meting beïnvloed in de eerste drie secties. Naarmate er niet alleen lucht verplaatst wordt, maar ook kunstmest is de verstoring vele malen onrustiger.

5.2.3 Overige verstoringen

Naast de testfaciliteiten zelf kan de verstoring ook zijn oorsprong vinden buiten de testopstelling. In deze sub paragraaf is aandacht besteed aan alle mogelijke invloeden van buitenaf. Aangezien de afbakening van het onderzoek rondom de testruimte ligt wordt er gekeken naar de dagelijkse activiteiten. Deze zijn gemeten wanneer de baan in rust was zodat het effect goed waarneembaar is.



Afbeelding 5.9
Verschillende
soorten
kunstmest

5.2.3.1 Heftruck

Aangezien er veel met de heftruck gereden wordt rondom de testruimte is er onderzoek gedaan naar de mate van verstoring. Uit de test kwam naar voren dat rustig rijden rondom de testruimte geen verstoring met zich mee brengt. Tijdens normale werkzaamheden binnen in de werkplaats ligt de snelheid laag en is de verstoring minimaal.

Achter de testruimte hoort niet met de heftruck gereden te worden. Toch gebeurt het dat personeel langs rijdt om iets te pakken of omdat het een snelle route is. Uit de test is gebleken dat als een heftruck met een normale (buiten)rijdsnelheid langsrijdt, er een verstoring is in het meetbeeld van 0.5 gram met uitschieters naar de 1.0 a 1.5 gram. Aan de hand hiervan is er een hek geplaatst zodat het pad alleen toegankelijk is voor personeel met een sleutel, hierdoor is er geen verstoring factor.

5.2.3.2 De afdraaiproef (schotten en vijzel)

Naast de weeg-baan is er in het testcentrum van de kunstmeststrooiers een andere testopstelling aanwezig. Deze testopstelling bevat verrijdbare schotten en een vijzel die het opgevangen kunstmest transporteert. Uit de meting blijkt dat wanneer de schotten verreden worden, er een verstoring waarneembaar is van 1.0 gram. Vanwege het feit dat het verrijden van de schotten kan plaatsvinden tijdens de test, is het noodzaak om goede afspraken te maken om verstoring te voorkomen. Aangezien de schotten verreden worden door mensen van de testafdeling is dit goed te realiseren.

De vijzel gaf in tegenstelling tot de verwachting geen verstoring in het meetbeeld. Ondanks het feit dat de constructie in de grond is aangebracht van de testruimte geeft deze geen trillingen door.

5.2.3.3 Loopkat

In de naastgelegen werkplaats is een loopkat aan het plafond bevestigd waarmee ze zwaar materiaal verplaatsen. Uit de test bleek dat het verplaatsen van materieel geen invloed heeft op de meting.

5.2.3.4 Overige activiteiten in de werkplaats

In de werkplaats zijn gedurende de test-week verschillende activiteiten eruit gepakt om te meten. Geen van deze activiteiten bleek van invloed.

5.2.3.5 Activiteiten rondom de baan

Activiteiten die rondom de baan plaatsvinden zullen niet voorkomen tijdens een meting. Om de gevoeligheid van de baan te meten zijn er enkele situaties getest. Uit de metingen blijkt dat lopen langs het gordijn en langs de testbaan geen verstoringen tot gevolg heeft. Het aanschuiven van de gestrooide kunstmest geeft een verstoring van 0.5 gram, dit gebeurt echter alleen wanneer er niet getest wordt. Achterin de hal staat een trekker, wanneer deze wordt weggereden ziet men een duidelijke verstoring tot wel 1.2 gram. Dit zal voorkomen moeten worden tijdens testen. Uit de test blijkt dat de baan redelijk gevoelig is, bij zware trillingen verstoort de baan snel.

5.2.3.6 Deuren

Aangezien de luchtstroom van buitenaf de stroom kunstmest zou kunnen beïnvloeden is er onderzoek gedaan naar de mate van verstoring. Er zijn testen gedaan waarbij verschillende deuren zijn opengezet, tijdens de proeven waren geen bijzondere activiteiten in de werkplaats. Uit de test blijkt dat de luchtstroom van buitenaf geen invloed heeft op de meting. Het advies is wel om de deuren te sluiten i.v.m. activiteiten in de werkplaats die makkelijker door zouden kunnen trillen.

5.2.3.7 Conclusie overige verstoringen

Uit de analyse rondom de testfaciliteit is gebleken dat er geen verstorende factoren zijn die invloed hebben. Aangezien er maatregelen zijn genomen tegen het rijden met de heftruck kan met zekerheid worden gezegd dat bij een normale gang van zaken er geen verstoring van buitenaf aanwezig is.

5.2.4 Conclusies testresultaten

In de conclusie zijn de verstoringen & verbeteringen gecategoriseerd. Een uitgebreide conclusie met daarbij uitleg per onderdeel is terug te vinden in de bijlage, paragraaf 2.1.3. Hier is ook een meting toegevoegd waarbij wordt aangegeven waar elke verstoring is terug te vinden in de grafiek (bijlage, paragraaf 2.1.3.1).

Extreme verstoring

- Winddruk van de schoepen (1.4 gram)
- Het starten en rijden van de trekker achterin de hal (1.2 gram)
- Bij een gewicht van 500 tot 1000 gram verstoren de buitenste weegcellen (0.8 gram)
- Bij een gewicht van 1000 tot 1500 a 1750 gram verstoren de binnenste weegcellen (0.8 gram)

Hoge verstoring

- Het verrijden van de schotten van de afdraaiproef (1.0 gram)
- Stand van de strooier (van 0.6 gram tot 1.0 gram)
- Snelheid van de schoepen (maximaal 0.8 gram bij 950 rpm)
- Liftschoepen geven extra winddruk (gemiddeld 0.6 gram bovenop de normale schoepen)

Gemiddelde verstoring

- Rijden met de heftruck achter de testruimte (gemiddeld: 0.5 gram / uitschieters: 1.5 gram)
- Rijden met de heftruck achter de testruimte tot obstakel (gemiddeld: 0.3 gram / uitschieters: 0.7 gram)
- Rijden met de heftruck in de werkplaats (maximaal 0.2 gram)

Geeft geen verstoring / geen verbetering

- Langs de baan lopen (achter het gordijn)
- De loopkat in de werkplaats zonder lading
- Het aanzetten van de vijzel bij de afdraaiproef
- De scharnierpunten van het frame verbeteren de meting niet
- De steunrubbers waar het frame ingedrukt wordt
- Isolatielaag tussen de aanslagbout en het frame
- Het schoon trillen van de trechters
- Draaien van de strooieropstelling
- Deuren open vs. dicht
- Elektrische gedeelte van het systeem (signaal, sample frequentie, etc.)

Gemiddelde verbetering

- Gewichten op de buitenste weegcellen plaatsen (+/- 0.2 gram verbetering, minder pieken)
- Kleinere weegcel met dezelfde opdeling zorgt voor minder verstoring (+/- 0.05 gram verbetering)

Goede verbetering

- Energie absorberende laag in de weegbakken (+/- 0.2 tot 0.3 gram verbetering)
- Steunrubbers die als steunpoot dienen voor de buitenste weegcellen (+/- 0.2 gram)

Extreme verbetering -> Niet uit de testresultaten naar voren gekomen

6 Detail analyse

In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op het onderzoek. Naar aanleiding van de conclusies uit de analyses wordt de eigenfrequentie bepaald waarna deze gecontroleerd wordt door een modaal analyse. Door de eigenfrequentie te bepalen wordt er gekeken of het vermoeden klopt dat de constructie in trilling wordt gebracht. Het bepalen van de eigenfrequentie gebeurt doormiddel van een computermiddel, welke vervolgens doormiddel van een modaal analyse aan de praktijk getest wordt.

6.1 Eigenfrequentie analyse

Naar aanleiding van de test met gewichten in de bakken (paragraaf 5.2.1.8) is er onderzoek gedaan naar de eigenfrequentie van de constructie. Om de eigenfrequentie te bepalen is er een analyse van de constructie opgezet in SolidWorks. Hierin wordt de constructie driedimensionaal getekend waarna de eigenfrequentie uitgerekend kan worden. In het programma is aangegeven waar de connecties tussen verschillende onderdelen zitten en waar de constructie wordt ondersteund. Vervolgens deelt het programma de constructie op in kleine stukken (meshen) en berekent het de natuurlijke frequentie van het systeem.

Aangezien er geen demping in de constructie aanwezig is, is de simulatie één op één over te nemen voor de eigen frequentie van het materiaal. Wanneer er een demping aanwezig blijkt te zijn in de constructie is er geen zuivere resonantie, er zal een frequentie optreden waarbij de amplitude van de trilling een piek vertoont. Deze resonantiepiek ligt enkele frequenties lager dan de natuurlijke eigenfrequentie. Er is besloten om aan te nemen dat er geen demping in de constructie aanwezig is. Blijkt dit wel zo te zijn dan is het slechtste geval berekent.

6.1.1 Simulatie

De constructie is tot de ophanging getekend in het 3D tekenpakket. Hierbij zijn alle maten gelijk aan de werkelijke situatie en is de materiaalsoort per onderdeel gedefinieerd. De veerconstante en de massa zijn berekend dankzij de afmetingen en de eigenschappen van de onderdelen. Vervolgens is berekend wat de frequentie van de constructie is en wat de kritische punten zijn.

Het systeem is opgebouwd aan de hand van losse onderdelen en deelsystemen, van beiden is de eigenfrequentie bepaald. Naast de eigenfrequentie laat het programma zien in welke richtingen de componenten vervormen door de trillingen. De analyses van de eigenfrequenties per onderdeel en van de totale constructie zijn terug te vinden in de bijlage (paragraaf 3.1.1). De eigenfrequenties van de onderdelen zijn samengevat in tabel 5.2. Er kan met zekerheid worden gezegd dat de load cell stijf genoeg is, deze veroorzaakt geen trillingen.

Tabel 5.2 Eigenfrequentie per onderdeel

Onderdeel	Eigenfrequenties (Hz)
Bak	44.5 / 62.3 / 66.5 / 83
Bakhouder	38.5 / 132.75 / 378
Load cell	294 / 351 / 1655
Totale constructie	25.2 / 25.6 / 25.9 / 30.7



Afbeelding 5.10 Overzicht sectie + trilvorm van een onderdeel

Nadat de simulatie was voltooid is er contact gezocht met een expert op het gebied van trillingen, de heer J.M. Uitdenbogerd (zie paragraaf 5.1). De heer Uitdenbogerd gaf aan dat de natuurlijke eigenfrequentie van 25 Hz zeer laag is voor een dergelijke constructie. Een dermate lage frequentie is eenvoudig in beweging te zetten. Om te controleren of de simulatie in Solidworks klopt wordt er een modaal analyse gedaan. Hierbij wordt de constructie met een hamer aangeslagen waarna de eigenfrequentie gemeten zal worden. De meeste FEM-analyses zijn nauwkeurig tot de 100 Hz, soms komt het voor dat er flinke afwijkingen aanwezig zijn. Nadat de modaal analyse is uitgevoerd kan het FEM-model zo nodig worden aangepast.

6.1.2 Invloeden op de eigenfrequentie

Voordat de modaal meting plaats vindt is er gekeken welke aspecten invloed hebben op de eigenfrequentie van de sectie. Zo kan tijdens de modaal analyse exact op de plaats gemeten worden waar volgens de simulatie en de analyse het zwakste punt ligt. Uit het onderzoek is gebleken dat de verstoring optreedt in het mechanische deel van het systeem, hier wordt verder op ingezoomd.

Er zijn een aantal situaties gesimuleerd waarvan verwacht wordt dat ze de eigenfrequentie zullen verbeteren. De analyse van de simulaties is terug te vinden in de bijlage (paragraaf 3.1.1.5 t/m 3.1.1.12). De resultaten zijn samengevat in tabel 5.3.

Tabel 5.3 Verbetering vs eigenfrequentie sectie

Situatie	Laagste eigenfrequentie
Huidige situatie (zonder versterking)	25 Hz
Huidige situatie met versterking	34 Hz
Extra versteviging	36 Hz
Buitenzijde fixeren (zonder versterking)	25 a 30 Hz
Buitenzijde ondersteund (zonder versterking)	24 Hz
Rolopleggin aan de buitenzijde (zonder versterking)	Geen verbetering
Vaste oplegging in het midden ipv roloplegging	30 Hz

Uit de simulatie blijkt dat de versteviging die in het verleden is aangebracht een positieve verbetering geeft. Ook het fixeren van de buitenzijde geeft een verbetering.

6.1.2.1 Materiaalkeuze

Naar aanleiding van de verbeterde eigenfrequentie door middel van de versteviging, is er onderzoek gedaan naar de materiaalkeuze per onderdeel. Dit is gedaan doormiddel van de frequentie analyse in SolidWorks. Wanneer er een onderdeel is aangepast, wordt de “nieuwe” eigenfrequentie berekend. De materialen die gesimuleerd zijn: staal, kunststof en een aluminiumlegering. Naast het onderdeel dat onderzocht wordt blijft de rest van de constructie zoals deze in de huidige situatie is, zo is de verandering goed zichtbaar. De complete analyse is te vinden in de bijlage (paragraaf 3.1.2.1).

Uit de analyse komt naar voren dat de materiaalkeuze invloed heeft op de eigenfrequentie van het systeem, dit is logisch als men kijkt naar de elasticiteitsmodulus en dichtheid van de materialen. De plaat en de bakhouder dienen zo stijf mogelijk te zijn, dit is in de huidige situatie het geval aangezien ze van staal vervaardigd zijn. De bakken hebben de hoogste eigenfrequentie wanneer ze van een kunststof vervaardigd worden. Vanwege het feit dat de loadcellen door derden worden geleverd is de materiaalkeuze niet te veranderen. Uit de analyse komt naar voren dat de huidige materiaalkeuzes niet verandert hoeven te worden.

6.1.2.2 Dikte onderdelen

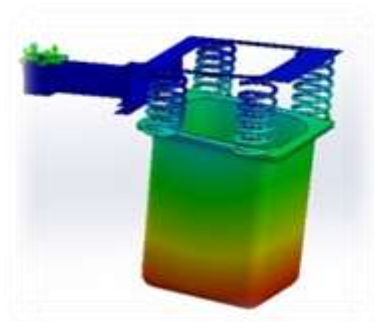
De eigenfrequentie van een onderdeel wordt bepaald door de massa van het onderdeel in combinatie met de veerconstante. Verwacht wordt dat er een optimum te vinden is tussen de stijfheid en de dikte van de onderdelen. Dit wordt geanalyseerd door de onderdelen te verdikken en te verdunnen in Solidworks waarna de eigenfrequentie wordt berekend. De simulatie is berekend op een niet verstevigde plaat, zo is het effect goed te zien. Een uitgebreide analyse is terug te vinden in de bijlage (paragraaf 3.1.2.2).

Uit de analyse blijkt dat het optimum van de plaat en de bakhouder wordt bereikt wanneer deze uit een dikker materiaal worden vervaardigd. Voor de plaat ligt de ideale dikte op 10 mm, voor de bakhouder is er gekozen voor 6 mm dik plaatstaal. De opvangbakken blijken in de huidige situatie de meest gunstige dikte te hebben, dit is een voordeel aangezien ze door derden geleverd worden. Om het onderzoek compleet te maken is ook de kleine variant van de opvangbakken geanalyseerd, hieruit blijkt dat dit geen verbetering geeft.

6.1.2.3 Veerconstructie bakken

Op advies van de heer Uitdenbogerd is er besloten om een veerconstructie te simuleren. De theorie hier achter is: wanneer een bak in een veer hangt die lager is dan zijn eigenfrequentie, “ziet” de load cell de massa van de bak niet. Hierdoor wordt de eigenfrequentie van het onderdeel hoger. De bak kan echter gaan slingeren wat problemen geeft tijdens de meting. In de analyse zijn 3 type veren getest, de resultaten hiervan zijn te vinden in de bijlage (paragraaf 3.1.2.3).

In de testresultaten is duidelijk te zien: hoe kleiner de winding hoe hoger de eigenfrequentie. Uit de analyse kan de conclusie getrokken worden dat deze situatie geen verbetering geeft ten opzichte van de huidige situatie.



Afbeelding 5.11 Veerconstructie i.p.v. bakhouder

6.2 Modaal analyse

6.2.1 De modaal meting

Nadat er gesimuleerd is waar de zwakke plekken in de constructie liggen, is er een afspraak gemaakt met de heer Uitdenbogerd om een modaal meting te doen. Hiervoor is een speciale set gebruikt die de frequentie van een onderdeel kan meten. Door een modaal analyse in de praktijk uit te voeren kan de eigenfrequentie vergeleken worden met het SolidWorks model. Wanneer de waarden overeen komen kunnen aanpassingen in de computer getest worden voordat ze in de praktijk worden uitgevoerd.

6.2.1.1 De opstelling

De opstelling bestaat uit een laptop met daarbij de software en een junctionbox van het merk Data Physics (zie afbeelding 5.12). De Junctionbox meet twee signalen, een van de aanslaghamer en een van de trilsensor. Deze twee signalen combineert de junctionbox en stuurt het uiteindelijke signaal naar de computer welke het verwerkt tot een grafiek.

De trilsensor wordt bevestigd aan het te meten onderdeel, vervolgens wordt er met een aanslaghamer een klap gegeven op de plek waar mogelijk de trilling vandaan komt of wordt doorgegeven. De impact van de hamer wordt gemeten door de krachtsensor die in de hamerkop zit verwerkt, dit signaal wordt doorgestuurd naar de junctionbox. Tegelijkertijd wordt de trilling in het onderdeel gemeten door de trilsensor en wordt ook naar de junctionbox gestuurd. Door deze twee signalen te combineren kan men zien bij welke frequentie het onderdeel het meest gaat trillen, de eigenfrequentie.

6.2.1.2 De meting

Om een goede meting te verrichten is de apparatuur eerst afgesteld, vervolgens zijn er metingen gedaan op verschillende plekken in de constructie. Zo konden de grafieken met elkaar vergeleken worden tijdens de analyse en konden er verbanden getrokken worden. De plekken waar de metingen zijn gedaan zijn terug te vinden in de bijlage (paragraaf 3.2.1).

Wanneer de meting is voltooid krijgt men een grafiek te zien van de meting. De eigenfrequenties zijn te herkennen aan de uitschieters (toppen) in de grafiek. In afbeelding 5.13 is een voorbeeld van een dergelijke meting weergegeven, de rest van de metingen zijn terug te vinden in de bijlage (Appendix B, hoofdstuk 1).



Afbeelding 5.12
Apparatuur voor de
modaal meting



Afbeelding 5.13
Voorbeeld van een
modaal meting

Tijdens de analyse zijn niet alleen modaal metingen verricht, er zijn ook trillings-metingen gedaan tijdens het strooien van kunstmest. Dit om te meten welke frequenties daadwerkelijk bereikt worden in de constructie wanneer er kunstmest gestrooid wordt. Hier wordt de constructie niet aangeslagen, alleen de trilfrequenties worden gemeten. Deze zijn vervolgens vergeleken met de eigenfrequenties die eerder gemeten waren in de modaal meting om zo te ontdekken of de constructie tijdens het strooien in zijn eigenfrequentie komt.

De resultaten van de analyse zijn samengevat in tabel 6.7.

Tabel 6.7
Eigenfrequenties
van de baan

Eigenfrequentie	Onderdeel
12 Hertz	Ondersteuning van de sectie (tandwielen, bouten, steunbouten, etc.)
20.75 Hertz	Gedempte frequentie wanneer de baan dicht is van 27 Hertz
27 Hertz	Plaat waar alle loadcellen aan bevestigd zitten
31 Hertz	Bakhouder / bak-klem
41 Hertz	Gehele sectie bij elkaar
44 Hertz	----(niet bekend)-----

Deze frequenties zijn als volgt bevonden:

- **12 Hertz** : Bij meting 14 is de frequentie te zien, dit is wanneer de baan dicht is en wordt ondersteund. Deze frequentie heeft echter geen invloed op de meting vanwege het feit dat deze niet wordt bereikt tijdens het strooien van kunstmest tijdens een proef.
- **20.75 Hertz** : Deze frequentie komt voor wanneer de baan dicht is in meting 14. De frequentie ligt dicht bij de veelvoorkomende 27 Hertz en is dan ook de gedempte versie hiervan wanneer de baan gesloten is. Dit is af te leiden aan de positie van de top uit de meting en de vorm ervan.
- **27 Hertz** : Een veel voorkomende frequentie wanneer de baan in de open stand staat, wanneer de baan in de dichte stand staat is deze ineens “verdwenen”. De frequentie schuift dan op naar 20.75 Hertz en wordt gedempt. De frequentie is terug te vinden in metingen 7 t/m 13 en meting 15.
- **31 Hertz** : Komt in elke meting naar voren, behalve in meting 13, 14 & 15 waar de bakhouder eraf is gehaald.
- **40 Hertz** : Komt in elke meting terug. Daarnaast is deze specifiek gemeten in meting 15, waarbij de load cell is doorgemeten. De load cell is echter zo stijf dat deze niet in zijn eigenfrequentie komt waardoor de frequentie die is gemeten afkomstig moet zijn van de sectie.
- **44 Hertz** : Het is niet bekend waar deze waarde vandaan komt, gedacht wordt aan de buitenkant van de plaat maar dit kan niet met 100% zekerheid uit de metingen worden gehaald. Dit is echter niet erg, de eigenfrequentie ligt hoger dan de eigenfrequentie van de gehele sectie die eerder bereikt zal worden. Daarnaast wordt de frequentie van 44 Hertz bijna nooit bereikt tijdens het kunstmest strooien.

Nadat de eigenfrequenties bekend waren zijn deze vergeleken met de frequenties die naar voren kwamen tijdens het kunstmest strooien (15.8 Hz, 21.875 Hz, 22.25 Hz, 30.5 Hz, 31.75 Hz, 33 Hz, 40.25 Hz, 41 Hz, 44.125 Hz), deze bleken in de buurt te liggen van de eigenfrequenties.

De frequenties die naar voren kwamen tijdens het kunstmest strooien zijn vergeleken met de eigenfrequenties van de constructie om zo overeenkomsten te vinden. In meting “16 & 18 gecombineerd” in de bijlage (Appendix B hoofdstuk 1) zijn de eigenfrequenties weergegeven als rode stippellijnen in de frequentiemeting tijdens het strooien van kunstmest. Hierin is goed te zien dat de frequenties dicht bij elkaar liggen.

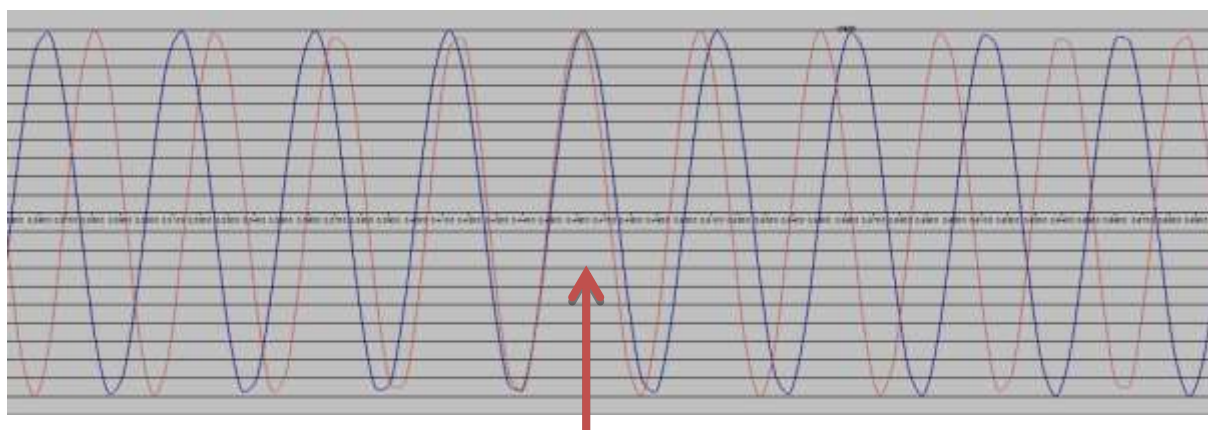
Wanneer er kunstmest gestrooid wordt, komen er in de frequentiemeting enkele pieken bij, overeenkomstige pieken zijn echter lager dan wanneer er niet gestrooid wordt (en de strooier wel aanstaat). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de eigenfrequenties van de secties in de baan aan geslingerd worden door de kunstmeststrooier, de veroorzaker van de trillingen.

Aangezien de verstoring bij het draaien zonder strooien niet altijd terug te vinden is in de ruwe data uit de gewichtsmeting (van het Kverneland meetsysteem), kan geconcludeerd worden dat de eigenfrequenties niet altijd opgeslingerd wordt. Het niveau van het opslingeren is dan niet voldoende om het gewichtsmetsignaal te verstoren. Wanneer de bakken in de secties voller raken (richting de 500 gram) zorgt het opslingeren ervoor dat de secties gaan verstoren.

6.2.1.3 Frequentie analyse

Om te bepalen in welke mate de frequenties invloed op elkaar hebben is er een analysetabel gemaakt. De analysetabel van de frequenties rond de 40 Hz dient als voorbeeld voor alle andere frequenties en is te vinden in de bijlage (paragraaf 3.2.2).

De frequenties die bereikt worden door het strooien van kunstmest komen dicht in de buurt van de eigenfrequentie van sommige onderdelen. Door de sinusfunctie van de frequenties naast elkaar in een grafiek te plaatsen is de mate van verstoring onderzocht. De uitkomsten zijn vervolgens opgenomen in de analysetabel. Wanneer de pieken en dalen van de grafieken samenkomen stoot de trilfrequentie de eigenfrequentie aan, hierdoor verstoort de meting. In afbeelding 5.14 is een screenshot te zien waar twee frequenties samen komen op een bepaald punt (20 Hertz (blauw) & 22.25 Hertz (rood)).



Afbeelding 5.14 Screenshot Sinus-analyse (20 & 22.25 Hz)

De analyse is gedaan door een template in Excel welke van internet is gehaald*, deze is te vinden in de bijlage (paragraaf 3.2.2.1). Hierin dienen de waardes voor de frequenties ingevuld te worden, om vervolgens de twee sinusfuncties te berekenen.

* De sinus generator is gedownload van de site:

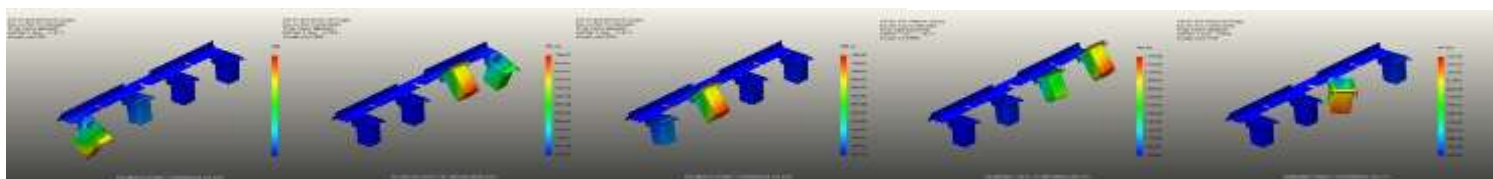
http://www.ecircuitcenter.com/VBA/Topics/Sine_Wave/Sine_Wave.htm

Nadat alle frequenties geanalyseerd waren kon de conclusie getrokken worden: de verstoring neemt toe naarmate het verschil tussen de eigenfrequentie en de strooifrequentie kleiner wordt. Hierbij maakt het niet uit of dit een grotere of kleinere frequentie is dan de eigenfrequentie. Getracht wordt om een hogere frequentie te halen aangezien deze minder snel wordt bereikt bij het strooien van kunstmest. De gemiddelde verstoring (gemeten bij de junctionbox) ligt op 10%. Noodzaak is om de frequentie die gegenereerd wordt door het strooien terug te brengen en/of de eigenfrequentie van het systeem te verhogen.

Bij de berekening is aandacht besteed aan de meetsnelheid van de junctionbox: aangezien die met 40 Hz meet wordt er elke 25 milliseconden een meting gedaan. De waardes in de grafiek zijn berekend op 50 milliseconden zodat de grafiek overzichtelijk blijft en toch nauwkeurig genoeg is.

6.2.2 Aanpassing computermodel

De eigenfrequenties uit de modaal meting zijn bekend en vergeleken met de simulatie in SolidWorks. De simulatie bleek in eerste instantie niet te kloppen, snel werd duidelijk dat er een connectie tussen de versteviging en de plaat niet goed was aangegeven. Wanneer de connectie juist wordt aangegeven resulteerde dit in een eigenfrequentie voor de gehele sectie van 41 Hertz (zie afbeelding 5.15), exact gelijk aan de daadwerkelijke frequentiemeting. Aangenomen kan worden dat de simulatie overeenkomt met de werkelijke situatie. Hierdoor kunnen wijzigingen getest worden in Solidworks zodat het effect meteen zichtbaar is. Wanneer de meest gunstige oplossing gevonden is zal deze in de praktijk getest worden. Nieuwe situatie met versteviging:



Afbeelding 5.15 Trilvormen van links naar rechts: 41.22 Hz, 41.68 Hz, 41.92 Hz, 41.93 Hz & 72.56 Hz

7 Oplossingen

Dit hoofdstuk behandelt per verstoring de oplossingen die voor handen zijn. De verstoringen komen voort uit de voorgaande hoofdstukken. Uit de analyses is duidelijk geworden waar het probleem vandaan komt. Aan het eind van dit hoofdstuk zijn gevonden verstoringen opgelost.

7.1 Eigenfrequentie

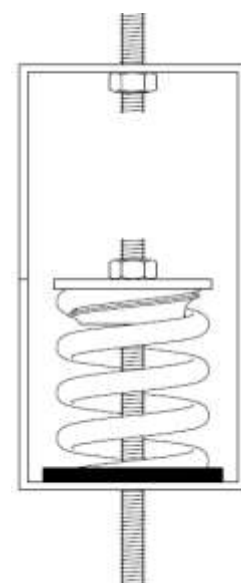
7.1.1 Strooi-installatie

Nu de eigenfrequentie van de constructie bekend en gecontroleerd is, wordt er aandacht besteed aan de aanstichter van het probleem: de strooi-installatie. Om de verstoring tegen te gaan moet de driepotige bok (waar de strooi-installatie op is bevestigd) op veren worden gezet. Deze veren moeten een zodanige lage eigenfrequentie hebben dat ze minimaal wortel twee ($\sqrt{2}$) lager liggen dan de laagste eigenfrequentie van de baan. Aangezien de laagste frequentie van de baan 12 Hertz is mogen de veren geen hogere frequentie bevatten dan:

$$\text{Veerfrequentie} = \frac{12}{\sqrt{2}} = 8.5 \text{ Hz}$$

Hoe verder de frequentie van de veer af ligt van de laagste eigenfrequentie van de baan hoe beter de werking. Wanneer er voor veren wordt gekozen moet er gekeken worden naar de aanstootfrequenties van de strooier, hiermee wordt voorkomen dat de strooier “wegwandelt”.

Aangezien er in de strooi-installatie continue andere kunstmeststrooiers worden geplaatst verandert de massa voortdurend. Daarnaast is er nooit een exacte massa kunstmestkorrels wat in de strooier geladen wordt, deze neemt gedurende het testen af. Aangezien de massa niet constant is kan er geen vaste veerconstructie geplaatst worden. Dit in verband met het feit dat de strooierinstallatie altijd horizontaal moet staan. De horizontale uitlijning kan niet gewaarborgd worden wanneer er een andere strooier ingehangen wordt, hierdoor zakt of stijgt de installatie aan een kant.



Afbeelding 6.1
Voorbeeld van een
veerconstructie onder
de poten van de bok

7.1.2 Meetinstallatie

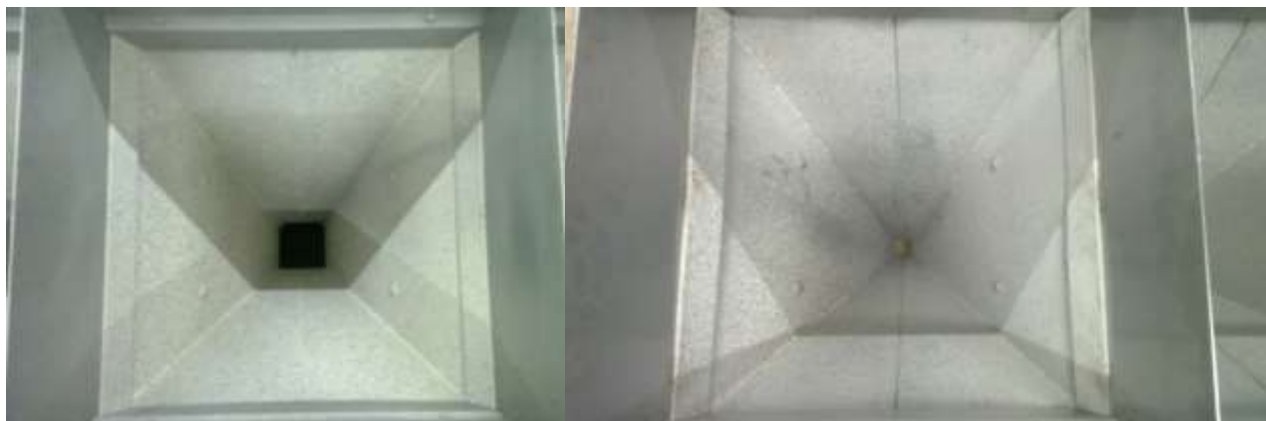
Vanwege het feit dat de aanstichter van het probleem (de strooi-installatie) niet aangepast kan worden is er een oplossing bedacht om de eigenfrequentie van de baan hoger te krijgen. Hierdoor wordt de eigenfrequentie niet aangestoten door de frequentie vanuit de strooi-installatie, er treed geen verstoring op.

Door de aanpassing in het computermodel geeft verdikking van de plaat geen verbetering in de frequentie. De oorzaak waardoor de constructie in trilling komt ligt hierdoor bij de bakhouders aangezien de loadcellen en de plaat stijf genoeg zijn. De bakhouders zal vervaardigd worden uit plaatmateriaal van 4mm dikte. Hierdoor ligt het eigenfrequentiegebied van de sectie precies in een frequentiegebied wat niet opgeslingerd wordt door de strooi-installatie, zie voor de volledige analyse de bijlage (paragraaf 4.1). De werktekening van het nieuwe ontwerp is te vinden in de bijlage (paragraaf 5.2).

7.2 Stuiterende korrels

De stuiterende korrels vormen een groot probleem tijdens de meting. Het heen en weer stuiteren van de korrel zorgt voor een piekerige grafiek. Zoals eerder vermeld (zie paragraaf 5.2.1.6) kan dit voorkomen worden door een losse energie absorberende laag onderin de bakken aan te brengen (bijvoorbeeld grit of zand).

Naast de absorberende laag zijn er meer mogelijkheden om de energie uit de korrel te halen. Zo zorgt een smallere trechter ervoor dat de korrel eerst enkele keren tegen de wand van de trechter moet stuiteren voordat hij door de opening naar de meetbak kan. Uit de analyse is gebleken dat de smalle trechters een positief effect hebben op de meting (zie bijlage paragraaf 4.2). De smalle trechters zal gecombineerd worden met een losse energie absorberende laag aan de onderkant van de bak hierdoor is de verbetering optimaal. De volledige energie is uit de kunstmestkorrel weggenomen waardoor alleen de massa gemeten wordt. In afbeelding 6.2 is het verschil te zien, afbeelding 6.3 geeft een zijaanzicht van de oplossing.



Afbeelding 6.2 Bovenaanzicht trechter links oude situatie vs. rechts nieuwe situatie (smaller en langer)



Afbeelding 6.3
Zijaanzicht vernieuwde
trechter

7.3 Windverstoring

Uit testen is gebleken dat de winddruk die de schoepen creëren de meting in de voorste secties ernstig verstoord. Om te voorkomen dat de wind op de bakken drukt is er gezocht naar een oplossing om de luchtverplaatsing te sturen. Dit heeft echter als nadelig effect dat de kunstmestkorrel niet hun natuurlijke weg afleggen. Zo is er onder andere gekeken naar:

- Een geperforeerde plaat aan de bovenzijde van de trechter
- Een doek bol gespannen over de bovenzijde van de trechter, zijkanten open
- Lamellen onder een hoek in de trechter

Uit de analyse kwam naar voren dat in alle gevallen de kunstmestkorrel zodanig vertraagd zou worden dat de meting niet meer klopt. Ook het aanpassen van de software was geen optie aangezien niet iedere korrel dezelfde weg aflegt in een van de drie bedachte situaties.

Tijdens het onderzoek naar het stuiteren van de korrels is de smalle trechter als verbetering uit het proces gekomen. Verwacht wordt dat de smallere trechter met de kleinere opening aan de onderzijde ook een positief effect zal hebben op de verstoring van de winddruk.

Wanneer de versmalde trechter geen verbetering biedt zal er in de software een filter gemaakt moeten worden welke alleen geldt voor de eerste drie secties. Hiervoor kan het bestaande filter genomen worden die tien metingen middelt. Ook kan er een nieuw filter vervaardigd worden door de lineaire lijn uit paragraaf 5.2.2.3 om te zetten in een formule.

Aan de windverstoring is minder aandacht besteed gedurende het onderzoek aangezien deze verstoring alleen effect heeft op de eerste drie secties van de baan. De prioriteit lag met name in het op orde krijgen van het meetsignaal voor de gehele baan, vandaar dat deze verstoring niet verder is gekomen dan de conceptfase.

8 Controletesten praktijk

Door een gebrek aan tijd is er in de laatste weken geen tijd geweest om de oplossingen (die in hoofdstuk 7 zijn besproken) te testen in de praktijk. Merendeel van de oplossingen zijn tijdens het testen bij de analyse naar voren gekomen dankzij hun verbeterende resultaat, ze zijn echter niet gecombineerd getest. In dit hoofdstuk zijn de individuele praktijktesten besproken. Voor de onderdelen die niet in de praktijk getest zijn is een test-plan gemaakt.

8.1 Smalle trechters

De versmalde trechters zijn in de praktijk getest en geven een aanzienlijke verbetering. De praktijktest is terug te vinden op de Cd-rom die is bijgevoegd in de bijlage (Appendix B hoofdstuk 2). In de map *smalle trechters* is een samenvattende Excel sheet gemaakt genaamd *vergelijking sectie 5 – sectie 21*. In de sheet is goed het verschil te zien tussen de verschillende grafieken: sectie 5 (blauwe lijn) is de sectie in de huidige situatie, sectie 21 (rode lijn) is de sectie met versmalde trechters. Sectie 21 is een extra toegevoegde sectie en staat op gelijke hoogte van sectie 5. In de sheet zijn verschillende situaties getest, er kan met zekerheid gezegd worden dat de smallere trechter een verbetering zijn voor het meetsignaal.

Stappen die genomen dienen te worden in Excel: Open de Excel sheet, klik in de grafiek (niet op de lijnen zelf!) er verschijnt een blauwe lijn om de huidige selectie. Wanneer u de blauwe lijn naar een andere selectie sleept (naar links en rechts) verschijnt deze in de grafiek, let er wel op dat sectie 5 (DJB5) en sectie 21 (DJB21) met elkaar vergeleken worden.

8.2 Absorberende laag

De energie absorberende laag is in paragraaf 5.2.1.6 uitgebreid getest in het lab. Deze testen zijn terug te vinden op de Cd-rom. In de praktijktest is een laag grit in een sectie gedaan waarna er een meting is gestart. Hieruit bleek dat vooral wanneer de bakken leeg waren dit een verbetering gaf in het meetbeeld. Ook het laten vallen van grote kunstmestkorrels rechtstreeks in de bakken gaf geen verstoring meer.

8.3 Vernieuwde bakhouder

Aangezien de nieuwe bakhouders vervaardigt moesten worden was er in de laatste weken geen tijd meer om deze te testen. De bakhouders zijn inmiddels vervaardigt en liggen klaar om getest te worden. Bij de test is het van belang dat er gekeken wordt naar het effect van de bakhouder wanneer er meer dan 500 gram gewicht in de bakken zit. Er zijn twee nieuwe bakhouders vervaardigt zodat in een sectie de vernieuwde versie met de huidige vergeleken kan worden. Het stappenplan voor de test is als volgt:

- Plaats het afgemeten gewicht in de bakken
- Tarreer de baan & begin de meting
- Beëindig de meting & open de ruwe data
- Vervaardig de grafiek & vergelijk de twee versies met elkaar

Uit de test zal blijken of de vernieuwde bakhouder de verstoring verhelpt. Mocht dit na enkele testen niet zo zijn dan wordt aangeraden om de bakhouder uit een dikker plaatmateriaal te vervaardigen en opnieuw te testen.

9 Conclusie

Uit het onderzoek welke is verricht tijdens de afstudeerperiode zijn de volgende conclusies te trekken.

Het systeem is grofweg op te delen in twee deelsystemen, het mechanische gedeelte en het elektrische deel. Het elektrische gedeelte is onderzocht, daaruit bleek dat geen van de elektronische componenten verstoring veroorzaakt in de meting. De conclusies met betrekking tot de elektrische componenten zijn gecontroleerd door een expert op het gebied van trillingen en met de apparatuur daarvoor.

In het mechanische gedeelte van het systeem wordt de verstoring veroorzaakt. De verstoring is afkomstig van meerdere factoren. De eerste factor is de strooi-installatie. Deze installatie genereert een scala aan trilfrequenties die in sommige gevallen de eigenfrequenties van de meetopstelling opslingeren. Wanneer de meetbakken een massa bereiken rond de 500 gram, zorgt de strooi-installatie ervoor dat de secties in hun eigenfrequentie terecht komen. Onder dit gewicht is het niveau vanuit de strooi-installatie te laag om de eigenfrequentie aan te slingeren.

Aangezien de strooierinstallatie de bron van het probleem is zal deze aangepakt moeten worden. Dit kan door de juiste veren onder de poten aan te brengen. Deze mogen geen grotere frequentie hebben dan 8.5 Hz. De oplossing is echter niet mogelijk aangezien het gewicht van de strooierinstallatie voortdurend verschilt en buiten het middelpunt hangt. Hierdoor staat de installatie niet voor alle strooiers horizontaal, wat een eis is vanuit Kverneland.

Vanwege het feit dat de bron niet wordt aangepast is de meetinstallatie onderzocht. Hieruit is voortgekomen dat de eigenfrequentie verhoogd kon worden door het verstevigen van enkele componenten. De verstevigingsstrip die reeds was aangebracht door Kverneland behoeft geen verandering, deze bracht de meest optimale verbetering. De loadcellen behoeft ook geen verandering aangezien ze ingekocht worden bij een externe partij, daarnaast moest de meetkwaliteit gewaarborgd blijven. Wanneer de bakhouder uit een dikker plaatmateriaal vervaardigd wordt geeft dit een positief effect op de eigenfrequentie. De bakhouder zal in de nieuwe situatie uit 4 mm dik plaatstaal vervaardigd zijn, wat een verbetering van 10 Hz geeft. Door de verbetering van de eigenfrequentie wordt deze niet meer opgeslingerd door de strooi-installatie.

De tweede factor die verstoring veroorzaakt zijn de kunstmestkorrels. Deze stuiteren in de meetbakken waardoor er een foutieve meting ontstaat. Om het stuiten tegen te gaan dient de energie uit de korrel weg gehaald te worden. Dit wordt gerealiseerd door middel van smallere trechters met een kleinere opening aan de onderzijde. Hierdoor stuiteren ze enkele malen in de trechter voordat ze in de meetbak terecht komen. Om de energie maximaal uit de korrel te halen wordt onderin de meetbakken een energie absorberende laag aangebracht zodat de korrel bij aankomst meteen stil ligt.

Als derde versturende factor zijn de schoepen in de strooier aan te wijzen. Zei veroorzaken een winddruk op de meetbakken in de eerste drie secties. Aangezien de strooier niet aangepast wordt is er een oplossing bedacht bij de meetopstelling. Door de smallere trechters die toegepast zijn vanwege de stuitende korrels is ook de winddruk die in de meetbak kan komen een stuk minder.

Wanneer opgemerkt wordt dat de buitenste bakken in de meetopstelling meer verstoren met de aanpassingen dient er een ondersteuning geplaatst te worden. Deze geeft een stabiele grafiek maar kan echter wel het leegsysteem hinderen. De ondersteuning dient tegen de onderzijde van de plaat aangezet te worden waarna het met de hand licht aangedraaid wordt, hiermee wordt het beste effect bereikt.

Naast de hoofdverstoringen zijn er enkele factoren die invloed hebben op de meting. Activiteiten in de naast gelegen werkplaats geven echter geen verstoring. Het rijden met de heftruck met hoge snelheid geeft de meeste verstoring en dient voorkomen te worden. Werkzaamheden in de testruimte zelf dienen zo min mogelijk voor te komen tijdens het testen, deze verstoren aanzienlijk.

9.1 Aanbeveling

Kverneland Group Nieuw-Vennep kan haar testopstelling voor de kunstmeststrooiers verbeteren door:

- De vernieuwde bakhouders te plaatsen
- Smallere trechters in de baan te zetten
- Een absorberende laag aan de onderzijde van de meetbakken aanbrengen
- Eventueel buitenzijde secties ondersteunen wanneer deze meer verstoren dan de binnenste.

Daarnaast wordt aanbevolen om kleinere loadcellen te gebruiken aangezien deze een kleinere standaard verstoring geven. De huidige loadcellen (5kg) kunnen het beste vervangen worden door loadcellen van 3 kg aangezien het gewicht van de bakhouder en bak zelf rond de 1.5 a 2 kg ligt. Een load cell van 3 kg geeft een standaard verstoring (bij een opdeling in 50.000 stukken) van 0.12 gram, 0.08 gram beter dan de huidige load cell.

Wanneer blijkt dat de verstoring in de voorste secties nog aanwezig is nadat de aanpassingen zijn uitgevoerd, dient het ontwerpproces voor de windverstoring opgepakt te worden. Deze is door een tekort aan tijd en een lagere prioriteit blijven steken in de conceptfase.

10 Literatuurlijst

W. Hoogland, R. Dik, Rapport over Rapporteren. 5^e druk, Rotterdam/Delft, maart 2006.

Internet:

http://www.narrare.nl	Informatie over het schrijven van een rapport
http://www.stekon.nl	Technische gegevens loadcellen
http://www.werkenbijkvernelandgroup.nl	Informatie over de vestiging Nieuw-Vennep
http://www.kvernelandgroup.com	Informatie over de gehele organisatie
http://www.Kverneland.com	Informatie over de producten
http://www.vicon.nl	Productinformatie kunstmeststrooiers
http://nl.wikipedia.org & http://www.encyclo.nl	Uitleg begrippen
http://www.dataphysics.com	Technische informatie meetsysteem modaal analyse
http://www.ecircuitcenter.com/VBA/Topics/Sine_Wave/Sine_Wave.htm	Sinus generator

