

Bijlage

---

**Kverneland Group Nieuw Vennep**

---

**Bart Buzink**





## Voorwoord

De bijlage is opgesplitst in twee delen: een analyse deel waarin alle informatie staat aangaande het onderzoek en een deel waarin alle metingen en testresultaten zijn opgenomen. Met name het eerste deel zal van belang zijn tijdens het lezen van het rapport, het tweede deel dient als naslagwerk. In het tweede deel bevinden zich alle testresultaten die gedurende het onderzoek zijn verworven. Hierbij zit een CD welke vertrouwelijke informatie bevat, deze is alleen bestemd voor de Kverneland Group en de personen van de Haagse Hogeschool die het rapport beoordelen.

Nieuw-Vennep, Mei 2013

## Inhoudsopgave

|                 |   |
|-----------------|---|
| Voorwoord ..... | 1 |
|-----------------|---|

### **Appendix A (analyses)**

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 1. Onderzoeksplan .....                              | 4  |
| 1.1 Mechanische deel.....                            | 4  |
| 1.1.1 Hoeveelheid massa in de bakken .....           | 4  |
| 1.1.2 Buitenste bakken .....                         | 4  |
| 1.1.3 Buiten de testruimte.....                      | 5  |
| 1.1.4 Testopstelling .....                           | 5  |
| 1.1.5 Achterkant van de baan .....                   | 6  |
| 1.1.6 Luchtverplaatsing + lossingshoek .....         | 6  |
| 2. Onderzoeksresultaten.....                         | 7  |
| 2.1 Mechanische gedeelte.....                        | 7  |
| 2.1.1 De baan .....                                  | 7  |
| 2.1.2 De strooieropstelling.....                     | 14 |
| 2.1.3 Conclusies & testresultaten (uitgebreid) ..... | 19 |
| 3. Detail analyse.....                               | 22 |
| 3.1 Eigenfrequentie analyse .....                    | 22 |
| 3.1.1 Simulatie in Solidworks .....                  | 22 |
| 3.1.2 Invloeden op eigenfrequentie .....             | 28 |
| 3.2 Modaal analyse .....                             | 31 |
| 3.2.1 Plekken van de meting.....                     | 31 |
| 3.2.2 Frequentie analyse.....                        | 32 |
| 4. Oplossingen .....                                 | 35 |
| 4.1 Eigenfrequentie.....                             | 35 |
| 4.2 Stuiteren van de korrels.....                    | 36 |
| 5. Overige documenten.....                           | 37 |
| 5.1 Formuleblad trillingen .....                     | 37 |
| 5.2 Werktekening bakhouders .....                    | 38 |
| 5.3 Datascheets.....                                 | 39 |

### **Appendix B (testresultaten)**

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 1. Grafieken Modaal meting.....                | 42 |
| 2. CD-rom met meetresultaten + urenstaten..... | 58 |

## Appendix A (Analyses)

---

# **Kverneland Group Nieuw Vennep**

---

**Bart Buzink**

## 1. Onderzoeksplan

In dit hoofdstuk zijn de analyses te vinden die horen bij het onderzoeksplan (hoofdstuk 4) uit het onderzoeksrapport.

### 1.1 Mechanische deel

Bij het mechanische deel is er onderzoek gedaan naar verschillende onderdelen die uit de meeloopweek naar voren zijn gekomen. In dit hoofdstuk zijn alle analyses te vinden van de betreffende onderdelen.

#### 1.1.1 Hoeveelheid massa in de bakken

Tijdens metingen is gebleken dat wanneer er een bepaalde massa in de bakken komt het beeld extra verstoord. Er wordt onderzocht wat het effect is en bij welke massa de meting begint te verstoren.

De testopstelling meet constant onder dezelfde omstandigheden, de enige verandering is dat in sommige secties massa wordt toegevoegd. Na een test worden de bakken geleegd en de baan opnieuw getarreed. De massa's variëren 250 gram met elkaar zodat er eerst een grove schatting gemaakt wordt.

De vaste omstandigheden waarin de testopstelling draait zijn:

- toerental schoepen : 950 rpm
- Hoeksnelheid van de strooier: 5 graden/sec
- Dosering: positie 36 // 100 kg/min
- Lettersetting : P // werkbreedte: 24 meter
- Schoepen: 285-285-285 // helling: 0 graden

#### 1.1.2 Buitenste bakken

Bij het maken van strooibeelden was te zien dat de buitenste weegbakken meer verstoring geven dan de binnenste. Dit is getest door middel van een aantal proeven waaruit blijkt of het ligt aan de ophanging, de scharnierpunten of het feit dat de buitenste bakken “zweven”. De volgende testen zijn gedaan:

- Meting met gewichten (testen of de buitenste bakken daadwerkelijk meer verstoren)
- Scharnierpunten in verschillende standen  
(strak aangedraaid, los aangedraaid en de normale situatie)
- Ondersteuning van de buitenste weegcellen vervaardigen en testen  
(onderzoeken of de ophanging de trilling veroorzaakt).

Wanneer uit een van deze testen blijkt dat er daadwerkelijk verstoring optreedt door de buitenste bakken, zal er naar de constructie gekeken worden.

### 1.1.3 Buiten de testruimte

Naast het feit dat de verstoring uit de testbaan kan komen, zijn er genoeg factoren buiten de testopstelling welke invloed kunnen hebben op de meting. Door deze uit te vergroten of specifiek te meten is er gekeken wat de invloed van de betreffende factor is.

De naastgelegen R&D-werkplaats geeft qua geluid al enige hinder, dit geluid is echter geen versturende factor voor de meting. Wel geeft het aan dat eventuele trillingen hun weg kunnen vinden richting de testopstelling. Om te meten wat het effect is zijn er enkele proeven bedacht:

- Werkzaamheden in de werkplaats (aanschroeven, hameren, etc.)
- Verplaatsen of verrijden van materieel  
(heftruck & loopkat, schotten voor een andere testopstelling)
- Andere testopstellingen (afdraaiproef, testruimte R&D-werkplaats)
- Luchtverplaatsing (deuren werkplaats, buitendeuren)
- Werkzaamheden rondom de testbaan  
(aanschuiven kunstmest, tractor starten naast de baan)

Tijdens de week waarin de testen uitgevoerd worden zullen bijzondere werkzaamheden in de werkplaats ook meegenomen worden in de meting. De meest voorkomende werkzaamheden worden specifiek gemeten.

### 1.1.4 Testopstelling

De verstoring komt voort uit de nieuwe testopstelling. Vanwege het feit dat deze geheel nieuw is opgezet en zich het dichtste bij de meetapparatuur bevindt is de kans groot dat dit de meeste verstoring veroorzaakt.

Bij de testopstelling is naar alle losse onderdelen gekeken zo kan er een uitspraak gedaan worden over elk onderdeel en de mate waarin het verstoort. Nadrukkelijk is er gekeken naar de bok met daarop de strooier. De volgende punten zijn getest:

- Snelheid van de schoepen (met en zonder kunstmest)
- Soort schoepen
- Stand van de strooier boven de baan
- Een of twee schoepen aangedreven
- Draaisnelheid van de strooier over de baan (verschillende snelheden)
- Hoek van de strooier
- Effect na het "schoon-trillen" van de opvangtrechters.
- Steunrubbers van het frame waar de load cell aan hangt

Al deze onderdelen worden getest en beoordeeld, daarna wordt er een uitsluitsel gegeven over het effect dat de testopstelling op de meting heeft.

### **1.1.5 Achterkant van de baan**

Tijdens de meeloopweek bleek in de achterkant van de baan regelmatig een verstoring aanwezig te zijn. Dit is gecontroleerd en de oorzaak is achterhaald, er bleek lichte spelling in het frame te zitten waar de weegcellen aan hangen. Daarnaast staat de sectie op dezelfde hoogte als een testopstelling in de naastgelegen R&D-testruimte. Aan de hand van die informatie zijn testen uitgevoerd:

- Gewicht op de bovenkant van het frame  
(damping trillingen & zet het frame onder lichte spanning)
- Isolatiemateriaal + gewicht op de bovenkant van het frame
- Isolatie tussen aanslagbout en frame vs. normale situatie
- Testinstallatie R&D-werkplaats aan vs. uit

Deze gegevens zullen aantonen of het toevoegen van extra massa aan het frame bijdraagt aan het dempen van de verstoring. Daarnaast zal er gekeken worden of de testopstelling in de naastgelegen R&D-werkplaats (waarbij ze hydrauliekventielen testen) op een andere positie moet komen te staan.

### **1.1.6 Luchtverplaatsing + lossingshoek**

Wanneer de schoepen draaien verplaatsen ze een hoop lucht, dit is te zien wanneer er kunstmestkorrels worden gestrooid. Onder de strooier is een load cell bevestigd die meet hoeveel kunstmest er nog in de kuip aanwezig is. Wanneer de strooier wordt aangezet met normale schoepen is te zien dat de load cell 8 kg meer meet dan wanneer de schoepen uit staan. De verplaatsing van de wind zorgt ervoor dat de schoepen met een kracht van 80 Newton aan de kuip trekken. Deze zuigkracht aan de kuip creëert een drukkracht op de weegbakken onder de strooier. Bij liftschoepen is de trekkracht aan de kuip een stuk hoger, namelijk 150 Newton. Om het effect te meten draait de strooier zonder kunstmest te strooien over de baan, zo is de drukkracht van de wind in de voorste bakken goed te meten.

Naast de winddruk op de bakken is ook de lossingshoek van groot belang. Aangezien de bakken van hardplastic zijn, stuiteren de korrels bij een lege bak enkele keren heen en weer waarna ze tot rust komen. Dit veroorzaakt mogelijk een verstoring. Door een isolatielaag aan te brengen is het verschil te meten tussen een gedempte en een stuiterende korrel. Naast een isolatielaag zijn ook verschillende lossingshoeken (recht boven de trechter, normale lossingshoek vanuit de strooier en strooier onder een hoek) getest om te zien bij welke hoek de korrel het snelst tot rust komt.

## 2. Onderzoeksresultaten

### 2.1 Mechanische gedeelte

#### 2.1.1 De baan

##### 2.1.1.1 *Gewicht op de weegcellen ter stabilisatie*

Door gewichten te plaatsen op de constructie worden eventuele trillingen opgevangen of gedempt. Hierdoor zou de verstoring af moeten nemen. Tijdens het testen wordt er rekening gehouden dat elke test licht kan afwijken aangezien er nooit op de tiende gram exact wordt gestrooid.

Bij het testen zijn er meerdere situaties gesimuleerd, hieronder vindt u de resultaten per situatie:

- **Normale situatie (geen gewicht)**

In de normale situatie is te zien dat de meting niet afwijkt van andere metingen qua uitschieters en verstoringen in het signaal. Vandaar dat deze als basis kan dienen in het onderzoek naar het feit dat extra gewicht stabilisatie biedt in de meting.

- **1 kg op de bovenkant van de weegcellen**

Wanneer er 1 kg aan de bovenzijde van de weegcellen geplaatst wordt is in het meetresultaat te zien dat de meting licht verbetert. De grafiek vertoont iets minder pieken, de verbetering is minimaal.

- **2 kg op de bovenkant van de weegcellen**

In het meetresultaat is te zien dat ten opzichte van de eerste meting de trillingen in het meetsignaal iets groter zijn geworden. Deze toename is echter zo klein dat die verwaarloosbaar is. Het totale beeld ten opzichte van de normale situatie is wel verbeterd, vooral in de eindfase van de grafiek zit minder ruis.

- **2 kg op alleen de buitenste weegcellen**

Door gewichten aan de buitenzijde te plaatsen wordt de constructie licht onder spanning gezet. Uit de meting blijkt dat de verstoring in de sectie hierdoor enigszins afneemt.

Opvallend is wel dat aan één zijde de verbetering minder groot is, dit kan komen doordat de plaats van het gewicht wat afwijkt van de andere zijde.

#### **Conclusie:**

Wanneer er gewichten worden geplaatst op de constructie zorgt dit voor een kleine verbetering van het meetresultaat. Doordat de constructie in het midden gedragen wordt is het overbodig om gewicht in het midden te plaatsen, vandaar dat de beste oplossing is om de gewichten aan de buitenzijde te plaatsen. De grootte van het gewicht is enigszins bepalend voor de mate waarin de grafiek afgevlakt wordt. Bij 2 kg is het mooiste resultaat gemeten. Het aanbrengen van een isolatielaag tussen de constructie en het gewicht zorgt ervoor dat het gehele effect van het gewicht verloren gaat. Na een tweede meting waarbij er elke 200 milliseconden gemeten is ter controle, kwam naar voren dat het toevoegen van gewicht op de buitenste secties nauwelijks een verbetering geeft.

### 2.1.1.2 Lossingshoek van de kunstmest

De kunstmestkorrels vallen in een hoek tegen de trechters aan die boven de weegbakjes hangen. Wanneer ze met een hoge snelheid tegen de trechter aankomen stuiteren ze in de weegbakjes nog enkele keren heen en weer waardoor er een foutieve meting wordt veroorzaakt. Om dit te controleren zijn er verschillende situaties bedacht:

#### - **Kunstmestkorrels handmatig recht boven de trechter lossen**

Hierbij wordt gesimuleerd wat het effect is op de naastgelegen secties als er een grote hoeveelheid kunstmestkorrels recht de trechter in valt. Er is in de meting een duidelijke uitslag te zien, wanneer de kunstmest eenmaal stil ligt in de bakken is de meting redelijk stabiel. Echter tijdens het vallen van de kunstmestkorrels in de bakken geven de naastgelegen bakken in de zelfde sectie een grote verstoring variërend van 1 tot 6 gram. Dat is vrij veel, ondanks dat hier een extreme situatie is nagebootst die in werkelijkheid bijna nooit voorkomt.

Wanneer er één voor één korrels losgelaten worden recht boven de trechter is er alleen bij grote korrels een verstoring te zien van 0,1 a 0,2 gram. Wanneer de korrels via de trechterwand in de bak vallen is de verstoring een stuk minder.

### 2.1.1.3 Bodem meetbakken

Nadat er een grote verstoring was gemeten door stuiterende kunstmestkorrels, is er in het lab gekeken wat de beste ondergrond zou zijn voor de bakken (zie afbeelding 2.1). Met een goede ondergrond zouden de korrels opgevangen worden en stil blijven liggen. Uit eerdere testen is gebleken dat wanneer er een laag kunstmest in de bakken ligt de inkomende korrels minder opspringen. Verwacht wordt dat de goede ondergrond een materiaal zal zijn dat de energie van de korrel absorbeert.

#### - **Rubberen mat**

Als eerste is er een stuk stevig maar flexibel rubber gebruikt welke in de vorm van de onderkant van het bakje is uitgesneden. Deze zou de korrels moeten opvangen en de impact enigszins moeten absorberen. Uit testen blijkt echter dat er maar een kleine verbetering behaald werd met de rubberen mat. Wanneer er geen korrels op de mat liggen springen ze nog steeds omhoog. Wanneer er eenmaal korrels op de bodem liggen vormen deze een absorberende laag welke het opspringen van de korrels tegen gaat.



Afbeelding 2.1 Testopstelling in het lab

- **Schuimrubber**

Naar aanleiding van de test met de rubberen mat is er een flexibel en zacht materiaal op de bodem bevestigd, schuimrubber. Verwacht werd dat met deze materiaaleigenschappen de energie van de korrels goed geabsorbeerd zou worden. Uit testen bleek echter iets anders, doordat het schuimrubber zo flexibel en elastisch is werkt het tegenovergesteld aan het beoogde resultaat. Het schuimrubber functioneert als een trampoline wanneer er geen laag kunstmestkorrels op ligt, de kunstmestkorrels springen hierdoor extra omhoog. Wanneer er een laag korrels op het schuimrubber ligt, absorbeert deze de impact van de inkomende korrels en springen deze niet omhoog.

- **Laag grit**

Uit vorige testen is gebleken dat een stevig en hard materiaal niet het gewenste effect geeft, en dat een extreem zacht en te elastisch materiaal de korrels lanceert. Vandaar dat er naar een combinatie is gezocht van een zacht materiaal welke niet elastisch is, deze vangt de impact/energie van de korrels op en absorbeert deze.

Om te controleren of deze aanname correct is, zijn er testen gedaan met een laag kattengrit onderin de bak. Dit is zacht en niet samenhangend waardoor het de impact goed zou moeten absorberen. De testen lieten zien dat bij een laag grit de korrels goed opgevangen werden en niet omhoog stuitden. Ook wanneer er kunstmestkorrels in de bak aanwezig waren leverde dit geen probleem op. De hoeveelheid grit is ook getest, hieruit bleek dat een dunne laag die de gehele bodem bedekt voldoende is. Een dikkere laag had geen verbeterend effect.

- **Lab-testen vergelijken met de praktijk**

Nadat de testen in het lab waren afgerond, zijn de conclusies gecontroleerd door deze in werkelijkheid (op de testbaan) te testen. Hieruit bleek dat de conclusies die getrokken zijn uit de lab-testen juist waren, het opspringen van de korrels was terug te zien in de verstoring. Daarnaast is er gekeken wat het effect was wanneer er ook aan de zijwanden een isolatielaag werd toegevoegd, dit bleek geen effect te hebben. Een zacht materiaal wat niet samenhangend is blijkt de beste oplossing te zijn om de impact van de vallende korrels te absorberen.

#### 2.1.1.4 Buitenste bakken

Om de buitenste bakken te fixeren is er een opstelling gemaakt die in hoogte verstelbaar is en de buitenste bakken aan de buitenzijde ondersteund. De opstelling staat op rubberen voeten op de grond, hierdoor wordt voorkomen dat de buitenzijde van het frame zweeft en zo kan gaan trillen.

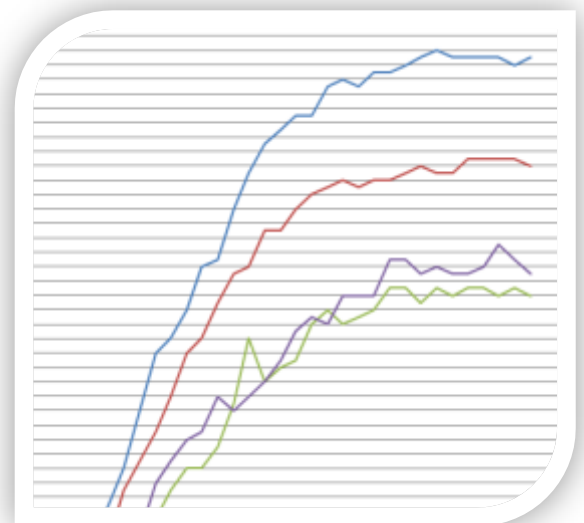
Tijdens het testen bleek het volgende: wanneer de ondersteuning de twee naast elkaar liggende secties verbind, worden trillingen aan de volgende sectie doorgegeven en verslechterd de meting. De zijde die niet ondersteund werd was egalier in de grafiek dan de zijde die wel ondersteund werd.

In de eerste test werden er twee halve secties ondersteund en een hele. Doordat de helft die niet ondersteund werd minder verstoring vertoonde is er gekeken naar de mate van aandraaien van de rubbers tegen het frame. Uit de testen bleek dat hoe strakker het rubber tegen het frame aangeklemd wordt hoe meer verstoring er in het signaal aanwezig is. De meest gunstige positie is wanneer het rubber tegen het frame aangezet wordt en licht wordt vastgeschroefd tegen de onderzijde.

Nu de mate van aandraaien bekend is, wordt er verder geëxperimenteerd met de ondersteuning. Hieruit blijkt dat wanneer één sectie aan beide zijden ondersteund wordt zonder dat deze in contact staan met een andere sectie, dit de minste verstoring veroorzaakt.

Er is een test gedaan waarbij er een sectie aan de ene kant wel en aan de andere kant niet ondersteund wordt. In afbeelding 2.2 is te zien wat het verschil is, de rode en blauwe lijn zijn van bakken 3 & 4 die ondersteund worden en de groene en paarse lijnen zijn van bakken 1 & 2 de zijde die niet ondersteund wordt. Zoals te zien is in de afbeelding is er minder verstoring in de ondersteunde sectie te zien, de lijnen zijn egalier. Het ondersteunen van een enkele sectie draagt bij aan minder verstoring.

Om te controleren of het effect niet eenmalig was, zijn er een aantal metingen gedaan waaruit bleek dat een enkel ondersteunde sectie inderdaad de beste oplossing is. Ook is er gekeken wat de baan in rust deed wanneer de buitenste bakken ondersteund waren. Hieruit bleek dat alleen in het geval van extreem aandraaien de gemeten waardes een grotere verstoring gaven, de rest bleef gelijk.



Afbeelding 2.2 Verbeterde grafiek m.b.v. ondersteuning aan de buitenzijde.

- Liftschoepen zijn schoepen met een hoek erin. Hierdoor vliegt de kunstmestkorrel verder weg.

### 2.1.1.5 Gewicht in de bakken

#### Meting bij 10, 50 en 100 gram

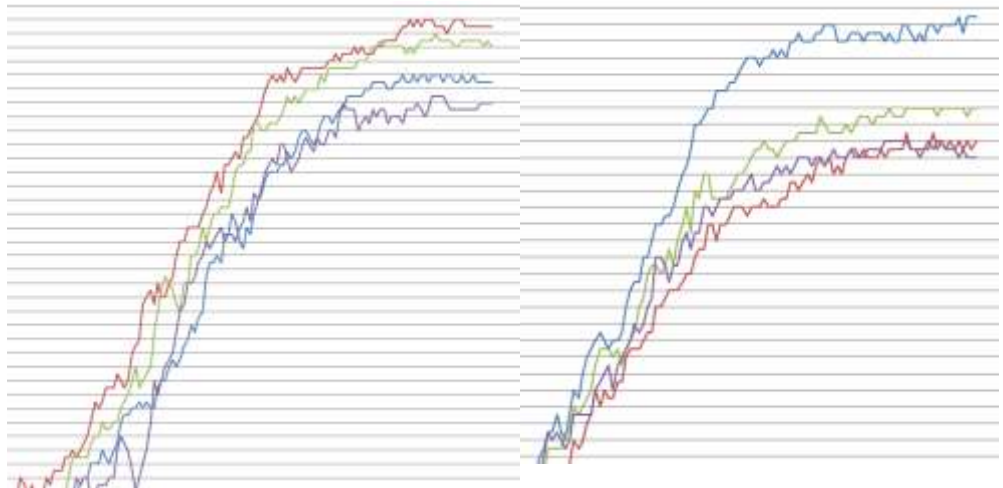
Bij de meting van 50 en 100 gram was er geen verstoring waarneembaar bij de bakken waar gewicht is geplaatst. Zodra de storing begint, is er een beeld gegeven van de grafiek.

De gewichten zijn verdeeld over de splitsing van een sectie. In de afbeeldingen die weergegeven staan is in de linker afbeelding sectie 7 te zien en in de rechter sectie 8. Deze secties liggen in het midden van de baan en geven een representatief beeld voor de andere secties. In sectie 7 liggen de gewichten in bak 3 (groene lijn) en bak 4 (paarse lijn), in sectie 8 liggen de gewichten in bak 1 (blauwe lijn) en bak 2 (rode lijn). Door de bakken met extra gewicht te vergelijken met de bakken zonder gewicht in dezelfde sectie kan er een goede conclusie getrokken worden over de verstoring die het gewicht veroorzaakt. Deze conclusie wordt gecontroleerd aan de hand van twee andere secties in de baan waar ook extra massa is toegevoegd (sectie 3 & 4 + sectie 11&12).

#### Meting bij 250 gram

Bij de meting van 250 gram is er geen verschil te zien. Vandaar dat er met zekerheid gezegd kan worden dat de meting niet verstoord wordt.

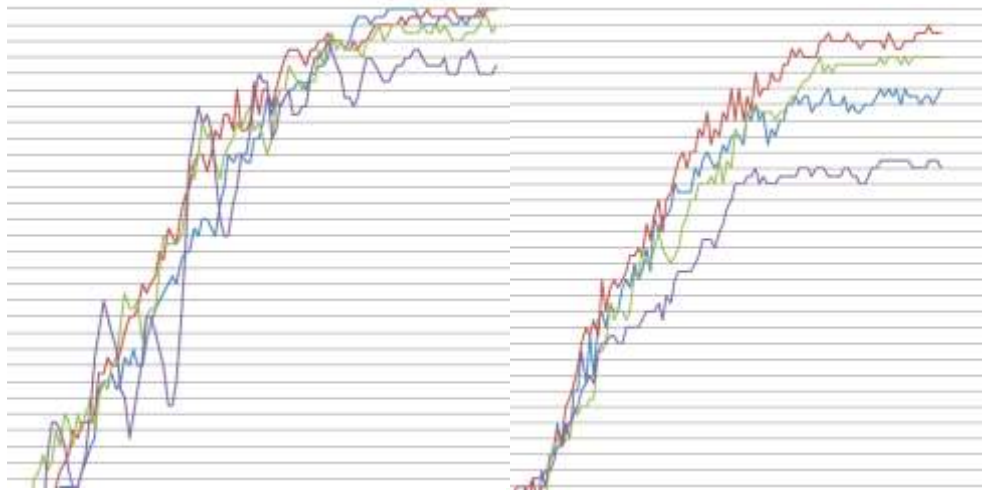
Bij de eerste controlesectie is dit precies hetzelfde.



#### Meting bij 500 gram

Bij 500 gram is een duidelijk verschil te zien in de meting. Bij een gewicht van 500 gram begint de meting te verstoren. De buitenste weegcellen verstoren het meest en geven een enorme uitslag in de meting.

Bij de eerste controlesectie wordt de buitenste cel onrustig en slaat ook uit.



### **Meting bij 750 gram**

Bij de meting van 750 gram is te zien dat de buitenste weegcellen meer beginnen uit te slaan. Daarnaast is te zien dat de middelste cellen waar een gewicht in zit ook op gang komen en de meting verstoren.

In de eerste sectie slaan de buitenste cellen meer uit. De binnenste komen licht op gang maar mindere maten als de weergegeven sectie.



### **Meting bij 1000 gram**

Bij de 1000 gram is te zien dat de buitenste weegcellen iets tot rust komen. De middelste weegcellen daarentegen gaan verder met uitslaan en verstoren het beeld. Het lijkt of de buitenste weegcellen uit hun eigen frequentie zijn gekomen, terwijl de middelste er net in zitten.

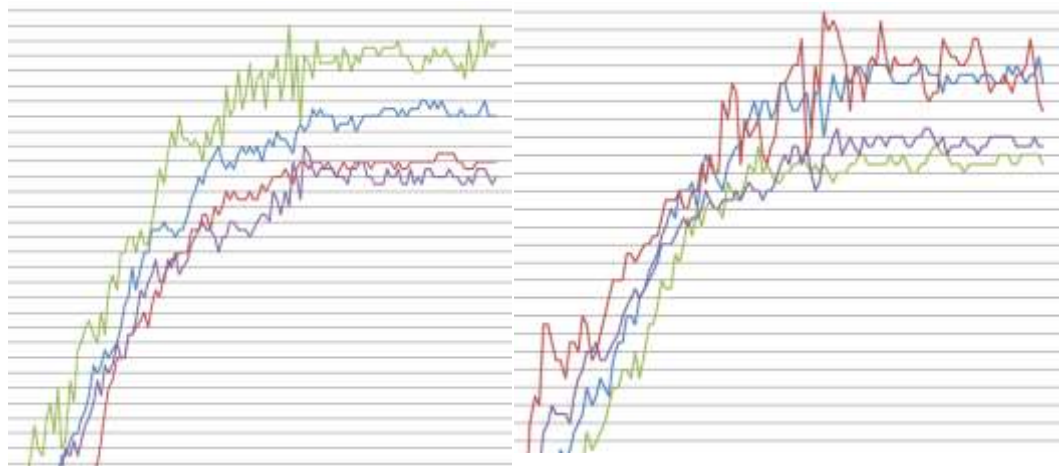
Bij de eerste sectie komt de verstoring van de binnenste weegcellen iets later op gang.



### **Meting bij 1250 gram**

Bij 1250 gram is te zien dat de buitenste weegcellen nog onrustig zijn maar niet veel meer uitslaan, de middelste weegcellen waarin een gewicht zit daarentegen slaan nog steeds enorm uit.

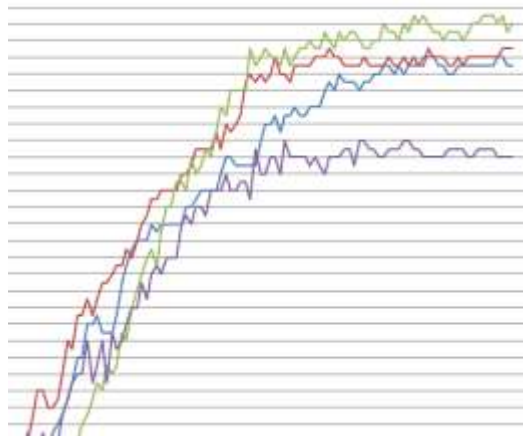
Bij de eerste sectie is de verstoring van de binnenste sectie nu ook vol aanwezig.



### *Meting bij 1500 gram*

De meting van 1500 gram wordt rustiger voor alle weegcellen, met name de binnenste.

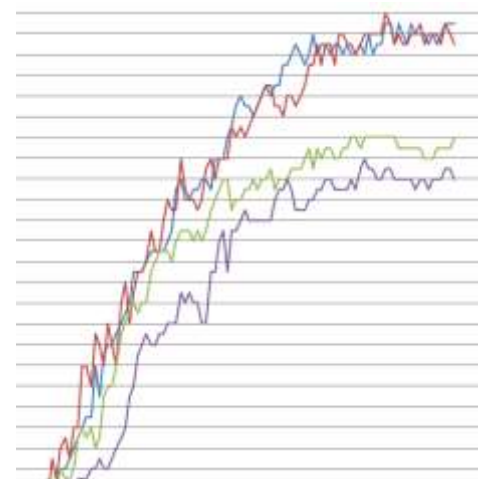
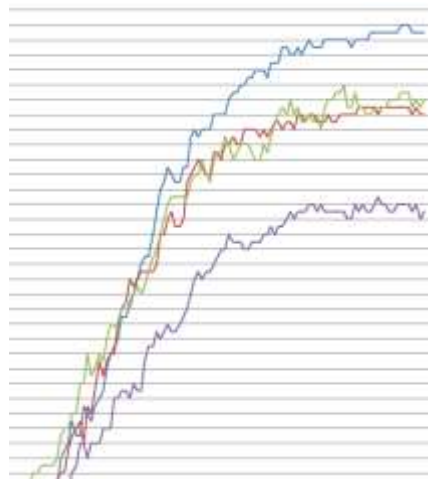
Bij de eerste sectie is er grootte verstoring in de binnenste weegcellen. Het lijkt erop alsof de eerste sectie een fase achterloopt op de tweede sectie.



### *Meting bij 1750 gram*

Bij 1750 gram lijken de weegcellen waar gewichten in zitten niet extra meer te verstoren ten opzichte van de rest. De binnenste weegcel aan de rechterzijde is nog iets wat onrustig maar al veel minder als eerst, en niet veel erger dan de rest.

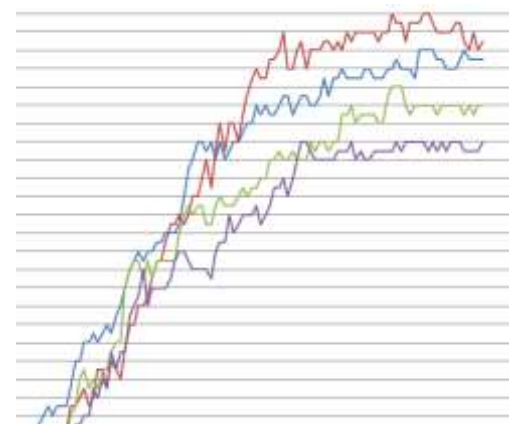
Bij de eerste sectie zijn de weegcellen rustiger met name de binnenste, wel zijn ze nog onrustiger dan de tweede sectie.



### *Meting bij 2000 gram*

Bij de laatste meting is er niet veel veranderd ten opzichte van de voorgaande meting.

De onrust bij de eerste controlesectie is nog steeds groter bij de binnenste cellen. De buitenste cellen zijn gelijk aan de gemeten sectie.



## 2.1.2 De strooieropstelling

### 2.1.2.1 Luchtverplaatsing

In de voorste secties van de baan is vaak een verstoring waarneembaar in het meetbeeld. In de voorste bakken van de baan valt weinig kunstmest door het feit dat de bakken recht onder de kunstmeststrooier staan. In de metingen is te zien dat er veel gewicht gemeten wordt welke vervolgens verdwijnt. Verwacht werd dat het draaien van de schoepen wind veroorzaakte die op de bakken drukt.

### 2.1.2.2 Windfrequentie

Doordat de schoepen ronddraaien creëren ze een bepaalde frequentie.

De frequentie die wordt veroorzaakt door de schoepen is te berekenen met de formule:

$$\text{Schoep/wind frequentie} = \text{toerental} * \text{aantal schoepen}$$

Wanneer de windfrequentie rond de eigenfrequentie van de opstelling ligt kan de wind de aanstotende factor zijn die de meting verstoort. De betreffende windfrequentie bedraagt:

$$950 \text{ rpm} * 6 \text{ schoepen} = 5700 \text{ Hz}$$

De frequentie is extreem hoog en zal dan ook in alle gevallen hoger zijn dan de eigenfrequentie van het materiaal. Zelf bij het laagste toerental (450 rpm) is de frequentie nog steeds hoger dan een eigenfrequentie ooit zal zijn, namelijk 2700 Hz.

### 2.1.2.3 Wind in de voorste bakken

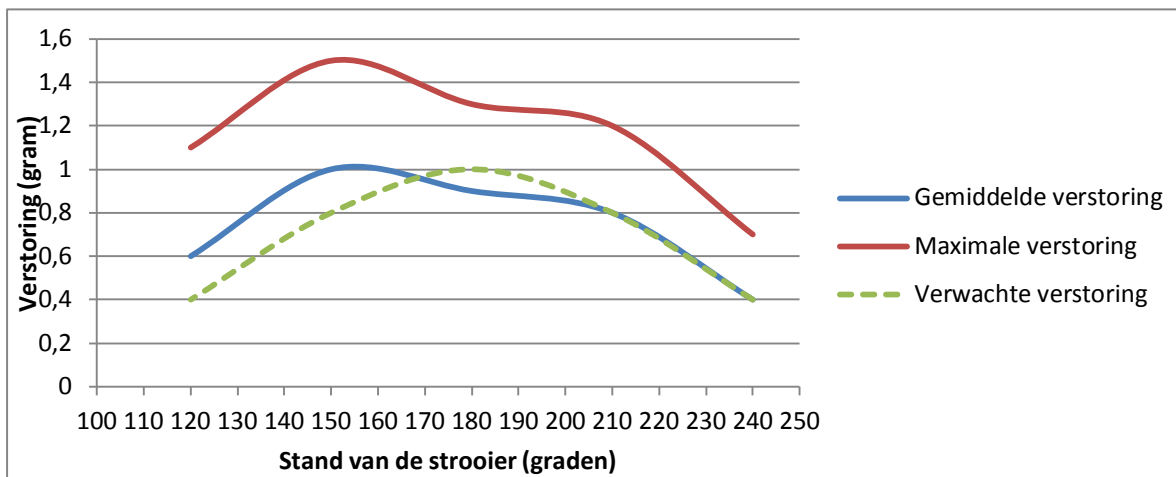
Door de machine te laten draaien zonder kunstmest uit de strooier te laten komen is het effect van de wind die de schoepen creëren gemeten. Zoals verwacht gaf de wind in de eerste secties een duidelijke verstoring. Uit de metingen waarbij 1 schotel draait (zoals in de normale testsituatie) komt zelfs een afwijking van 0,5 tot 1 gram naar voren bij de eerste drie secties. De secties die volgen hebben duidelijk last van de verstoring in de eerste drie secties, pas in sectie zes is de meting weer geheel normaal. De test waarbij twee schotels draaiden gaf geen hogere verstoring in grammen, wel kwam de verstoring vaker voor (er waren in plaats van één piek, twee pieken in het meetresultaat te zien).

Om de meting te verifiëren is de strooier in verschillende standen boven de baan gezet. De begin en eindpositie zijn gemeten om te zien wat de “normale” verstoring is. Daarna is er gekeken wat de storing is in het gebied wanneer de strooier over de baan gaat. Dit is gedaan in stappen van 30 graden (zie tabel 2.1).

Tabel 2.1 Stand van de strooier vs. verstoring (max. en gem.)

| Stand                                        | Verstoring                      |
|----------------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Beginpositie ( 295 graden)</b>            | Gemiddeld: 0.2    Maximaal: 0.4 |
| <b>Tussenpositie (240 graden)</b>            | Gemiddeld: 0.4    Maximaal: 0.7 |
| <b>Vlak voor de middenstand (210 graden)</b> | Gemiddeld: 0.8    Maximaal: 1.2 |
| <b>Middenstand (180 graden)</b>              | Gemiddeld: 0.9    Maximaal: 1.3 |
| <b>Vlak na de middenstand (150 graden)</b>   | Gemiddeld: 1.0    Maximaal: 1.4 |
| <b>Tussenpositie (120 graden)</b>            | Gemiddeld: 0.6    Maximaal: 1.1 |
| <b>Eindpositie (45 graden)</b>               | Gemiddeld: 0.4    Maximaal: 0.6 |

Wanneer deze gegevens met elkaar worden verwerkt komt daar de volgende grafiek eruit:

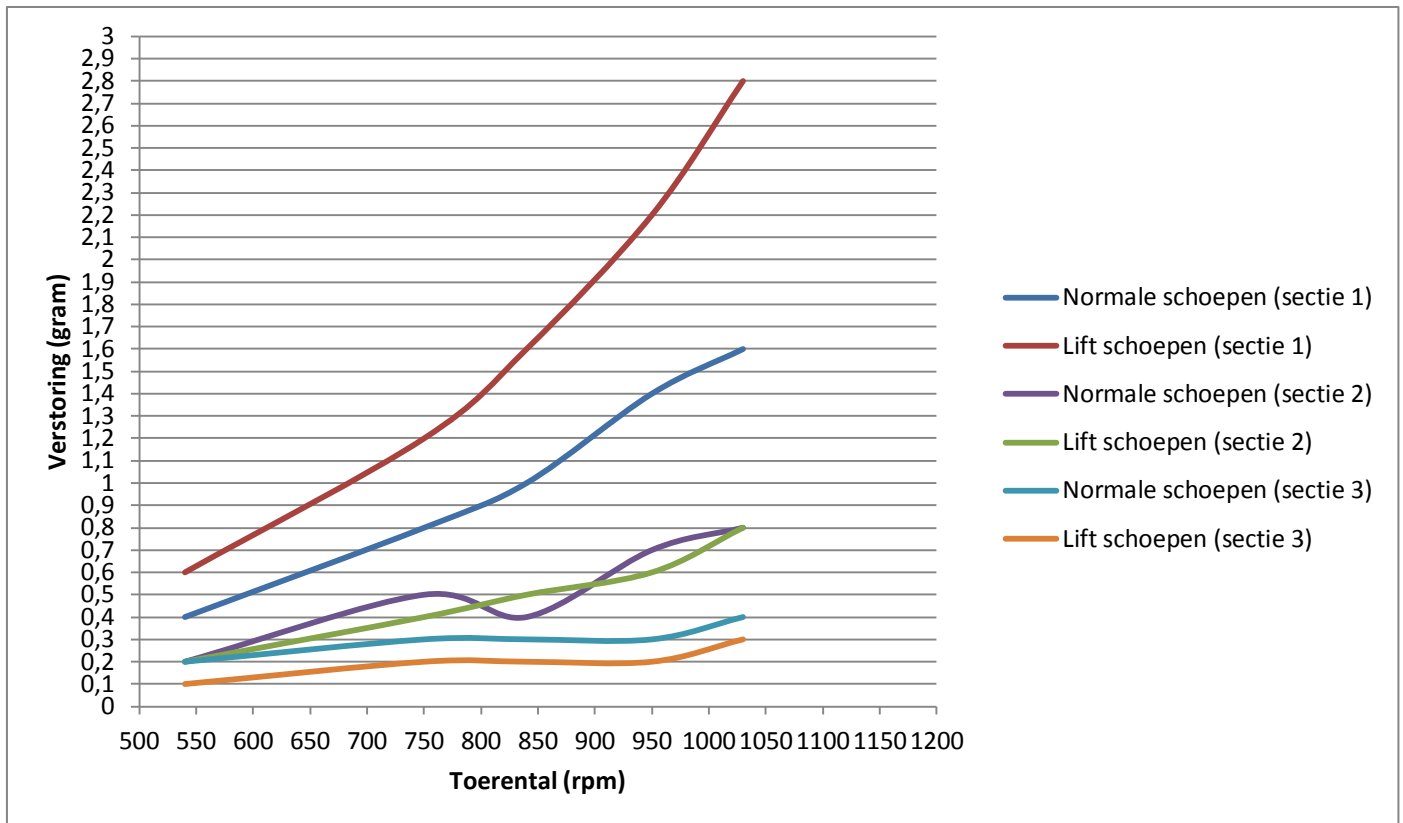


Grafiek 2.1 Verstoring vs. stand van de strooier boven de baan

In grafiek 2.1 is te zien dat de gemiddelde verstoring niet gelijk loopt met de verwachte lijn. Dit komt door het feit dat de rechter strooischijf (als men de kunstmeststrooier vanuit de trekker bekijkt) later langs het midden van de baan komt aangezien deze niet in het midden van de strooier hangt. Wanneer de strooischijf recht boven de baan hangt, zorgt deze voor de maximale verstoring. Wanneer de maximale verstoring is geweest en de schijf aan de andere zijde van de baan is loopt de gemiddelde verstoring evenwijdig aan de verwachte lijn.

Liftschoepen zijn vergeleken met de normale schoepen, dit is gedaan in de stand waarin de meeste verstoring is gemeten en de schijf recht boven de baan staat (150 graden). Hieruit bleek dat de liftschoepen een twee keer zo grote verstoring veroorzaken dan normale schoepen. Om goed in beeld te brengen wat dit betekent voor de eerste drie secties qua verstoring zijn de gemeten gegevens opgenomen in grafiek 2.2.

Er zijn metingen gedaan waarbij om de 10 seconden het toerental werd verhoogt, hierbij zijn de standaard toerentallen aangehouden die gebruikt worden (540,750,840,950,1030 rpm). Uit de test kwamen grafieken die in stappen versprongen qua verstoringen, de gemiddelde pieken van die verstoringen zijn in tabel 2.2 gezet zodat te zien is wat het verband tussen de verschillende toerentallen en hun verstoring is in combinatie met de sectie.



Grafiek 2.2 Verstoring vs. toerental voor verschillende secties en verschillende schoepen

Zoals te zien is in de grafiek wordt de eerste sectie het meest verstoord, daarin is te zien dat liftschoepen vele malen meer verstoren dan normale schoepen. In de tweede en derde sectie liggen de verstoringen van liftschoepen ten opzichte van normale schoepen echter niet ver van elkaar af, hier kan een lineaire lijn doorheen getrokken worden. Bij de tweede sectie met normale schoepen is er een kronkel in de meting te zien, dit leek een fout in de meting te zijn. Om te controleren of de waardes klopten is er nogmaals getest, hier kwamen dezelfde waardes naar voren. Ook hier kwam in de tweede sectie met normale schoepen de kronkel opnieuw naar voren.

#### 2.1.2.4 Draaien van de schoepen

##### Meting zonder kunstmest strooien:

Tabel 2.2 Verstoring tijdens het draaien zonder kunstmest

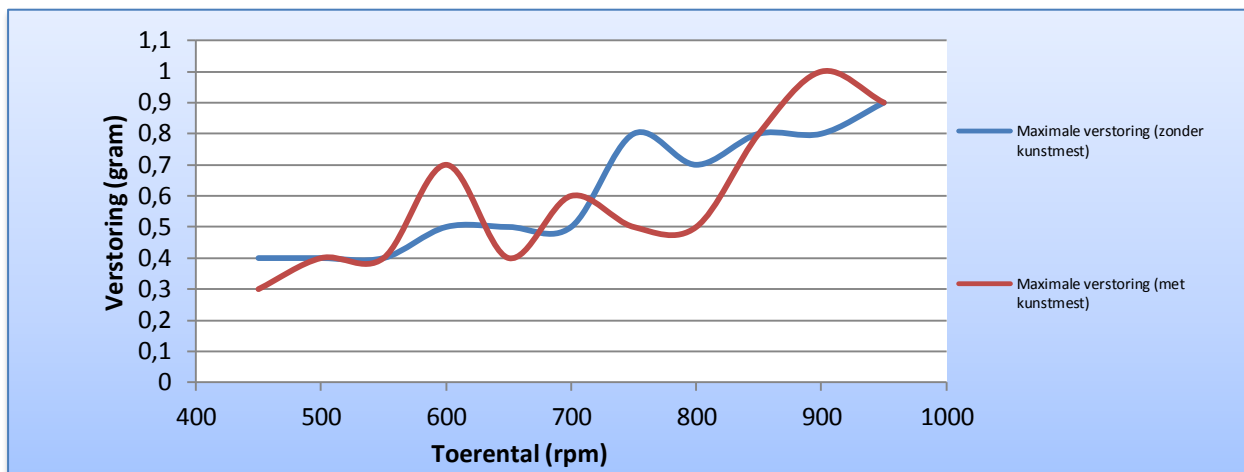
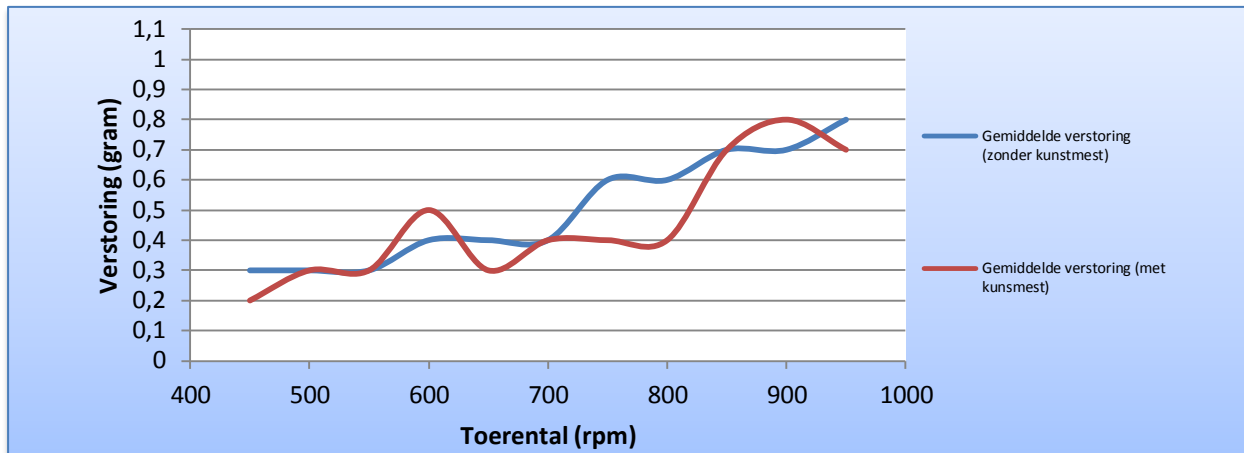
| Snelheid van de schoepen | Verstoring in het beeld                                      | Sectie & bakken                        |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 450 rpm                  | Gemiddeld: 0.3 gram<br>max: 0.4 gram (enkele uitschieter)    | Sectie 1 bak 1                         |
| 500 rpm                  | Gemiddeld: 0.3 gram<br>max: 0.4 gram (meerdere uitschieters) | Sectie 1 bak 1, sectie 2 bak 1 & 4     |
| 600 rpm                  | Gemiddeld: 0.4 gram<br>max: 0.5 gram (meerdere uitschieters) | Sectie 1 bak 1 & 2, sectie 2 bak 4     |
| 650 rpm                  | Gemiddeld: 0.4 gram<br>max: 0.5 gram (enkele uitschieters)   | Sectie 1 bak 1 & 2, sectie 2 bak 1 & 2 |
| 700 rpm                  | Gemiddeld: 0.4 gram<br>max: 0.5 gram (enkele uitschieters)   | Sectie 1 bak 2, sectie 2 bak 1 & 2     |
| 750 rpm                  | Gemiddeld: 0.6 gram<br>max: 0.8 gram (enkele uitschieters)   | Sectie 1 bak 1 & 2, sectie 2 bak 1 & 2 |
| 800 rpm                  | Gemiddeld: 0.6 gram<br>max: 0.7 gram (meerdere uitschieters) | Sectie 1 bak 1 & 2, sectie 2 bak 1     |
| 850 rpm                  | Gemiddeld: 0.7 gram<br>max: 0.8 gram (enkele uitschieters)   | Sectie 1 bak 1 & 2, sectie 2 bak 2     |
| 900 rpm                  | Gemiddeld: 0.7 gram<br>max: 0.8 gram (meerdere uitschieters) | Sectie 1 bak 1 & 2, sectie 2 bak 2     |
| 950 rpm                  | Gemiddeld: 0.8 gram<br>max: 0.9 gram (meerdere uitschieters) | Sectie 1 bak 1 & 2, sectie 2 bak 1 & 2 |

##### Meting met kunstmest strooien:

Tabel 2.3 Verstoring tijdens het draaien met kunstmest

| Snelheid van de schoepen | Verstoring in het beeld                                      | Sectie & bakken    |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------|
| 450 rpm                  | Gemiddeld: 0.2 gram<br>max: 0.3 gram (meerdere uitschieter)  | Sectie 1 bak 2 & 4 |
| 500 rpm                  | Gemiddeld: 0.3 gram<br>max: 0.4 gram (enkele uitschieters)   | Sectie 1 bak 1     |
| 600 rpm                  | Gemiddeld: 0.5 gram<br>max: 0.7 gram (meerdere uitschieters) | Sectie 1 bak 1     |
| 650 rpm                  | Gemiddeld: 0.3 gram<br>max: 0.4 gram (enkele uitschieters)   | Sectie 1 bak 2     |
| 700 rpm                  | Gemiddeld: 0.4 gram<br>max: 0.6 gram (enkele uitschieters)   | Sectie 1 bak 1 & 4 |
| 750 rpm                  | Gemiddeld: 0.4 gram<br>max: 0.5 gram (enkele uitschieters)   | Sectie 1 bak 1     |
| 800 rpm                  | Gemiddeld: 0.4 gram<br>max: 0.5 gram (enkele uitschieters)   | Sectie 1 bak 1 & 2 |
| 850 rpm                  | Gemiddeld: 0.7 gram<br>max: 0.8 gram (enkele uitschieters)   | Sectie 1 bak 1     |
| 900 rpm                  | Gemiddeld: 0.8 gram<br>max: 1.0 gram (enkele uitschieters)   | Sectie 1 bak 1     |
| 950 rpm                  | Gemiddeld: 0.7 gram<br>max: 0.9 gram (meerdere uitschieters) | Sectie 1 bak 1     |

Wanneer de maximale en gemiddelde waarden van de twee testen met elkaar vergeleken worden is te zien dat er geen verband getrokken kan worden tussen de twee metingen (zie grafieken 2.2 & 2.3). Dit komt door het feit dat de ene massa verplaatst en de ander alleen lucht, hierdoor ontstaan twee verschillende grafieken.



Grafieken 2.2 & 2.3 Gemiddelde verstoring gecombineerd & Maximale verstoring gecombineerd

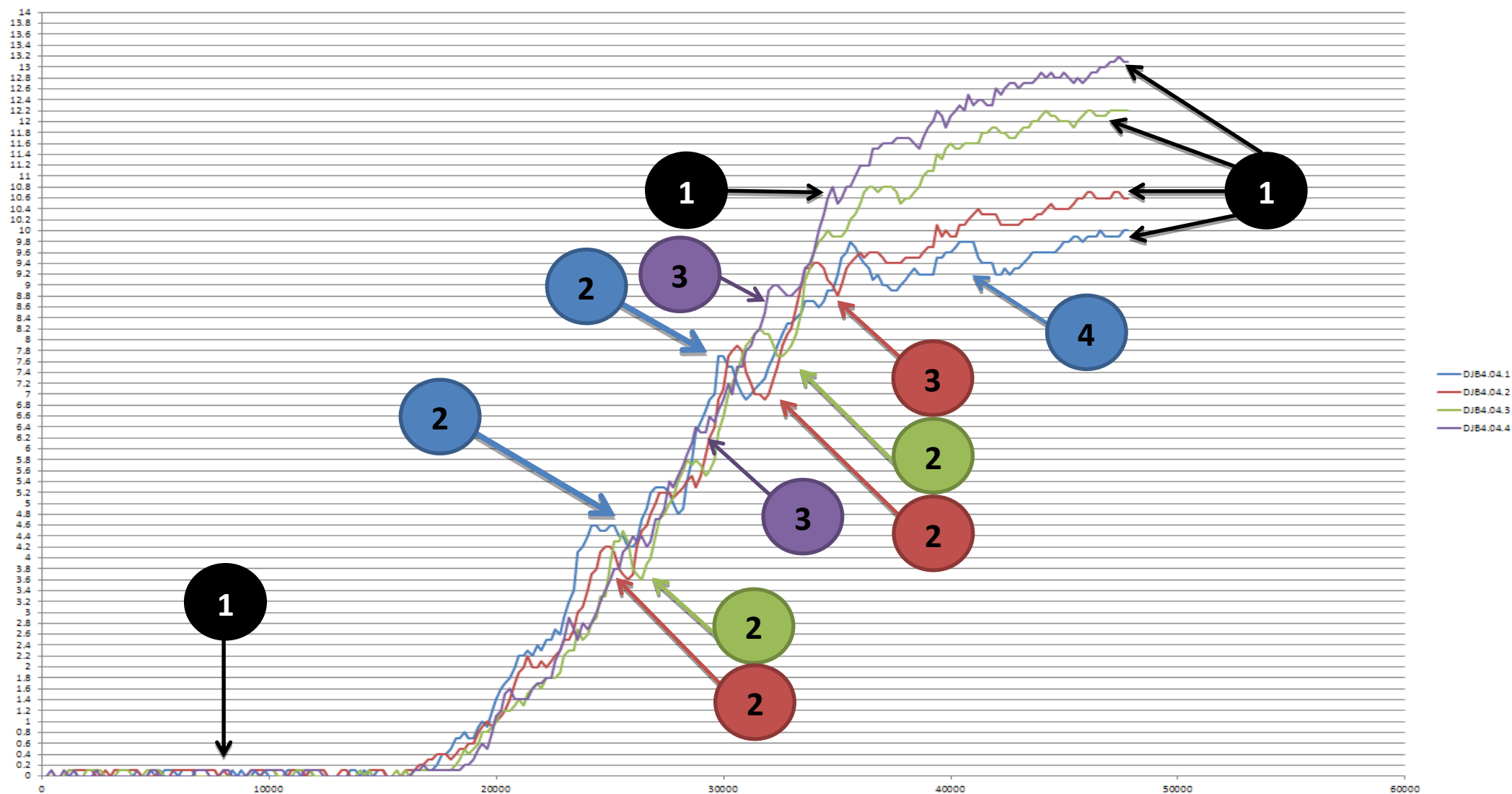
De verstoring is minimaal in de vierde sectie en neemt langzaam af wanneer verder in de baan gekeken wordt. Bij secties verderop in baan zijn afwijkingen te zien die in verschillende testen terug komen, dit zijn invloeden van buiten de baan aangezien ze ver van de strooier vandaan zijn waargenomen.

### 2.1.3 Conclusies & testresultaten (uitgebreid)

- Gewicht op de buitenste weegcellen plaatsen heeft geen effect.
- Wind van de schoepen zorgt voor een verstoring van maximaal 1.4 gram in de eerste secties
- Isolatie aanbrengen aan de onderkant van de bakken verbetert het meetresultaat.
  - Schuimrubber verslechtert het meetresultaat, korrel worden extra omhoog gelanceerd (trampoline-effect)
  - Hard rubber is niet elastisch genoeg, de korrels blijven stuiten net als de huidige situatie
  - Een laag grit helpt de korrels afremmen en voorkomt stuiten, dit verbetert de meting aanzienlijk
- Bij een gewicht van 500 tot 1000 gram gaan de buitenste weegcellen verstoren  
Bij een gewicht van 1000 tot 1500/1750 gram gaan de binnenste weegcellen verstoren.
- Draaien van de opstelling zelf heeft geen invloed op de meting
- Snelheid van de schoepen heeft een toenemend effect in de verstoring
- Liftschoepen geven een extra verstoring in het meetbeeld. Liftschoepen verstoren meer in de eerste sectie maar ebben sneller weg.
- Het schoon-trillen van de trechter heeft geen effect op de meting daarna
- De steunrubbers zijn in de huidige situatie ideaal. Enige verbetering is niet mogelijk is uit de testen gebleken.
- De scharnierpunten van het frame behoeven geen verbetering blijkt uit de test.
- Rubberen isolatielaag tussen de aanslagbout en het frame gaf geen verbetering.
- Steunpunten onder de buitenste weegcellen geven een egalier beeld in de grafiek. De sterkste verbetering kwam van het ondersteunen per sectie, aan elke kant een steun.
- Het rijden met de heftruck achter het testcentrum geeft een verstoring van 0.5 gram met uitschieters naar de 1.5 gram.
- Het rijden met de heftruck in de werkplaats geeft een maximale verstoring van 0.1 gram.
- Het aanzetten van de vijzel bij de afdraaioproef zorgt niet voor verstoring van het meetsignaal
- Het verrijden van de schotten van de afdraaioproef zorgt voor een verstoring van 1.0 gram
- De loopkat in de werkplaats geeft zonder lading geen verstoring in het meetbeeld. Met lading is nog niet getest.
- Langs de baan lopen (achter het gordijn) heeft geen invloed op de meting
- Achter in de hal de trekker starten en wegrijden geeft een verstoring van 1.2 gram.
- Het effect van deuren (naar de werkplaats) die open staan is minimaal. Wel is het aan te raden ze dicht te doen i.v.m. mogelijke trilling overdracht
- **De “normale” verstoring van 0.1 a 0.2 gram die altijd aanwezig is, komt vanuit de weegcel zelf.**

### 2.1.3.1 Analyse van de ruwe grafiek na testperiode

In deze paragraaf zullen de bekende verstoringen gereflecteerd worden op de grafiek met ruwe data (zie afbeelding 2.3). Door de grafiek nader te bestuderen met de huidige kennis wordt er gekeken of alle verstoringen in beeld zijn gebracht of dat er nog onduidelijke oorzaken zijn. De grafiek die uitgelicht wordt is een gemiddelde grafiek waarin verschillende verstoringen te zien zijn.



Afbeelding 2.3 Overzicht verstoringen in het meetbeeld

In de grafiek zijn een aantal gebieden aangewezen met daarbij een nummer. De kleur van de pijl geeft aan welke lijn er wordt bedoeld, de nummers zijn hieronder opgesomd met de daarbij behorende uitleg van de verstoring. De zwarte lijn betekent dat de betreffende verstoring voor alle vier de lijnen van toepassing is. Wanneer alle verstoringen bekend zijn zou de grafiek egaal moeten verlopen.

**1. Standaard verstoring**

De standaard verstoring is (zoals eerder vermeld) afkomstig van de onnauwkeurigheid van de load cell. Vanwege het feit dat de load cell 5 kg is en opgedeeld is in stukken geeft deze een verstoring van 0.1 a 0.2 gram. Om dit te verminderen zal er een kleinere load cell geplaatst moeten worden, deze heeft bij dezelfde opdeling een kleinere verstoring.

**2. Stuiterende korrels in de bakken**

Wanneer de korrels recht naar beneden vallen is de impact op de bodem van het bakje vele malen groter dan wanneer ze via de zijkant van de trechter vallen. Hierdoor kunnen de kunstmestkorrels opspringen waardoor er eerst een gewicht + de impact gemeten wordt, vervolgens springt de korrel op en meet de load cell een lager gewicht waarna de korrel stil komt te liggen en het pure gewicht gemeten wordt.

Deze foutieve meting leidt tot een piek en vervolgens een dal. Na het dal wordt het exacte gewicht gemeten en zal de grafiek verder lopen. Doordat het niet met regelmaat voorkomt dat een korrel rechtstreeks in de bak valt is het moeilijk te voorspellen en te herleiden of het daadwerkelijk door de stuiterende korrels komt.

**3. Eigenfrequentie / gewicht in de bakken**

Het is bekend dat bij een bepaald gewicht in de bakken de meting ernstig gaat verstoren. Ook in een "normale" meting is er soms een puntig dal te zien. Dit kan komen doordat de vallende korrels waarschijnlijk een trilling/frequentie veroorzaken die in de buurt komt van de eigenfrequentie. Dit is echter lastig te onderscheiden van de stuiterende korrels, punt 2 & 3 vallen dan ook vaak samen.

**4. Ondersteuning buitenste weegcellen**

De buitenste weegcellen hebben een andere ophanging dan de binnenste en zoals uit de test week is gebleken zorgen deze eerder voor een verstoring dan de binnenste. Vaak is bij een meting de meeste onrust te zien bij de buitenste loadcellen. Hier is al wat aan verbeterd door een versteviging aan te brengen in de lengterichting van de plaat.

**5. Wind in de voorste secties**

De verstoring die veroorzaakt wordt door de winddruk van de schoepen is niet te zien in het voorbeeld. Dit vanwege het feit dat deze verstoring alleen voorkomt in de voorste secties van de baan en de bron van het probleem bekend is.

## 3 Detail analyse

### 3.1 Eigenfrequentie analyse

De afbeeldingen die zijn weergegeven dienen puur ter verbeelding van de situatie. Vanwege het feit dat er gesimuleerd wordt in een dempingsvrije omgeving geven de waarden van de vervorming geen correct beeld van de werkelijke situatie. Met deze analyse wordt berekend wat de eigenfrequentie is bij de verschillende trilvormen ("mode shapes"), de verplaatsing is niet reëel.

#### 3.1.1 Simulatie in Solidworks

##### 3.1.1.1 Opvangbak

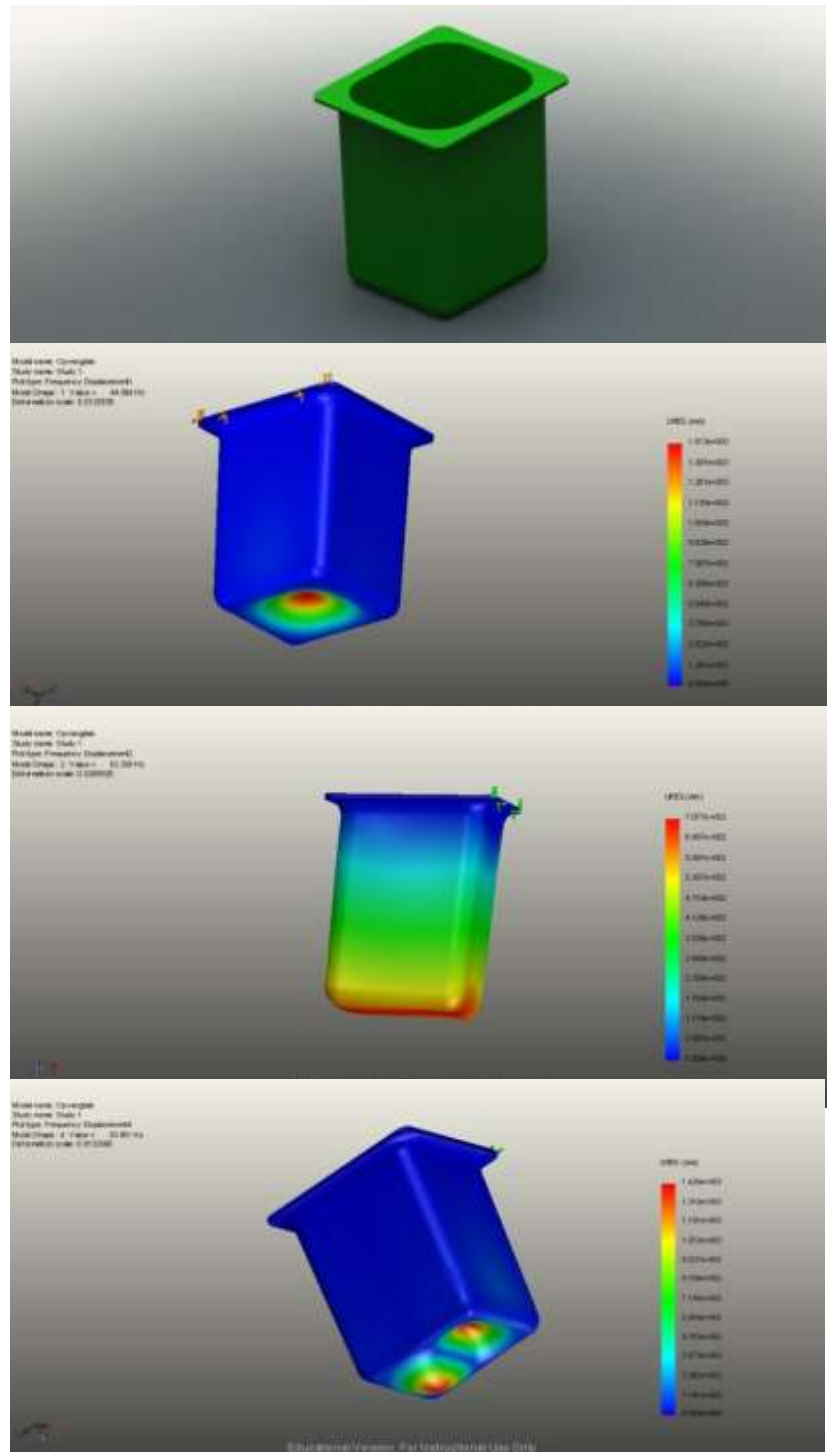
Als eerste zijn de opvangbakken bekeken. Deze zijn gemaakt van Polyethyleen en normaalgesproken doorzichtig. Om de situatie goed weer te geven is de getekende bak groen gemaakt, zodat de contouren goed te zien zijn.

Er zijn vaste punten aangebracht aan de bovenzijde van de bak en aan de lange kanten. Hier hangt de bak normaal in het gezette plaatwerk. Vervolgens is gesimuleerd bij welke frequenties de bak het meest uitslaat.

Zoals te zien is in de eerste situatie, is de onderzijde van de bak onrustig door de trillingen. Deze gaat op en neer bij een frequentie van 44.5 Hz.

In de tweede situatie is te zien dat de gehele bak van links naar rechts beweegt. Deze situatie doet zich ook voor als de gehele bak naar voren en achter beweegt, de bovenkant zit vastgeklemd. Deze situatie wordt veroorzaakt bij 62.3 Hz (link en rechts) en 66.5 Hz (voor naar achter)

De laatste situatie is een opgaande beweging van de ene helft van de onderzijde in combinatie met een neergaande beweging van de andere helft. Dit gebeurt zowel in lengte als in dwarsrichting. In de lengterichting zoals hier rechts weergegeven is de frequentie 83 Hz en in de dwarsrichting 93 Hz.



### 3.1.1.2 Bakhouder

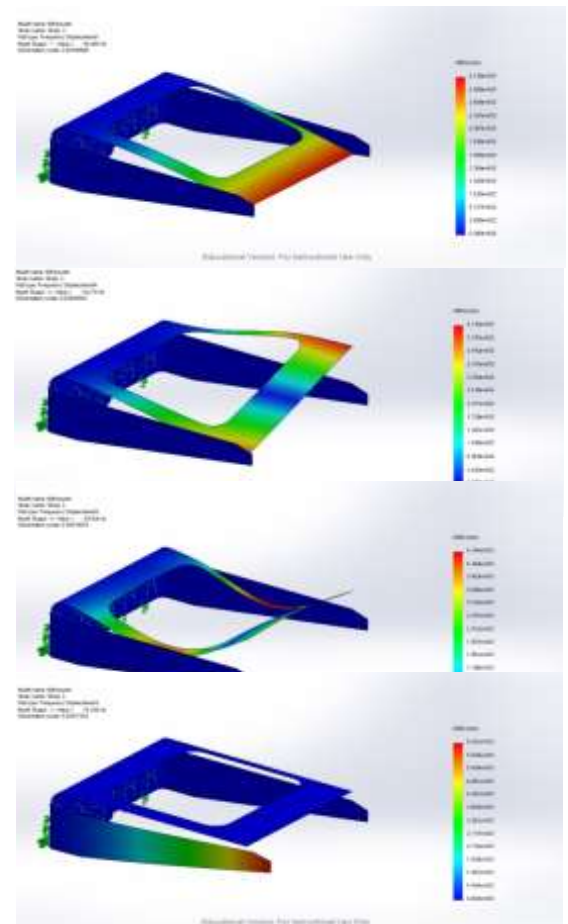
De bakhouder is het onderdeel dat de sensor/load cell verbindt met het te meten onderdeel, en is vervaardigd uit plaatstaal (AISI 1305). Niet alleen zorgt de bakhouder voor een verbinding tussen de componenten, ook zorgt het ervoor dat de opvangbak stevig geklemd wordt en zo niet verplaatst tijdens de meting. Aangezien alleen de houder gesimuleerd is, zullen er situaties optreden die normaal niet voorkomen vanwege het feit dat de opvangbak deze beweging belemmert.

In de eerste situatie beweegt de bovenste plaat (die normaal gesproken strak op de opvangbak drukt) naar boven en beneden met een zwiepende beweging. Dit gebeurt bij een frequentie van 38.5 Hz.

Wanneer er een frequentie van 132.75 Hz op de bakhouder werkt zal de bovenste plaat om zijn middenas heen en weer bewegen. Normaal gesproken wordt deze beweging begrensd doordat er een bak tussen de delen geplaatst is.

Er ontstaat een golvende beweging in het midden van de bovenste plaat wanneer deze aan het uiteinde over de gehele breedte ondersteund wordt. Dit gebeurt bij een frequentie van 378.64 Hz en zal in de praktijk zelden voorkomen vanwege het feit dat de opvangbak deze beweging afremt.

Het naar links en rechts bewegen van de buitenste platen gebeurt bij een gelijke frequentie. Zowel de linker als rechter plaat slaan bij een frequentie van 74.165 Hz maximaal uit. In de praktijk zal dit voor kunnen komen, de naar binnen gaande beweging wordt echter wel afgeremd door de opvangbak die dan is geplaatst.



Aangezien in werkelijkheid de meeste trilvormen worden tegengegaan door de opvangbak is ook de situatie met de opvangbak erin gesimuleerd. Hieronder zijn de drie meest voorkomende situaties weergegeven. In de totale constructie zal uitgebreid op elke trilvorm worden ingegaan.

Van links naar rechts de frequenties: 92.1 Hz, 190.48 Hz & 216.8 Hz

Afbeelding 3.3 Trilvormen opvangbak + bakhouder

### 3.1.1.3 Load cell

Nadat de frequentie van de opvangbakken en de bakhouders bekend zijn, kan er gekeken worden wat de frequentie is van de load cell. Deze hoort in de lengterichting door te buigen, hierdoor meet hij de vervorming die hij uiteindelijk omzet in een elektrisch signaal.

De doorbuiging in de lengterichting gebeurt bij een frequentie van 351.3 Hz. Doordat de loadcellen hiervoor gemaakt zijn zal hierdoor de verstoring niet optreden. De rekstrookjes zijn immers niet getekend en meegenomen in de simulatie.

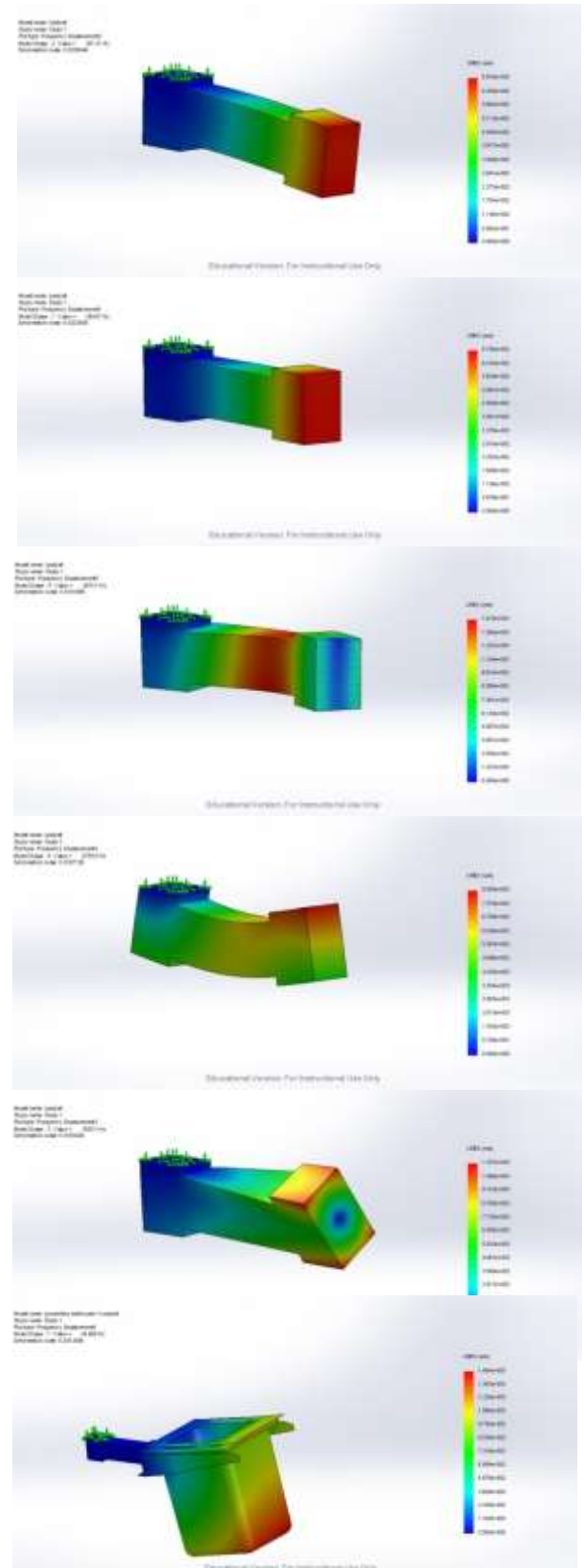
In de tweede trilvorm is te zien dat de load cell naar links en naar rechts beweegt. Dit bereikt zijn extreemste vorm bij een frequentie van 294.7 Hz, hierbij beweegt de gehele load cell vanaf het vaste punt.

Wanneer de load cell aan het uiteinden in positie blijft en het middenstuk van de load cell naar links en rechts beweegt wordt een andere trilvorm gecreëerd. Deze trilvorm doet zich voor bij een frequentie van 3675.7Hz, een stuk hoger dan de voorgaande trilvorm die naar links en naar rechts bewoog.

Wanneer de load cell belast wordt met een frequentie van 2755.5 Hz zal deze in de lengte richting bol en krom trekken. Dit zal in werkelijkheid nooit voorkomen vanwege het feit dat er in de constructie een plaat is bevestigd boven de load cell waardoor deze minimaal bol kan trekken.

Als laatste tordeert de gehele load cell. Dit zal in werkelijkheid nooit voorkomen vanwege het feit dat de constructie dit niet toelaat. Deze trilvorm vindt plaats bij een frequentie van 1655.1 Hz.

Om te controleren of dit in werkelijkheid ook gebeurd is er een samenstelling gemaakt van de drie componenten, hieruit blijkt dat de load cell ten opzichte van de andere componenten het minst last heeft van de frequenties. Bij de analyse van de totale constructie wordt hier dieper op ingegaan.



Afbeelding 3.4 Trilvormen load cell

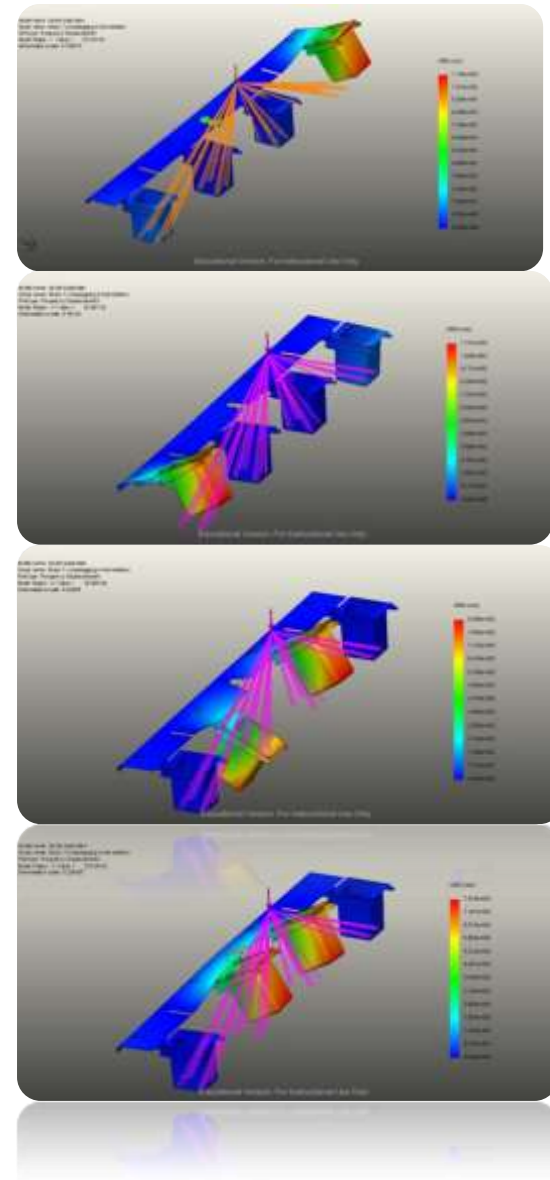
### 3.1.1.4 Totale constructie

Uiteindelijk is er gekeken naar de totale constructie. Hierbij zijn alle componenten bij elkaar gevoegd en is er een simulatie gemaakt. Uit de simulatie zijn vier verschillende trilvormen naar voren gekomen. Deze trilvormen zijn hiernaast weergegeven en zullen per stuk besproken worden. Bij deze simulatie is nog geen versteviging aangebracht!

In de eerste situatie is te zien dat de buitenste bakken op en neer bewegen. Deze beweging zorgt ervoor dat de gehele sectie hier hinder van ondervindt. Wanneer de buitenste bak op en neer gaat beweegt de buitenste bak aan de andere zijde enigszins mee. De bakken die in het midden zitten ondervinden de minste last, toch bewegen deze ook. De frequentie waarbij de buitenste bakken de meeste vervorming ondergaan is bij een frequentie van 25.2 Hz voor de ene zijde en 25.9 Hz voor de andere zijde. Deze frequentie is extreem laag en kan eenvoudig in beweging gezet worden. Het is dus noodzaak om deze frequentie omhoog te halen, mogelijke oplossingen hiervoor zullen in het volgende hoofdstuk besproken worden.

De trilvorm waarbij de binnenste bakken op en neer bewegen kent twee mogelijkheden: de binnenste bakken bewegen tegenovergesteld aan elkaar of ze bewegen synchroon. Wanneer de bakken synchroon bewegen komt er uit de simulatie een natuurlijke eigenfrequentie van 25.6 Hz, dit is bijna gelijk aan de natuurlijke eigenfrequentie van de buitenste bakken en zal dus voor een grote verstoring zorgen in de gehele sectie. De natuurlijke eigenfrequentie van het tegenovergesteld bewegen van de binnenste bakken ligt op 30.7 Hz

Deze simulaties zijn een weergave van de mogelijke gevolgen en frequenties. Ze dienen ter visualisatie en helpen bij het bedenken van een oplossing. Door oplossingen te simuleren kan er gekeken worden wat het effect is.



Afbeelding 3.5 Trilvormen totale constructie

### 3.1.1.5 *Verstoring van buitenaf*

De gemiddelde meting is uitgevoerd op een moment dat de omgeving rustig was. Vandaar dat er in deze metingen alleen verstoringen zitten die vanuit de testruimte zelf komen.

### 3.1.1.6 *Huidige situatie (zonder versterking)*

Om de concepten met elkaar te vergelijken is er eerst gekeken naar de huidige situatie. Hiervoor geldt: 25 Hz voor de buitenste bakken, 25 a 30 Hz voor de binnenste bakken. Dat is een vrij lage frequentie. Hier is goed te zien dat de binnenste bakken bij een latere frequentie verstoren, dit klopt als er naar het hogere gewicht gekeken wordt (1000 tot 1500 gram) in vergelijking met de buitenste bakken.

### 3.1.1.7 *Huidige situatie met versterking*

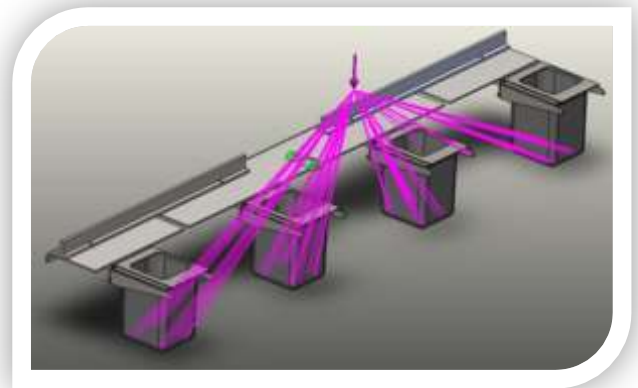
Nadat bleek dat er veel verstoring was, is in het verleden een poging gedaan om de constructie te verstevigen doormiddel van een ijzeren strip. Deze versterking bracht een frequentie van 28 & 34 Hz voor de buitenste bakken / 34 & 36 Hz voor de binnenste bakken met zich mee, een redelijke verbetering.

### 3.1.1.8 *Extra versterking (2) met roloplegging in het midden*

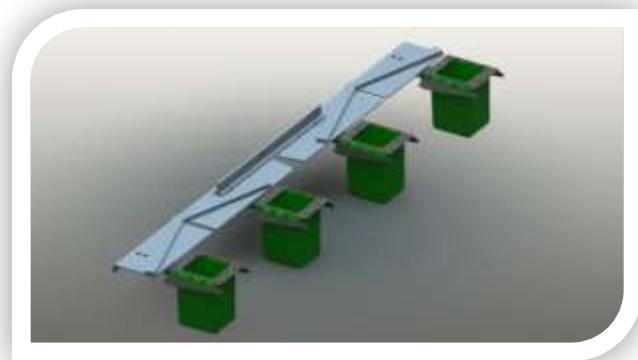
Naar aanleiding van de positieve verbetering van de versterking is er een twee optie bedacht. Deze gaf als frequenties: 30 Hz wanneer de buitenste bak bewegen & 36 Hz wanneer de buitenste bak + middelste bakken in beweging komen. Deze optie geeft niet de gewenste verbetering ten opzichte van de vorige versterking.

### 3.1.1.9 *Sectie vastgemaakt aan buitenzijde (gesimuleerd) met een roloplegging in het midden*

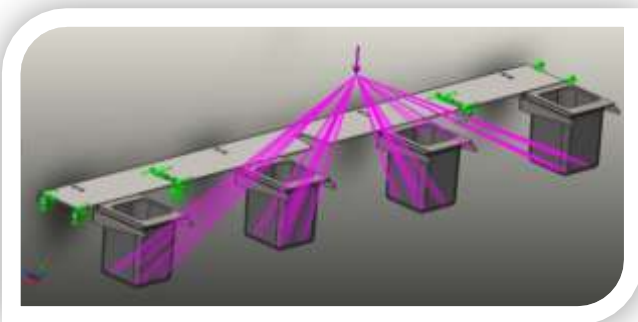
Door de sectie aan de buitenzijde vast te maken is er getracht de ophanging van de bakken zo stevig mogelijk te maken. Dit resulteerde in een frequentie van 31 & 40 Hz voor de buitenste bakken die bewegen & 25 & 30 Hz voor de binnenste bakken. Dit is voor de buitenste bakken een goede verbetering met name omdat dit getest is zonder versterking.



Afbeelding 3.6 Huidige situatie met versterking



Afbeelding 3.7 Extra versterking



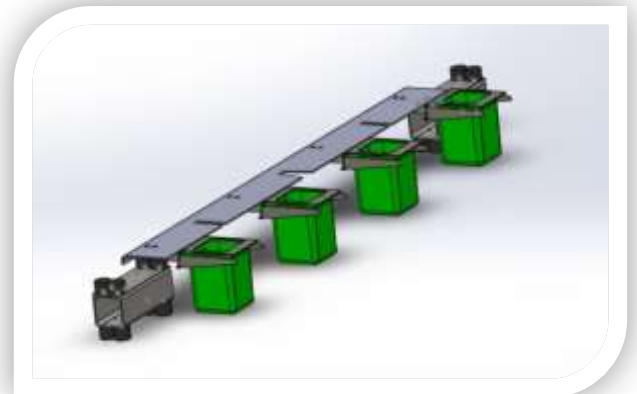
Afbeelding 3.8 Sectie vast aan buitenzijde

### **3.1.1.10 Sectie ondersteund met rubber, roloplegging in het midden.**

Naar aanleiding van de positieve resultaten van de fixatie van de buitenzijde is er in werkelijkheid een prototype gemaakt zoals in afbeelding 3.9 te zien is. Aangezien het om een prototype gaat zijn de ondersteuning in hoogte verstelbaar en zijn deze ook met verschillende drukkrachten tegen de plaat aangeschroefd. Dit model is getest in de praktijk en bracht een redelijke verbetering met zich mee. Om te controleren of dit in de simulatie ook van toepassing blijkt te zijn is het prototype hierin ook getekend en getest. Hieruit kwam een frequentie van 24 Hz voor de binnenste bakken & 29 Hz beide buitenste bakken. Dit is een slechter resultaat dan de gesimuleerde gefixeerde punten. Dit komt doordat in het simulatieprogramma de rubberkoppen van de ondersteuning ernstig vervormen bij de trillingen.



Afbeelding 3.9 Prototype ondersteuning



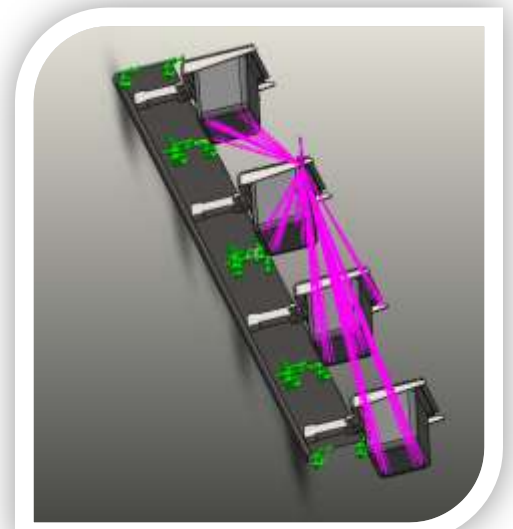
Afbeelding 3.10 Ondersteuning buitenzijde sectie

### **3.1.1.11 Roloplegging aan de buitenzijde**

Om alle situaties te simuleren is er ook gekeken naar de situatie waarin een roloplegging de buitenzijde van de plaat ondersteunt. Dit bleek echter geen effect te hebben, de frequentie was gelijk aan de niet ondersteunde plaat (de huidige situatie).

### **3.1.1.12 Vaste oplegging in het midden in plaats van roloplegging**

Om te zien wat het effect is als er in het midden een vaste oplegging komt in plaats van een roloplegging is dit gesimuleerd in SolidWorks. Dit vanwege het feit dat de werkelijke oplegging ertussenin zit, het is een einde van een actuator die met een penverbinding is vastgemaakt (roloplegging) maar door de andere verbindingen niet kan rollen/bewegen. Bij deze situatie kwam er een frequentie van 30 & 40 Hz uit voor de buitenste bakken en 33 Hz voor de binnenste bakken. Dit is geen verbetering ten opzichte van de vaste verbinding aan de buitenzijde met een roloplegging in het midden, zelfs bij vaste oplegging verdeeld over de gehele onderkant is weinig verbetering (33 & 44 Hz voor buitenste bakken / 45 Hz voor binnenste bakken).



Afbeelding 3.11 Vaste oplegging verdeeld over gehele onderkant

### 3.1.2 Invloeden op eigenfrequentie

#### 3.1.2.1 Materiaalkeuze

Naar aanleiding van de verbeterde eigenfrequentie door middel van de versteviging, is er onderzoek gedaan naar de materiaalkeuze per onderdeel.

Bij elke meting is de laagste eigenfrequentie opgeschreven, deze zal als eerste bereikt worden. Er zijn vijf verschillende soorten materialen gesimuleerd voor verschillende onderdelen. De vijf materialen worden hieronder kort toegelicht:

- Aisi 304 (roestvast staal) is een legering en bestaat uit 18% chroom en 8% nikkel. Deze rvs soort is een veelgebruikte soort.
- Polycarbonaat is een sterke kunststof die vaak wordt gebruikt voor onderdelen vanwege zijn sterkte en hardheid.
- Aluminiumlegering 6061 is een algemeen constructiemateriaal voor dynamisch belaste verbindingen.
- Gegoten koolstofstaal is een algemeen constructiestaal welke vaak wordt gebruikt.
- ABS (Acrylonitril-butadien-styreen) wordt vaak gebruikt voor starre voorwerpen zoals behuizingen, klemmen, etc. Deze kunststof is getest om het verschil weer te geven met een hoogwaardige kunststof zoals bijvoorbeeld Polycarbonaat.

Na de eerste vijf testen met de plaat is gebleken dat het voor de eigenfrequentie niet uitmaakt welk plastic of staal er gekozen wordt. Vandaar dat er doorgedaan wordt met de drie algemene categorieën: staal, aluminiumlegering en een kunststof. Naast het onderdeel dat bekeken wordt blijft de rest van de constructie zoals deze in de huidige situatie is, zo is de verandering goed zichtbaar.

| Materiaal                           | Onderdeel                    | Aantal Hertz |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------|
| <b>Aisi 304</b>                     | Plaat (huidige situatie)     | 25 Hertz     |
| <b>Polycarbonaat hoge dichtheid</b> | Plaat                        | 6 Hertz      |
| <b>Aluminiumlegering (6061)</b>     | Plaat                        | 16 Hertz     |
| <b>Gegoten koolstofstaal</b>        | Plaat                        | 23 Hertz     |
| <b>ABS</b>                          | Plaat                        | 6 Hertz      |
| <b>Aisi 304</b>                     | Bakhouder (huidige situatie) | 25 Hertz     |
| <b>Polycarbonaat hoge dichtheid</b> | Bakhouder                    | 6 Hertz      |
| <b>Aluminiumlegering (6061)</b>     | Bakhouder                    | 20 Hertz     |
| <b>Aisi 304</b>                     | Bak (huidige situatie)       | 11 Hertz     |
| <b>PE</b>                           | Bak                          | 23 Hertz     |
| <b>Aluminiumlegering (6061)</b>     | Bak                          | 18 Hertz     |
| <b>Polycarbonaat hoge dichtheid</b> | Bak                          | 22 Hertz     |

Uit de analyse blijkt dat de materiaalkeuze wel degelijk invloed heeft op de eigenfrequentie van het systeem, dit is ook logisch als gekeken wordt naar de elasticiteitsmodulus en dichtheid van de verschillende materialen. Voor de plaat komt naar voren dat deze zo stijf mogelijk moet zijn om de hoogste frequentie te krijgen, dit geldt ook voor de bakhouder. Beiden kunnen het best vervaardigd worden uit staal zoals dat nu ook het geval is. In tegenstelling tot de andere onderdelen krijgt de bak de beste frequentie bij een kunststof, zoals in de huidige situatie. De load cell is niet getest vanwege het feit dat de materiaalkeuze niet verandert in verband met de meetmethode, daarnaast wordt dit onderdeel geleverd door een externe partij.

Tabel 3.1  
Materiaal-  
keuze vs  
eigen-  
frequentie

### 3.1.2.2 Dikte onderdelen

Nu blijkt dat de materiaalkeuze en stijfheid van de constructie een belangrijke rol spelen in de eigenfrequentie, is er gekeken wat het effect is als de plaat dikker gemaakt wordt. Dit is gedaan bij een niet verstevigde plaat, om het pure effect te zien.

| Materiaaldikte          | Aantal Hertz |
|-------------------------|--------------|
| 5 mm (huidige situatie) | 22 Hz        |
| 10 mm                   | 32 Hz        |
| 15 mm                   | 34 Hz        |
| 20 mm                   | 34 Hz        |

Tabel 3.2 Materiaaldikte vs eigenfrequentie plaat

Zoals te zien is in de meting is er eerst een grote verbetering bij een verdikking van de plaat. De ideale dikte voor de frequentie ligt voor de plaat op 10 mm. De ideale materiaaldikte van de andere componenten wordt hieronder geanalyseerd, de meest ideale waarden van de vorige componenten zijn elke keer meegenomen.

Tabel 3.3 Materiaaldikte vs eigenfrequentie bakhouter

| Materiaaldikte Bakhouter | Aantal Hertz                 |
|--------------------------|------------------------------|
| 3 mm (huidige situatie)  | 32 Hz (beste uit plaatdikte) |
| 6 mm                     | 45 Hz                        |
| 12 mm                    | 51 Hz                        |
| 18 mm                    | 56 Hz                        |
| 20 mm                    | 57 Hz                        |

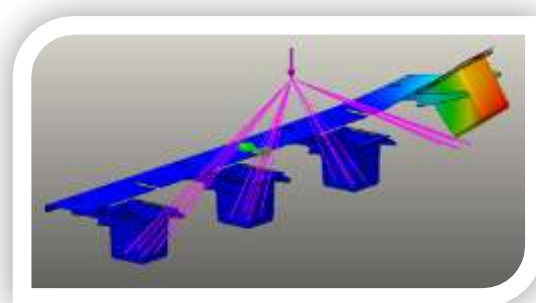
Tabel 3.4 Materiaaldikte vs eigenfrequentie opvangbak

| Materiaaldikte Opvangbak | Aantal Hertz                              |
|--------------------------|-------------------------------------------|
| 10 mm / 4 graden         | 36 Hz                                     |
| 15 mm (huidige situatie) | 45 Hz (beste uit dikte bakhouter + plaat) |
| 20 mm                    | 41 Hz                                     |
| 25 mm                    | 41 Hz                                     |

De dikte voor de bakhouter is het meest ideaal rond de 12 mm. Aangezien dat erg dik is voor plaatstaal en het gebogen dient te worden is er gekozen voor 6 mm dik plaatstaal. Hiermee is verder geanalyseerd, de 6 Hz verbetering kan eventueel later nog worden verkregen door toch te kiezen voor een dikkere plaatdikte.

Uit de test van de opvangbak blijkt dat de huidige situatie het meest gunstig is. Dat is een groot voordeel aangezien de opvangbakken worden geleverd door een externe partij, en er geen specifieke aanpassingen gedaan hoeven te worden. Wel is er gekeken naar het formaat van de opvangbak, er zijn ook kleine varianten aanwezig.

De kleine varianten zijn getekend en gesimuleerd, hieruit kwam een laagste frequentie van 45 Hz zonder versteviging. Deze frequentie is inclusief de verbetering van de materiaaldikte. Het blijkt dat de grootte van de bakken geen invloed heeft op de eigenfrequentie, aangezien de eigenfrequentie bij de grote bakken met verbeterde materiaaldikte ook 45 Hz was.



Afbeelding 3.12 Trilvorm uit de simulatie met kleine opvangbakken

### 3.1.2.3 Veerconstructie

In de tabel 3.5 zijn de trilvormen weergegeven die van toepassing zijn wanneer er een veerconstructie wordt gebruikt. Als materiaalsoort is er een standaard verenstaal gekozen die verschilt in het aantal windingen. Om het effect te zien van de windingen zijn er drie situaties getest, alle drie hadden ze dezelfde trilvormen, de eigenfrequentie verschilt. Uit de test blijkt dat de veer met de minste windingen de hoogste eigenfrequentie veroorzaakt. Dit komt voort uit de verhouding tussen de massa, de stijfheid en de frequentie van het materiaal.

Tabel 3.5 Eigenfrequentie bij een veerconstructie

| Aantal windingen    | Hertz | Soort beweging                        |
|---------------------|-------|---------------------------------------|
| <b>3 windingen</b>  | 20 Hz | Kantelende beweging (voor-achter)     |
| <b>6 windingen</b>  | 15 Hz |                                       |
| <b>10 windingen</b> | 13 Hz |                                       |
| <b>3 windingen</b>  | 23 Hz | Kantelende beweging (links-rechts)    |
| <b>6 windingen</b>  | 18 Hz |                                       |
| <b>10 windingen</b> | 14 Hz |                                       |
| <b>3 windingen</b>  | 47 Hz | Op en neer gaande beweging van de bak |
| <b>6 windingen</b>  | 34 Hz |                                       |
| <b>10 windingen</b> | 27 Hz |                                       |
| <b>3 windingen</b>  | 55 Hz | Torderende op en neer gaande beweging |
| <b>6 windingen</b>  | 42 Hz |                                       |
| <b>10 windingen</b> | 32 Hz |                                       |

Zoals te zien is in de afbeeldingen zorgen de veren met name voor de laagste eigenfrequentie van het deelsysteem. Het voordeel van veren is, dat trillingen verminderen, het grote nadeel is echter dat de bak ongecontroleerd kan bewegen. Door de ongecontroleerde beweging in combinatie met het vertragende effect van de veren kan er foutief gemeten worden. Veren zijn daarom niet de ideale oplossing.

## 3.2 Modaal analyse

In deze paragraaf zijn alle testresultaten en analyses te vinden die betrekking hebben op de modaal analyse. Bij deze paragraaf horen ook de grafiek van de betreffende modaal meting, deze zijn terug te vinden in hoofdstuk 2 van appendix B.

### 3.2.1 Plekken van de meting

Een modaal meting kan op één plek worden uitgevoerd. Gedurende het testen werd duidelijk dat het meten op de bakhouder en de plaat het beste meetresultaat gaf. In tabel 3.2 is te zien waar elke meting is verricht. De betreffende metingen waar de grafiek naar verwijst, zijn te vinden in hoofdstuk 2 van appendix B.

Tabel 3.6 Modaal meting – meetgegevens

| Meting           | Positie trilsensor                    | Positie aanslag        | Baan open/dicht | Bijzonderheid                                           |
|------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Meting 7</b>  | Buitenkant bakhouder                  | Tandwiel               | Open            | ----                                                    |
| <b>Meting 8</b>  | Buitenkant bakhouder                  | Tandwiel               | Open            | ----                                                    |
| <b>Meting 9</b>  | Binnenkant bakhouder                  | Tandwiel               | Open            | ----                                                    |
| <b>Meting 10</b> | Binnenkant bakhouder                  | Tandwiel               | Open            | ----                                                    |
| <b>Meting 11</b> | Onderkant plaat (linker buitenkant)   | Verstevinging          | Open            | ----                                                    |
| <b>Meting 12</b> | Onderzijde load cell (kant bakhouder) | Load cell, plaatzijde  | Open            | ----                                                    |
| <b>Meting 13</b> | Buitekant plaat                       | Verstevinging          | Open            | ----                                                    |
| <b>Meting 14</b> | Buitenzijde plaat                     | Verstevinging          | Dicht           | ----                                                    |
| <b>Meting 15</b> | Uiteinde load cell                    | Andere zijde load cell | Open            | ----                                                    |
| <b>Meting 16</b> | Uiteinde bakhouder                    | ----                   | Dicht           | Gewogen trilmeting geen kunstmest gestrooid             |
| <b>Meting 17</b> | Uiteinde bakhouder                    | ----                   | Dicht           | Ongewogen trilmeting tijdens het strooien van kunstmest |
| <b>Meting 18</b> | Uiteinde bakhouder                    | ----                   | Dicht           | Gewogen trilmeting tijdens het strooien van kunstmest   |

### 3.2.2 Frequentie analyse

In de frequentie analyse zijn alle gemeten waardes tegenover elkaar gezet voor de eigenfrequentie van de gehele sectie. De eigenfrequentie ligt rond de 40 a 41 Hertz, door alle waardes (39.25 Hz, 39.5 Hz, 41.75 Hz, 40.5 Hz = gemiddeld 40.25 Hz) te analyseren kan er gekeken worden of de frequenties bij elkaar genomen mogen worden op 40 Hertz of 41 Hz. Daarnaast is meteen het effect te zien als het verschil tussen de eigenfrequentie en de gemeten frequentie groter of kleiner wordt. De groene sectie geeft de waardes aan die handmatig ingevuld moeten worden.

Tabel 3.7 Screenshot van de frequentie analyse

| Aantal Hz<br>in meting | Eigenfrequentie | tijd<br>dat de toppen<br>elkaar raken | Begin<br>versterking | Doortriltijd<br>(metingen) | Doortriltijd<br>(aantal<br>toppen) | Doortriltijd<br>Duur van<br>de<br>versterking | Verstorings 1 min<br>+ 1 beginversterking | Verstorings 2 min<br>+ 1 beginversterking | Verstorings 3 min<br>+ 1 beginversterking | Verstorings 1 min<br>+ 1 beginversterking | % versterking<br>(computermeting) | % versterking<br>(Junctionbox) |
|------------------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 41                     | 39,25           | 0,555                                 | 1                    | 1                          | 1                                  | 0,02547771                                    | 109                                       | 217                                       | 325                                       | 433                                       | 45,64                             | 4,66                           |
| 41                     | 39,5            | 0,655                                 | 2                    | 1                          | 3                                  | 0,07594937                                    | 94                                        | 185                                       | 277                                       | 368                                       | 54,90                             | 6,86                           |
| 41                     | 41,75           | 1,245                                 | 8                    | 2                          | 12                                 | 0,28742515                                    | 56                                        | 104                                       | 153                                       | 201                                       | 72,57                             | 9,07                           |
| 41                     | 40,5            | 1,86                                  | 8                    | 2                          | 17                                 | 0,41975309                                    | 40                                        | 73                                        | 105                                       | 137                                       | 69,75                             | 8,72                           |
| 40,25                  | 41,75           | 2                                     | 18                   | 5                          | 20                                 | 0,47904192                                    | 48                                        | 78                                        | 108                                       | 138                                       | 92,65                             | 11,58                          |
| 40,25                  | 39,25           | 0,95                                  | 2                    | 1,5                        | 4                                  | 0,10191083                                    | 65                                        | 128                                       | 191                                       | 255                                       | 43,85                             | 5,48                           |
| 40,25                  | 39,5            | 1,24                                  | 4                    | 1,5                        | 8                                  | 0,20253165                                    | 52                                        | 101                                       | 149                                       | 198                                       | 52,83                             | 6,60                           |
| 40,25                  | 40,5            | 4                                     | 20                   | 5                          | 30                                 | 0,74074074                                    | 35                                        | 50                                        | 65                                        | 80                                        | 98,09                             | 12,26                          |
| 40,625                 | 39,25           | 0,74                                  | 3                    | 1                          | 6                                  | 0,15286624                                    | 84                                        | 165                                       | 246                                       | 327                                       | 70,87                             | 8,86                           |
| 40,625                 | 39,5            | 0,8                                   | 5                    | 1,5                        | 9                                  | 0,2278481                                     | 80                                        | 155                                       | 230                                       | 305                                       | 87,43                             | 10,93                          |
| 40,625                 | 41,75           | 0,8                                   | 5                    | 1,5                        | 10                                 | 0,23952096                                    | 80                                        | 155                                       | 230                                       | 305                                       | 90,54                             | 11,32                          |
| 40,625                 | 40,5            | 6,5                                   | 32                   | 8                          | 40                                 | 0,98765432                                    | 41                                        | 50                                        | 60                                        | 69                                        | 149,48                            | 18,69                          |
| 44,125                 | 39,25           | 0,42                                  | 1                    | 1                          | 2                                  | 0,05095541                                    | 144                                       | 287                                       | 430                                       | 572                                       | 72,39                             | 9,05                           |
| 44,125                 | 39,5            | 0,45                                  | 1                    | 1                          | 2                                  | 0,05063291                                    | 134                                       | 268                                       | 401                                       | 534                                       | 67,45                             | 8,43                           |
| 44,125                 | 40,5            | 0,55                                  | 2                    | 1                          | 4                                  | 0,09876543                                    | 111                                       | 220                                       | 329                                       | 438                                       | 73,60                             | 9,20                           |
| 44,125                 | 41,75           | 0,42                                  | 3                    | 1                          | 4                                  | 0,09580838                                    | 146                                       | 289                                       | 432                                       | 574                                       | 95,20                             | 11,90                          |

De waardes zijn als volgt berekend:

- **Aantal Hertz in de meting**

Waardes die gemeten zijn tijdens frequentiemeting met kunstmest strooien.

- **Eigenfrequentie**

Waardes die zijn gemeten tijdens eigenfrequentiemeting

- **Tijd dat de toppen elkaar raken (komt voort uit de Sinus generator)**

De periode in seconden waarin de frequenties elkaar bereiken. In deze periode komen de toppen van de grafieken bij elkaar waardoor ze verstoring veroorzaken, hoe groter de periode hoe minder verstoring. Deze waardes zijn uit de sinusgrafieken gehaald.

- **Beginverstoring (komt voort uit de Sinus generator)**

Aan het begin van de grafieken lopen de lijnen altijd gelijk op. Deze beginverstoring komt in werkelijkheid alleen voor wanneer beiden frequenties exact op hetzelfde moment starten. Om van het minst gunstige scenario uit te gaan, zijn deze beginverstoringen erbij opgeteld. Hoe dichterbij de frequenties bij elkaar liggen, hoe langer de grafieken in het begin elkaar raken.

- **Doortriltijd (komt voort uit de Sinus generator)**

Wanneer de grafieken na het begin weer bij elkaar komen na een bepaalde periode liggen de toppen exact op elkaar. Net voor dat punt en erna liggen de toppen vlak naast elkaar wat ook voor verstoring kan zorgen. Deze tijd wordt gemeten in doortriltijd-meting en doortriltijd-toppen. De doortriltijd-meting betekent hoeveel metingen van 200 milliseconden de doortrilling/verstoring van het samenkomen doorwerkt, en de doortriltijd-toppen na hoeveel toppen (die dicht bij elkaar liggen) de verstoring over is. Met het gegeven van de toppen wordt gerekend, de doortriltijd-meting is puur ter indicatie.

- **Duur van de verstoring**

De duur van de verstoring wordt berekend door een seconde te delen door de eigenfrequentie (trillingen per seconden), hierdoor wordt de periode in seconden verkregen (periode = tijd die nodig is voor 1 trilling). Door vervolgens deze tijd te vermenigvuldigen met het aantal periodes dat de verstoring werkt, wordt de totale tijd waarin verstoord wordt berekend. In formulevorm ziet dat er volgt uit:

$$\text{Duur verstoring} = \frac{1}{\text{Eigenfrequentie}} * \text{doortriltijd (toppen)}$$

De duur van de verstoring wordt zwaar meegewogen in de berekening aangezien dit de meeste fouten in de meting veroorzaakt (zie ook % verstoring).

- **Verstoring per minuut**

De verstoring wordt per minuut berekend aangezien een test geen vaste tijd heeft. De meeste testen duren 2 a 3 minuten. Te zien is in de meting dat de verstoringen lineair oplopen. Voor de berekening is de 1<sup>e</sup> minuut als voorbeeld genomen:

$$\text{Verstoring 1e min} = ((60000/(\text{Tijd dat de toppen raken} * 1000) + \text{Beginverstoring}))$$

- **% verstoring (computermeting vs. junctionbox)**

Wanneer de verstoringen geheel bekend zijn, kan er berekend worden hoeveel procent er daadwerkelijke verstoord wordt. Dit is een schatting aangezien sommige verstoringen net in twee metingen kunnen vallen of juist net niet. De werkelijke situatie is zo nauwkeurig mogelijk berekend door de volgende formule:

$$\% \text{ Verstoring (computermeting)} = ((\text{Verstoring 1e min} + (\text{Verstoring 1e min} * (10 * \text{Duur van de verstoring}))) / 3)$$

$$\% \text{ Verstoring (Junctionbox)} = ((\text{Verstoring 1e min} + (\text{Verstoring 1e min} * (10 * \text{Duur van de verstoring}))) / 24)$$

### 3.2.2.1 Sinus Generator

Entered values  
Calculated values

Create waveforms using VBA functions.

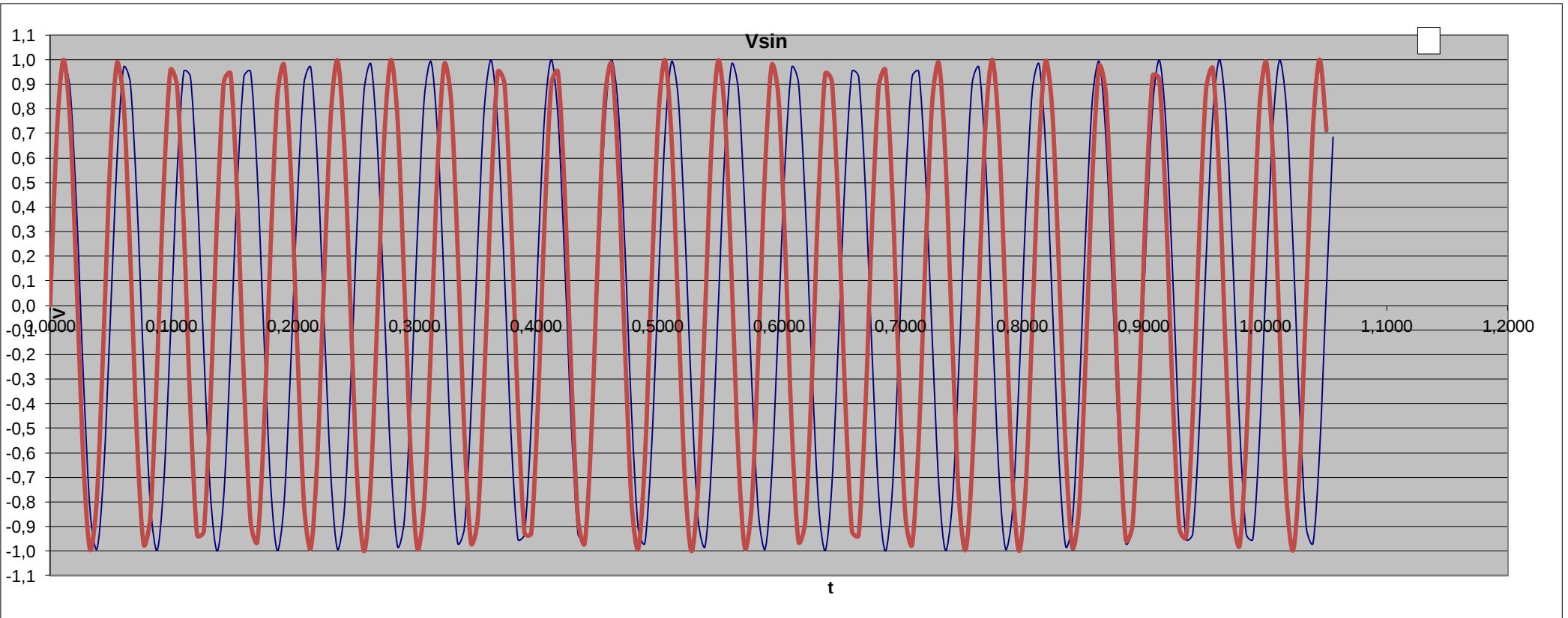
Hit ALT-F11 to see VBA code.

Sine Wave

|       |        |     |
|-------|--------|-----|
| Vp    | 1      | V   |
| VDC   | 0      | V   |
| fo    | 20     | Hz  |
| Phase | 0      | deg |
| dT    | 0,0055 | s   |

Sine Wave

|       |        |     |
|-------|--------|-----|
| Vp    | 1      | V   |
| VDC   | 0      | V   |
| fo    | 22,25  | Hz  |
| Phase | 0      | deg |
| dT    | 0,0055 | s   |

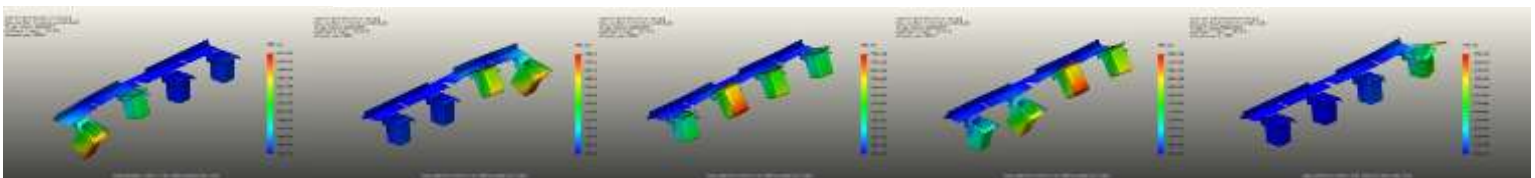


## 4 Oplossingen

### 4.1 Eigenfrequentie

Wanneer de bakhouder uit dikker plaatmateriaal (6 mm) vervaardigd wordt (zie paragraaf 3.1.2.2) blijkt dat de eigenfrequentie een stuk hoger komt te liggen. De constructie die eerst in zijn eigenfrequentie kwam bij 41 Hz, komt nu in zijn eigenfrequentie rond de 60 Hz. Wanneer in de frequentiemetingen gekeken wordt (meting 18 Appendix B hoofdstuk 1) is te zien dat de frequentie van 60 Hz niet aangestoten wordt tijdens het strooien van kunstmest, wel is er een piek/eigenfrequentie die dicht in de buurt zit bij 63,5 Hz.

Aangezien de eigenfrequentie bij 6 mm plaatdikte hierbij in de buurt komt, is er gekozen om het onderdeel te vervaardigen uit 4 mm plaatdikte. Dit geeft een eigenfrequentie van rond de 51 Hz. Deze frequentie ligt tussen beide pieken/eigenfrequenties in de grafiek en zal dus niet aangestoten worden door middel van het strooien van kunstmest, de pieken liggen op 47 Hz & 64 Hz. In afbeelding 4.1 zijn alle frequenties weergegeven met hun trilvormen, de trilvormen zijn voor alle plaatdiktes gelijk.



Afbeelding 4.1 Trilvormen verbeterde versie 6mm (van links naar rechts): 59.5 Hz, 60.2 Hz, 62.7 Hz, 62.7 Hz, 83.9 Hz

Trilvormen verbeterde versie 5mm (van links naar rechts): 57.0 Hz, 60.42 Hz, 62.64 Hz, 63.0 Hz, 82.7 Hz

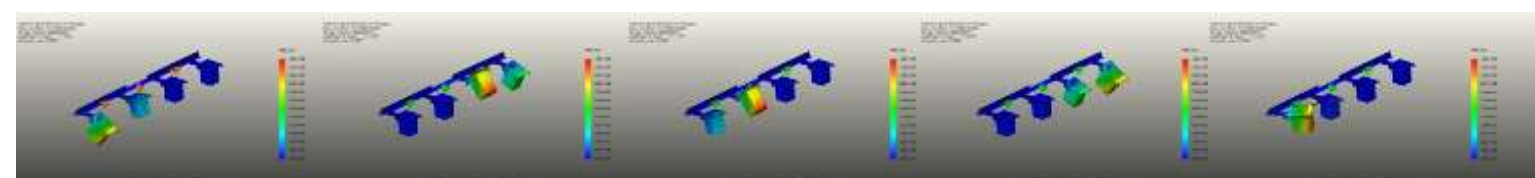
Trilvormen verbeterde versie 4mm (van links naar rechts): 49.5 Hz, 52.88 Hz, 54.09 Hz, 54.34 Hz, 74.33 Hz

Een andere optie zou zijn om de plaat in te korten, hierdoor neemt het gewicht van de constructie af terwijl de veerconstante (hangt af van de stijfheid en demping van het materiaal) van het materiaal gelijk blijft. Als er naar de formule voor de eigenfrequentie gekeken wordt, is te zien dat als getracht wordt de eigenfrequentie tweemaal zo groot te maken, de stijfheid dan minimaal vier keer zo groot moet worden. Wanneer de stijfheid vier keer zo groot wordt zal dit doorwerken op de massa van het systeem wat het geheel weer naar beneden haalt. Alle factoren hangen nauw met elkaar samen.

$$Eigenfrequentie = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

K = veerconstante  
m = massa in kg

Door de plaat in te korten maar de versteviging erop te behouden wordt alleen het “overbodige” uithangende gedeelte weggehaald wat geen invloed heeft op de stijfheid maar wel op de massa. De eigenfrequentie zou dus in theorie beter moeten worden. In praktijk (SolidWorks) blijkt dat dit niet het geval is, de eigenfrequentie voor de gehele constructie verandert nauwelijks. Dit heeft te maken met het feit dat de kleinste eigenfrequentie de bakken op en neer laat bewegen waardoor er alleen beweging in de plaat komt waar de load cell vastzit. Dit punt is echter ongewijzigd gebleven.



Afbeelding 4.2 Trilvormen verkorte plaat (van links naar rechts): 41.1 Hz, 41.4 Hz, 41.7 Hz, 41.8 Hz, 71.2 Hz

Wanneer de versteviging die is aangebracht verlengd en uit een stuk vervaardigt wordt, neemt de massa licht toe terwijl de stijfheid in meerdere mate toeneemt. Verlengen van de versteviging door het uit één stuk te maken bleek geen invloed op de eigenfrequentie van de constructie te hebben.

Daarnaast is er gekeken of verbreding (van de voet) of verdikking van de verstevigingsstrip invloed heeft op de eigenfrequentie. Dit bleek niet zo te zijn : de verstevigingsstrip in de huidige situatie is al stijf genoeg van zichzelf.



Afbeelding 4.3 Verlengde versteviging

## 4.2 Stuiteren van de korrels

Naast een energie absorberende laag is er geëxperimenteerd met smallere trechters om zo de energie uit de korrel te halen voordat deze in de meetbak valt. Hierdoor is de korrel bij aankomst in de bak rustig waardoor hij slechts eenmaal gemeten wordt.

In afbeelding 4.4 is in de linker afbeelding de huidige situatie te zien (brede opening kortere trechter) en in de rechter de vernieuwde (langere smallere trechter):



Afbeelding 4.4 Bovenaanzicht trechter links oude situatie vs. rechts nieuwe situatie (smaller en langer)



Afbeelding 4.5 Zijaanzicht vernieuwde trechter

Uit testen met de vernieuwde trechters blijkt dat de “vertraging” van de korrel geen effect heeft op de meting. Dit is getest door een extra sectie naast de baan te zetten, de nieuwe trechters staan hierdoor op gelijke hoogte van de strooier. In de grafiek is te zien dat de lijn vele malen egalier loopt en er geen pieken en dalen te zien zijn. De binnenste bakken in de extra sectie verbeterden sterk. Dit komt doordat de buitenste bakken een open zijde hebben waar kunstmestkorrels tegenaan spatten. In de praktijk zullen er secties voor en achter worden aangesloten waardoor dit probleem niet voorkomt. De meting is terug te vinden op de Cd-Rom die is te vinden in Appendix B (hoofdstuk 2). Let op: de extra sectie staat omgekeerd, bak 4 is gelijk met bak 1 van huidige sectie in de baan.

## 5 Overige documenten

### 5.1 Formuleblad trillingen

#### FORMULEBLAD TRILLINGEN

##### Vrije Ongedempte Trilling

Standaardvorm:  $\ddot{x} + \omega_n^2 \cdot x = 0$  met  $\omega_n = \sqrt{k/m}$

Standaardoplossing 1:  $x(t) = A \cdot \sin \omega_n \cdot t + B \cdot \cos \omega_n \cdot t$

Standaardoplossing 2:  $x(t) = C \cdot \sin(\omega_n \cdot t + \phi)$  met  $C = \sqrt{A^2 + B^2}$  en  $\phi = \tan^{-1}(B/A)$

Periode en Frequentie:  $\tau = 2\pi/\omega_n$  [sec] en  $f = 1/\tau$  [Hz]

Ongedempte gedwongen trilling met periodieke kracht  $F_0 \cdot \sin \omega \cdot t$  ( $F_0 = m\omega^2$  bij onbalans)

Standaardvorm:  $\ddot{x} + \omega_n^2 \cdot x = (F_0/m) \cdot \sin \omega \cdot t$  met  $\omega_n = \sqrt{k/m}$

Standaardoplossing:  $x(t) = A \cdot \sin \omega_n \cdot t + B \cdot \cos \omega_n \cdot t + \left[ (F_0/k) / (1 - (\omega/\omega_n)^2) \right] \cdot \sin \omega \cdot t$

Versterkingsfactor VF:  $VF = 1 / (1 - (\omega/\omega_n)^2)$

Bij periodieke verplaatsing  $\delta = \delta_0 \cdot \sin \omega \cdot t$  (Overall  $F_0$  vervangen door  $k \cdot \delta_0$ )

##### Viskeuze gedempte vrije trilling

Standaardvorm:  $m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = 0$

Oplossingen (ABC):  $r_{1,2} = -c/2m \pm \sqrt{(c/2m)^2 - (k/m)}$

Kritische dempingscoëfficiënt:  $c_k = 2m\omega_n$  (bovenstaande wortel gelijk aan nul)

Sterke demping ( $c > c_k$ ):  $x(t) = A \cdot e^{r_1 t} + B \cdot e^{r_2 t}$

Kritische demping ( $c = c_k$ ):  $x(t) = A \cdot e^{-\omega_n t} + B \cdot t \cdot e^{-\omega_n t}$

Zwakke demping ( $c < c_k$ ):  $x(t) = e^{(-c/2m)t} \cdot (A \cdot \cos \omega_d t + B \cdot \sin \omega_d t)$  of ook wel

Zwakke demping ( $c < c_k$ ):  $x(t) = D \cdot e^{(-c/2m)t} \cdot \sin(\omega_d t + \phi)$

Gedempte eigenhoekfrequentie:  $\omega_d = \sqrt{(k/m) - (c/2m)^2} = \omega_n \cdot \sqrt{1 - (c/c_k)^2}$

Dempingsverhouding ( $c/c_k$ ) en periode  $\tau_d = (2\pi/\omega_d)$

##### Viskeuze gedempte gedwongen trilling

Standaardvorm:  $m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = F_0 \cdot \sin \omega t$

Standaardoplossing 1:  $x_p(t) = A \cdot \sin \omega t + B \cdot \cos \omega t$  met

$A = (F_0/m) \cdot (\omega_n^2 - \omega^2) / (\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (c\omega/m)^2$  en  $B = -F_0 \cdot (c\omega/m^2) / (\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (c\omega/m)^2$

Standaardoplossing 2:  $x_p(t) = C \cdot \sin(\omega t - \phi)$  met

$C = (F_0/k) / \sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + [2(c/c_k)(\omega/\omega_n)]^2}$  en  $\phi = \tan^{-1} [2(c/c_k)(\omega/\omega_n) / (1 - (\omega/\omega_n)^2)]$

Versterkingsfactor VF:  $VF = 1 / \sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + [2(c/c_k)(\omega/\omega_n)]^2}$

Overige gegevens en homogene oplossing: Zie viskeuze gedempte vrije trilling

$$\begin{aligned} ar^2 + br + c &= 0 \\ x(t) &= A \cdot e^{r_1 t} + B \cdot e^{r_2 t} \\ x(t) &= A \cdot e^{r_1 t} + B \cdot t \cdot e^{r_1 t} \\ x(t) &= e^{\alpha t} (A \cdot \sin \beta t + B \cdot \cos \beta t) \\ r &= \alpha \pm i \cdot \beta \end{aligned}$$

Homogene DV:  $a\ddot{x} + b\dot{x} + cx = 0$

$r_1$  en  $r_2$  zijn reëel

$r_1 = r_2 = r$  (reëel)

$r_1$  en  $r_2$  zijn complex



## 5.3 Datasheets

### Model LPS

Vishay Celtron



### Low-Profile Single Point



#### FEATURES

- Capacities: 0.6 to 200kg
- Small size with low profile
- Anodized aluminum
- NTEP Class III 5000S approval from 3kg to 30kg
- OIML C3 approval
- Platform size: 16"x16"/40cm x 40cm

#### OPTIONAL FEATURE

- FM approval available

#### DESCRIPTION

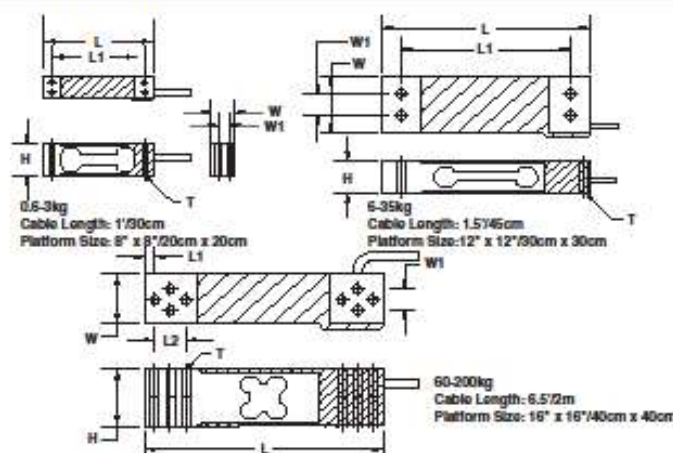
LPS is designed for electronic scales and platform scales where only one load cell can be used and low profile is required. It is the lightest model of Celtron single point load cell family. The design is most suitable for mass production operations.

LPS is constructed of anodized aluminum and is fully potted IP66 levels, providing excellent protection against moisture ingress.

#### APPLICATIONS

- Packaging machines
- Dosing / filling
- Belt scales / conveyor scales
- In-motion check weigher
- Retail scales / counting scales

#### OUTLINE DIMENSIONS



#### Wiring diagram

- + Excitation Red
- Excitation Black
- + Signal Green
- Signal White

| CAPACITY (kg) |        | L     | L1    | L2   | W    | W1   | H    | T        |
|---------------|--------|-------|-------|------|------|------|------|----------|
| 0.6/ 1/ 2/ 3  | mm     | 70.0  | 58.0  | —    | 15.0 | 7.0  | 22.0 | M3 x 0.5 |
|               | (Inch) | 2.76  | 2.28  | —    | 0.59 | 0.28 | 0.87 |          |
| 6/ 10/ 15/ 20 | mm     | 130.0 | 106.0 | —    | 30.0 | 15.0 | 22.0 | M6 x 1.0 |
|               | (Inch) | 5.12  | 4.17  | —    | 1.18 | 0.59 | 0.87 |          |
| 30/ 35        | mm     | 130.0 | 106.0 | —    | 40.0 | 15.0 | 22.0 | M6 x 1.0 |
|               | (Inch) | 5.12  | 4.17  | —    | 1.57 | 0.59 | 0.87 |          |
| 60/ 100/ 200  | mm     | 150.0 | 7.0   | 19.0 | 35.0 | 15.0 | 40.0 | M6 x 1.0 |
|               | (Inch) | 5.91  | 0.28  | 0.75 | 1.38 | 0.59 | 1.57 |          |



**Leon-Engineering**  
INDUSTRIAL WEIGHING & AUTOMATION SYSTEMS

## DBJ-Digital Junction Box

### Product Description

The digital junction box is designed to connect up to 4 analogue load cells, and to offer the performance and the advantages of a digital load cell configuration. It contains all transducer electronics to excite the strain gauge, amplify, filter and convert the analogue signal of each load cell to a digital form.

The signals of the 4 inputs are combined to produce a corrected and adjusted weight value. The box incorporates high performance A/D conversion including digital calibration with individual DIGITAL CORNER ADJUSTMENT. Communication via a bi-directional serial interface allows easy connection to PC, PLC or other peripheral devices with networking capability. Two set points are standard while an analogue output board can be optionally integrated in the unit.

Standard weighing functions are available such as Zero, Tare, Auto zero maintenance, Auto-zero on power-up, no motion detection. Its unique advantages are the electronic calibration and digital corner adjustment, which allow fast and efficient scale or silo installation, without the use of actual calibration weights and the need of trimming procedures. The digital junction box, comes in a robust stainless steel housing and represents a reliable and professional solution for a multitude of weighing applications.

### Basic Features

- Approved for 10,000 divisions
- Individual connection of up to 4 strain gauge load cells, 350 Ohm
- Single or dual interval
- Conversion rate up to 40 measurements per second, analogue and digital filtering
- Tilt input (inhibits weighing when scale tilted)
- Two set points
- Serial interface RS485 with networking capability
- Stainless steel enclosure, sealed to IP65
- Windows-based software for scale parameter setting and calibration



### Application

- Platform scales
- Silo weighing
- PC-based weighing systems
- Scale networks and weight data collection

### Operating Functions

- Basic weighing functions: Zero, tare, automatic zero tracking, auto-zero on power-up, no motion detection
- Digital scale calibration performed either via application of test weights or via the m V/V output values of the load cells
- Continuous error detection

### Options

- Analogue output (0/ 4 – 20 mA)
- Software for automatic tilt correction (for non-legal-for-trade applications)
- Remote display terminal RDT52-A/B, 6-digit, LED display with 6 key membrane keypad, as display and keyboard interface
- RS485-RS232 interface with power supply
- Mains power adapter 230VAC-9VAC

[www.leon-engineering.com](http://www.leon-engineering.com)

## Appendix B (Testresultaten)

---

### **Kverneland Group Nieuw Vennep**

---

**Bart Buzink**

## 1. Grafieken Modaal meting

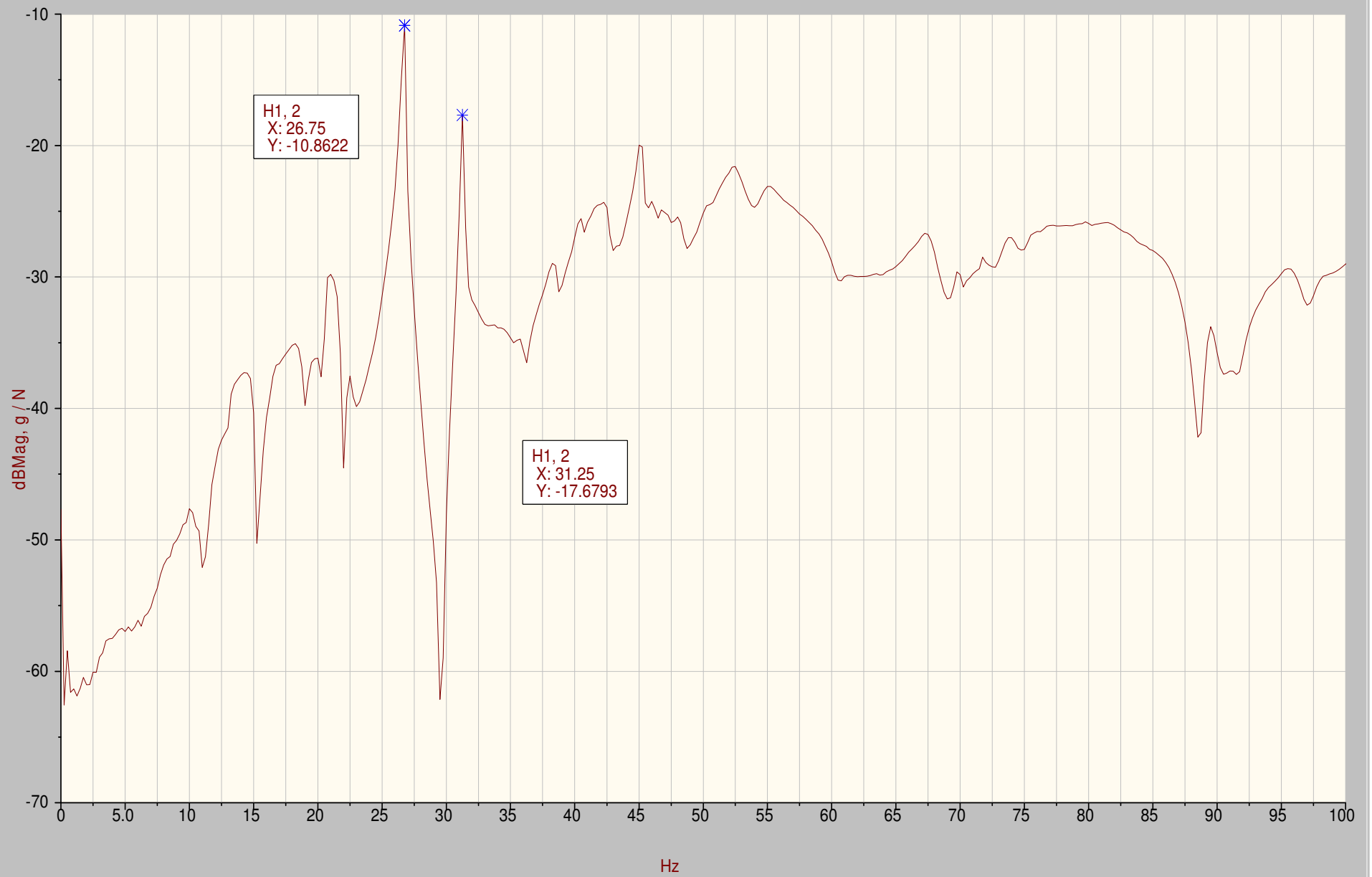
In dit hoofdstuk vindt u alle metingen/grafieken van de modaal meting. De plaats waar is gemeten en overige informatie is te vinden in paragraaf 3.2 van appendix A. Meting 7 t/m 13 + 15 zijn metingen waarbij de baan open geklapt stond. Meting 14, 16, 17 en 18 zijn metingen waarbij de baan gesloten was, hiervan zijn meting 16, 17 en 18 trillings-metingen.

Meting 16 geeft de grafiek van de frequenties die zijn gemeten tijdens het ronddraaien zonder kunstmest, meting 17 & 18 geven de grafieken van frequenties die zijn gemeten tijdens het kunstmest strooien. In beiden grafiek zijn frequenties terug te vinden die overeenkomen met eigenfrequenties van de baan. Het verschil tussen meting 17 & 18 zit hem in de manier van meten, meting 17 is een ongewogen\* meting en meting 18 een gewogen. Aangezien meting 16 een gewogen meting is kan deze alleen met meting 18 vergeleken worden. Als meting 16 met meting 17 vergeleken wordt ontstaat er een foutieve vergelijking.

*\* Gewogen / ongewogen meting = Bij het gewogen gemiddelde worden alle waardes meegenomen, degene die meerdere keren voorkomen worden meerdere keren meegeteld.  
Bij een ongewogen gemiddelde worden alleen de verschillende waardes meegenomen.*

# Meting 7

## H1, 2



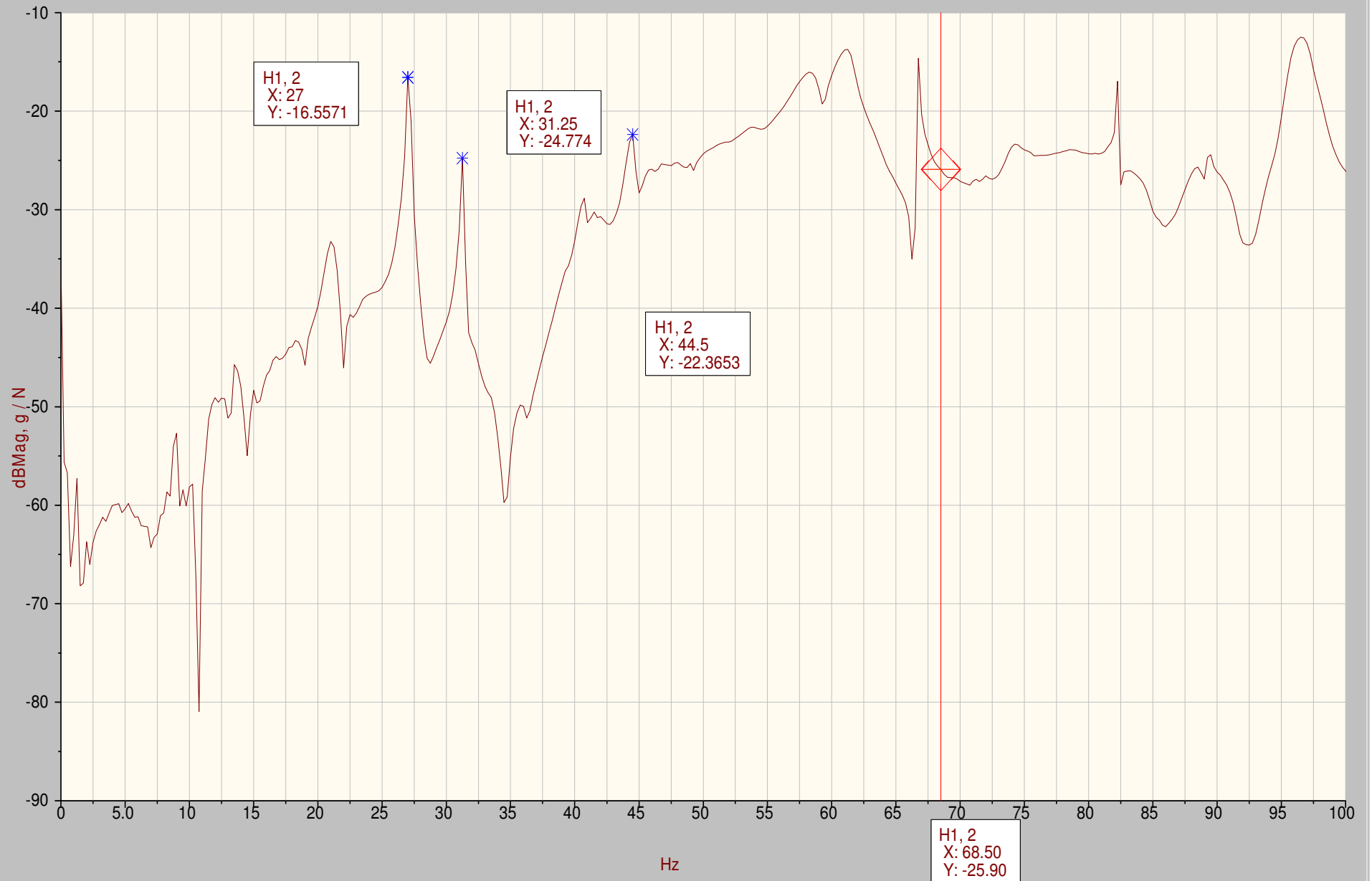
# Meting 8

## H1, 2



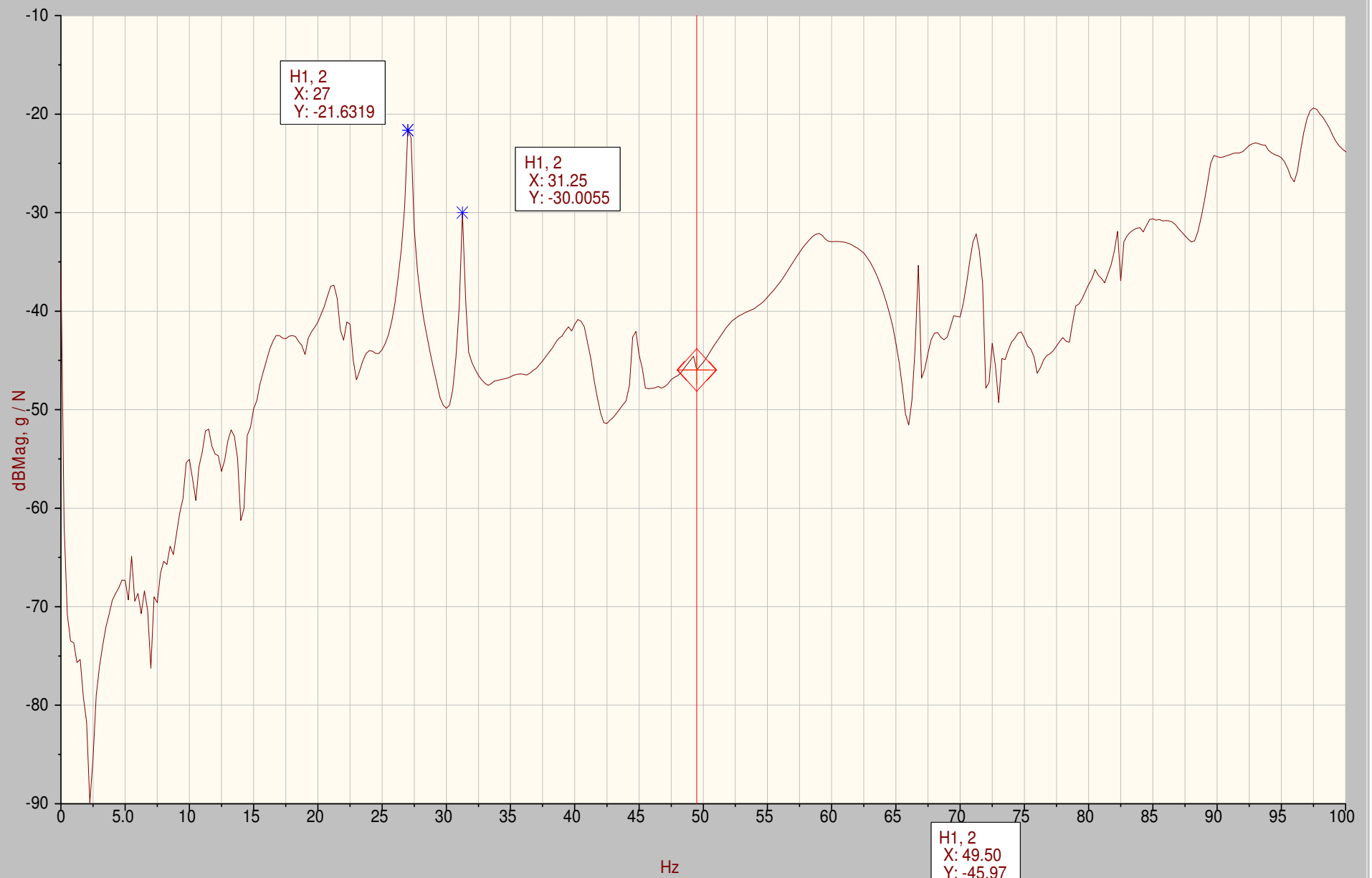
# Meting 9

## H1, 2



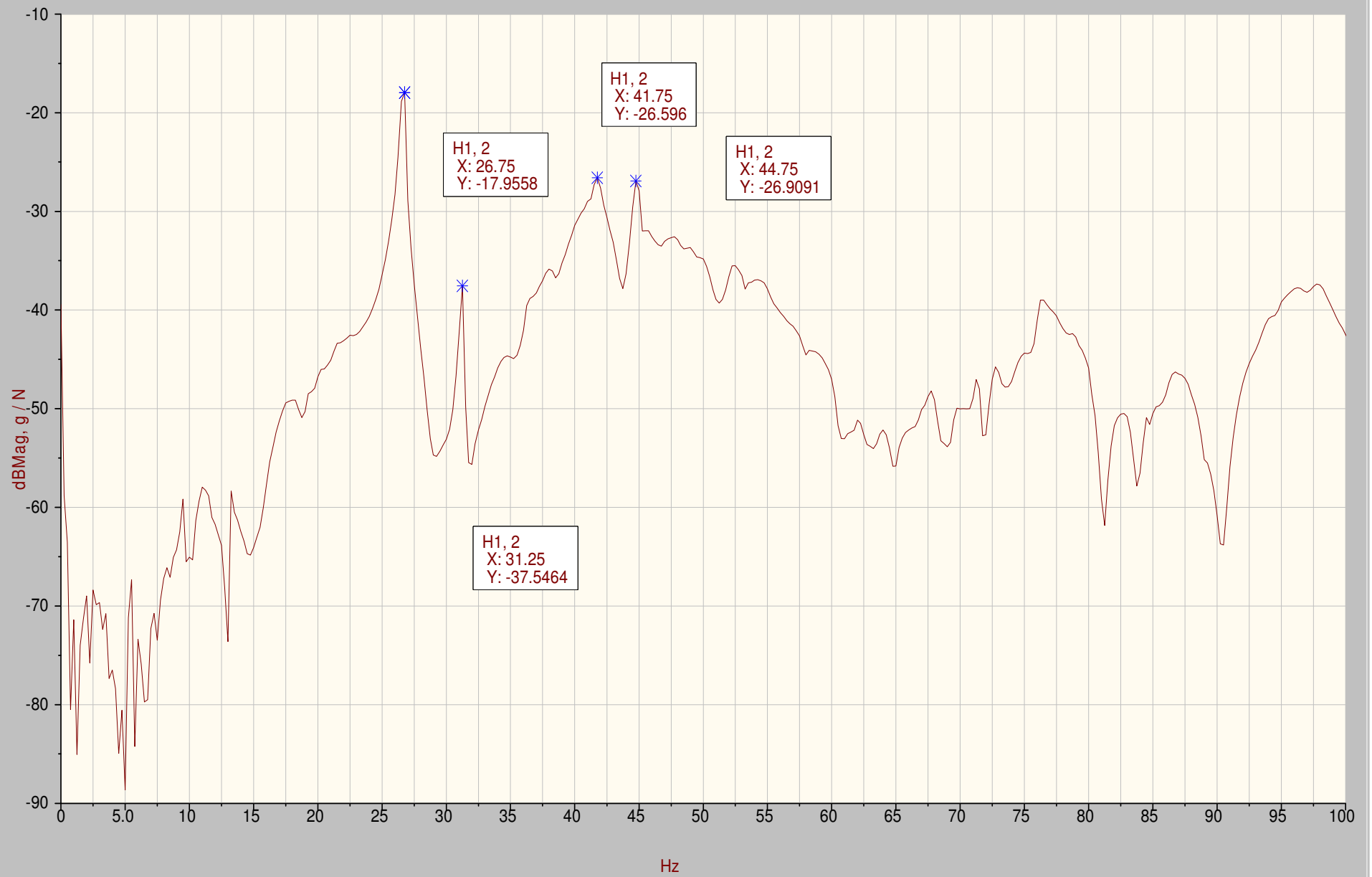
# Meting 10

## H1, 2



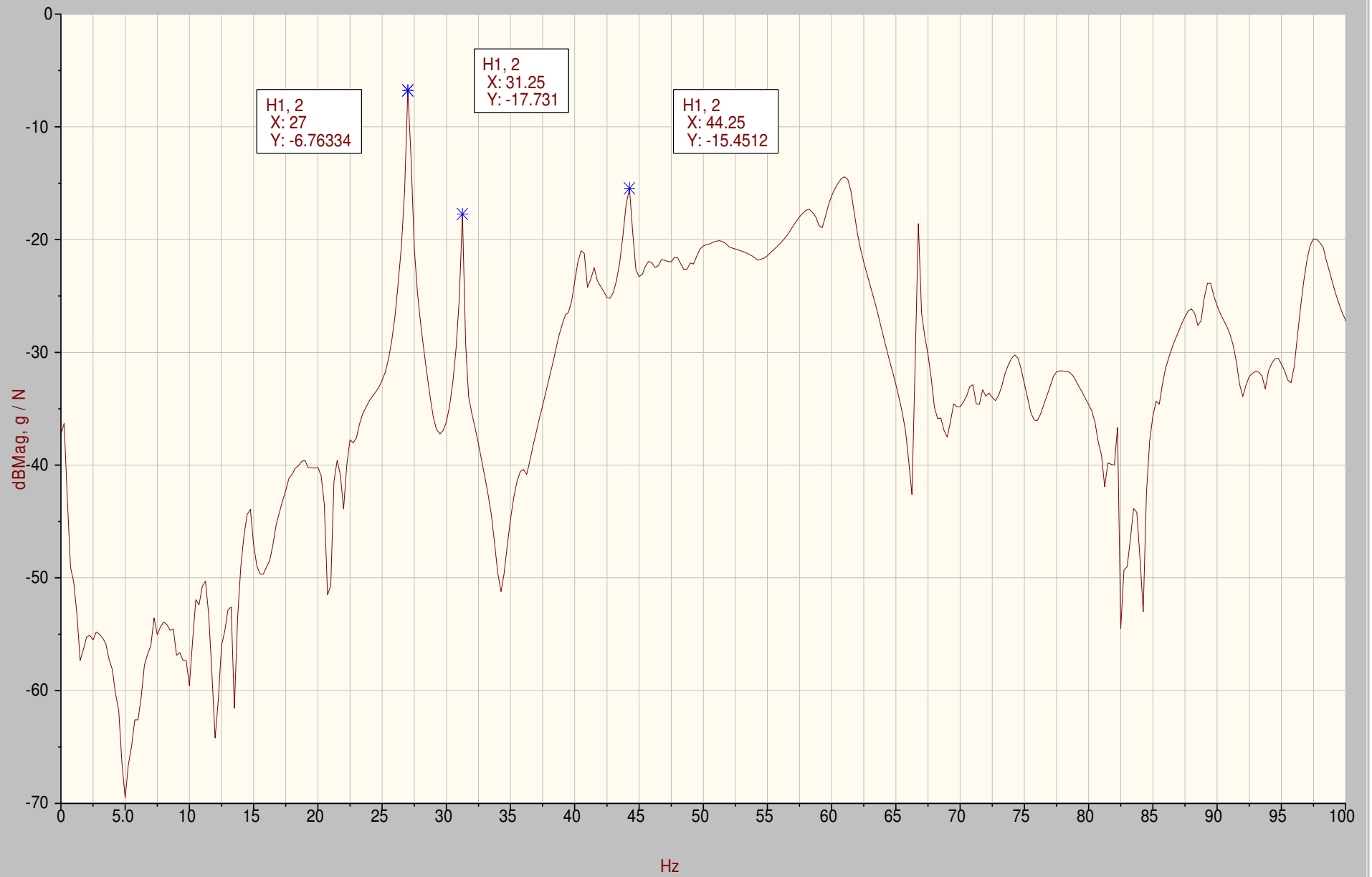
# Meting 11

## H1, 2



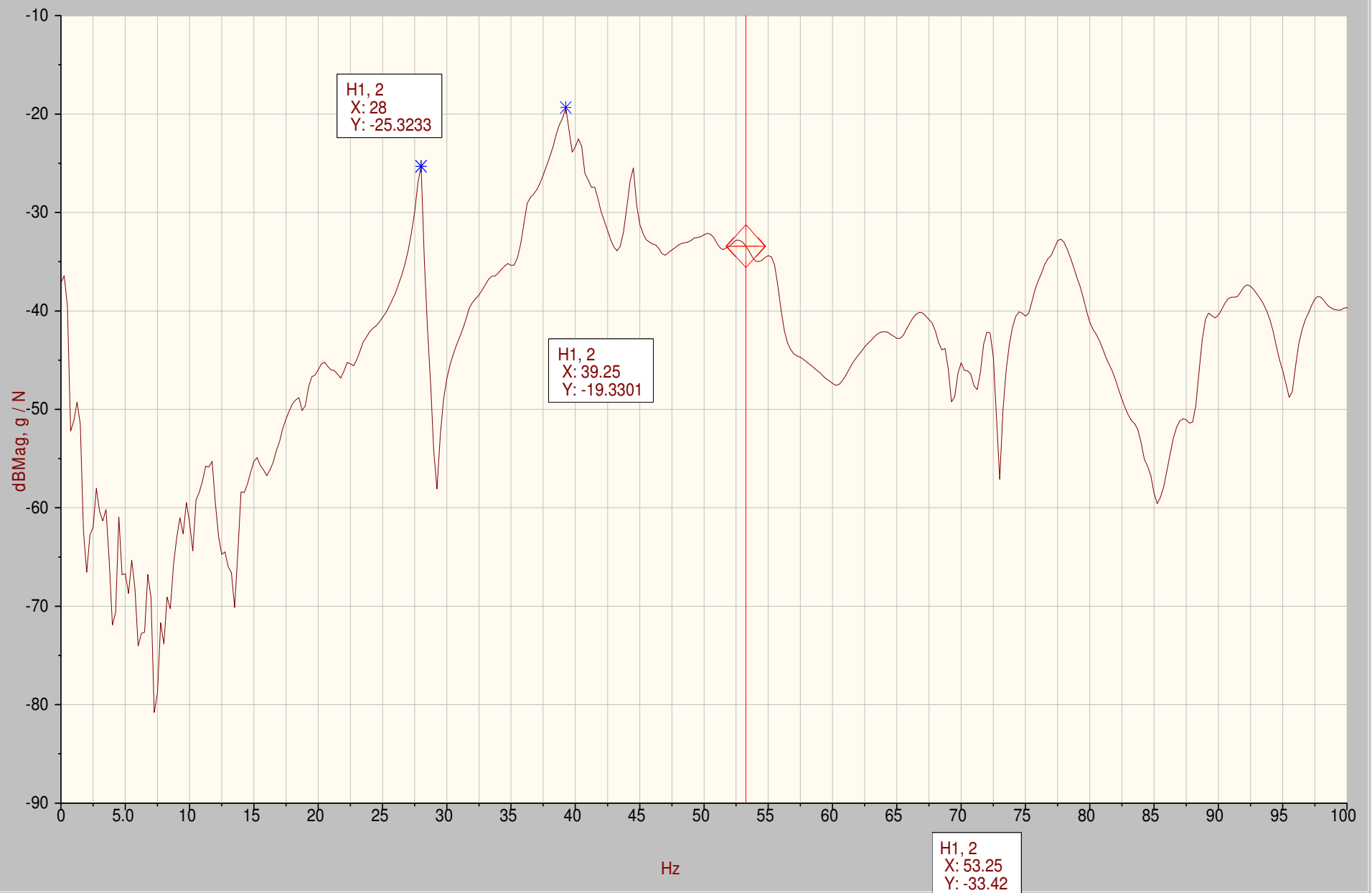
# Meting 12

## H1, 2



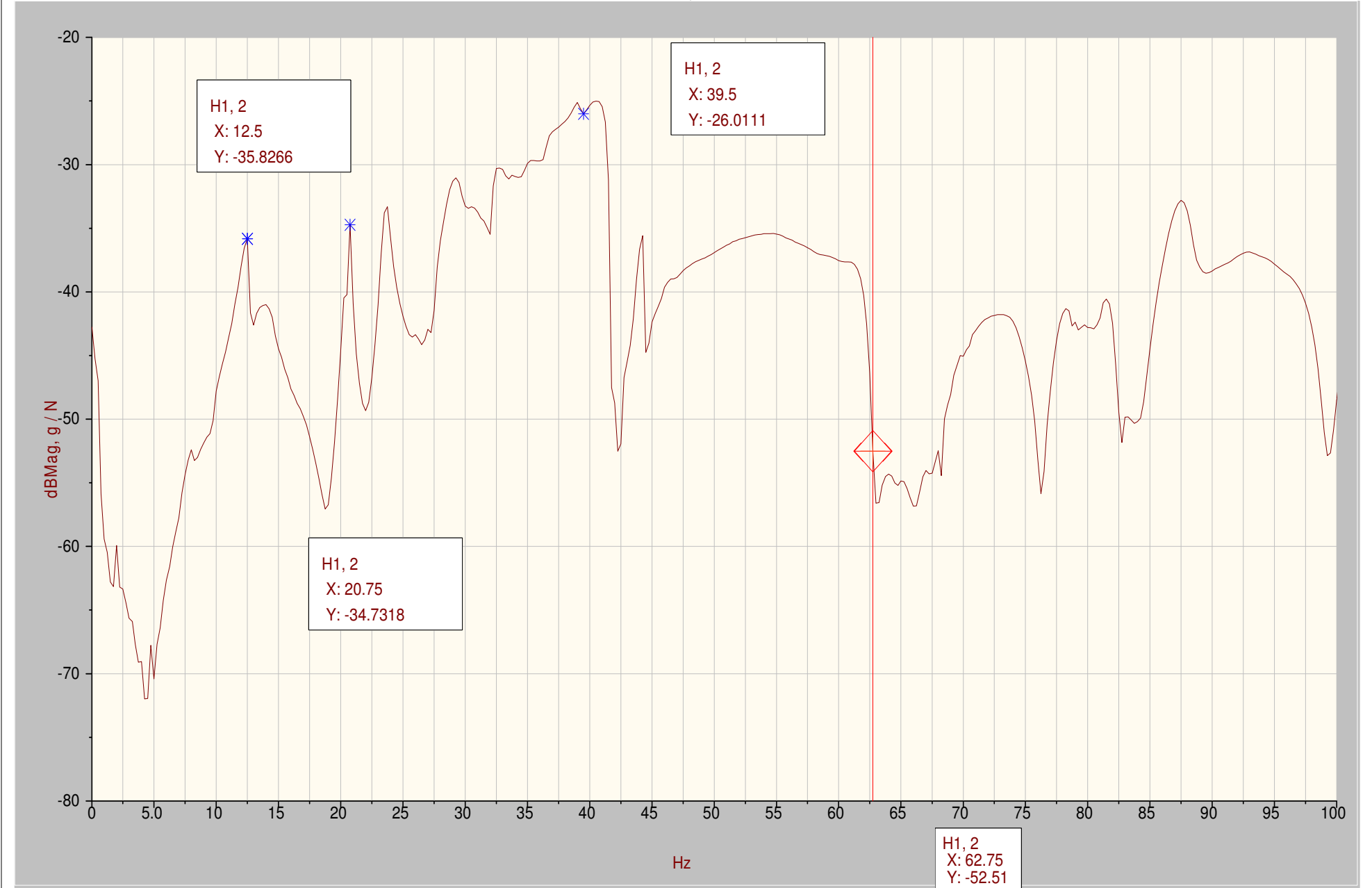
# Meting 13

## H1, 2



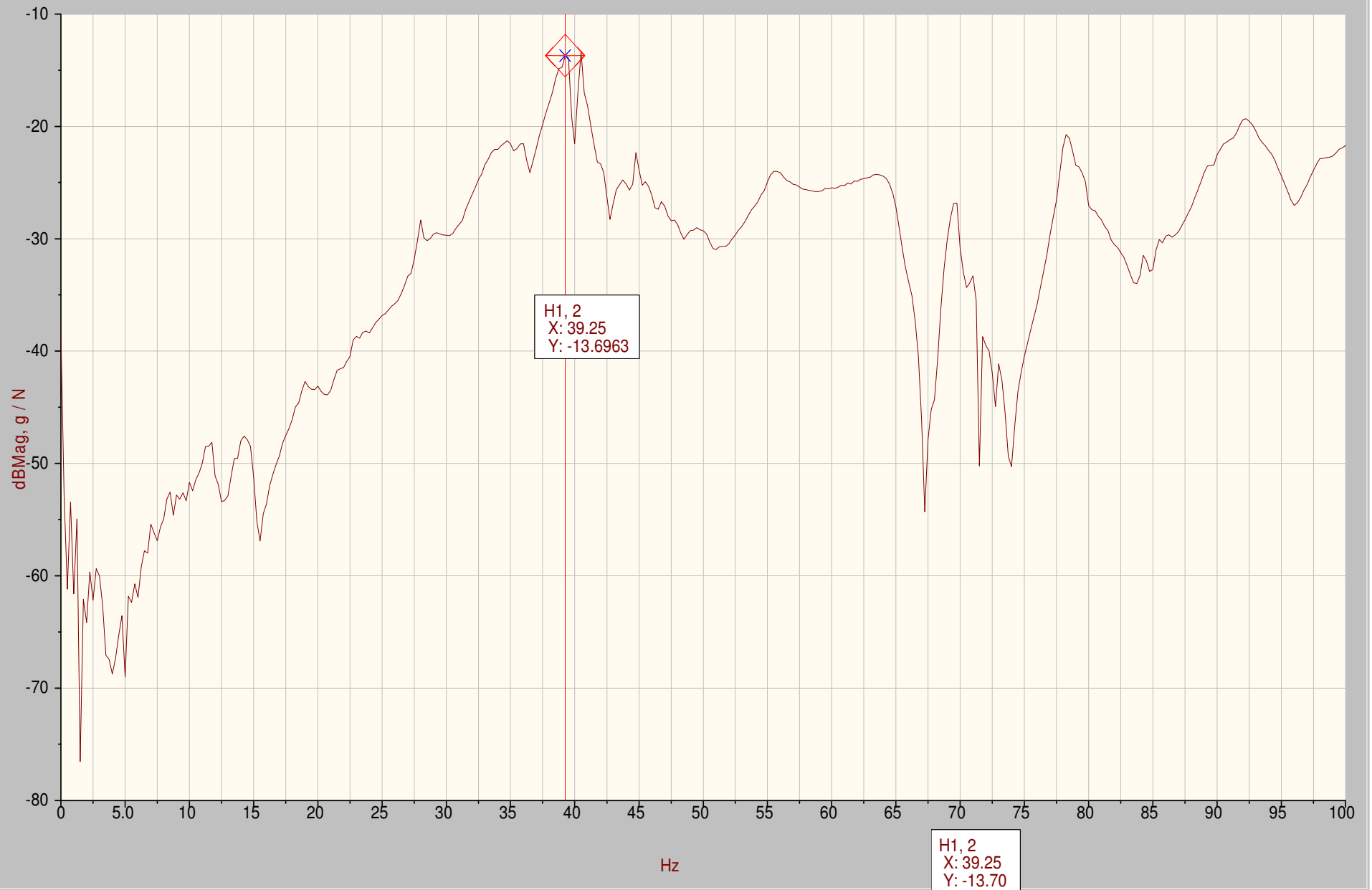
Meting 14

H1, 2

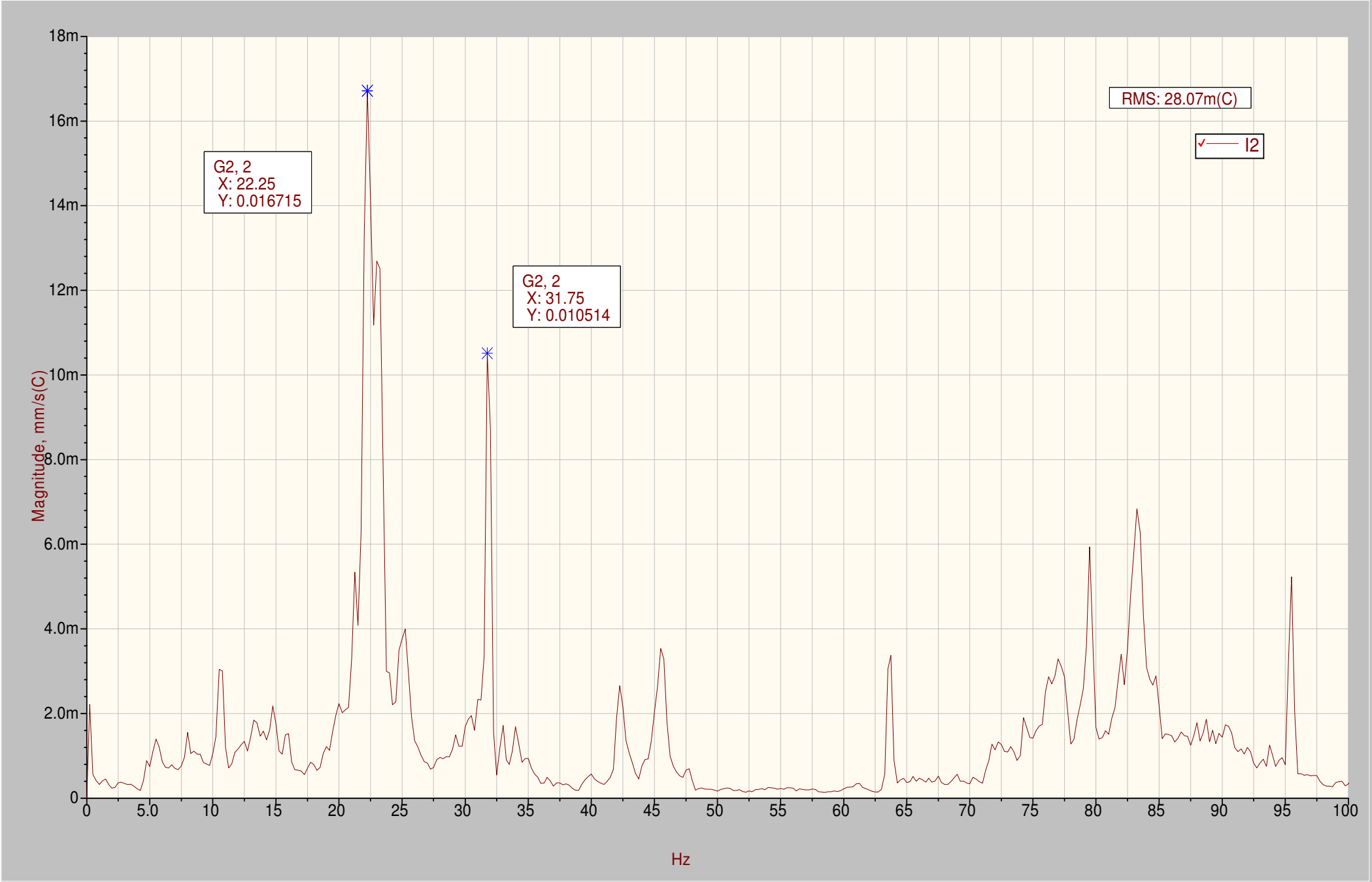


# Meting 15

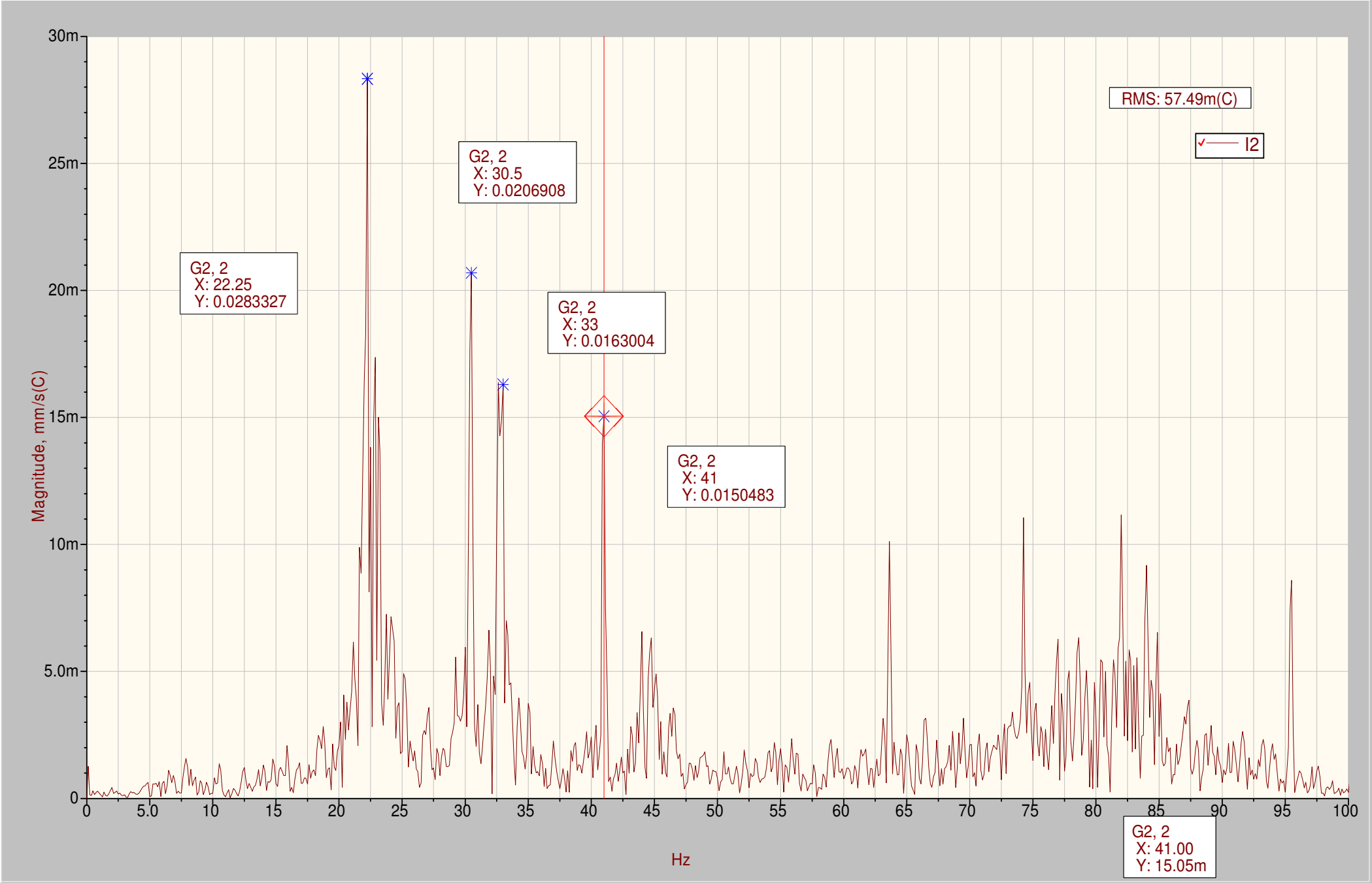
## H1, 2



G2, 2

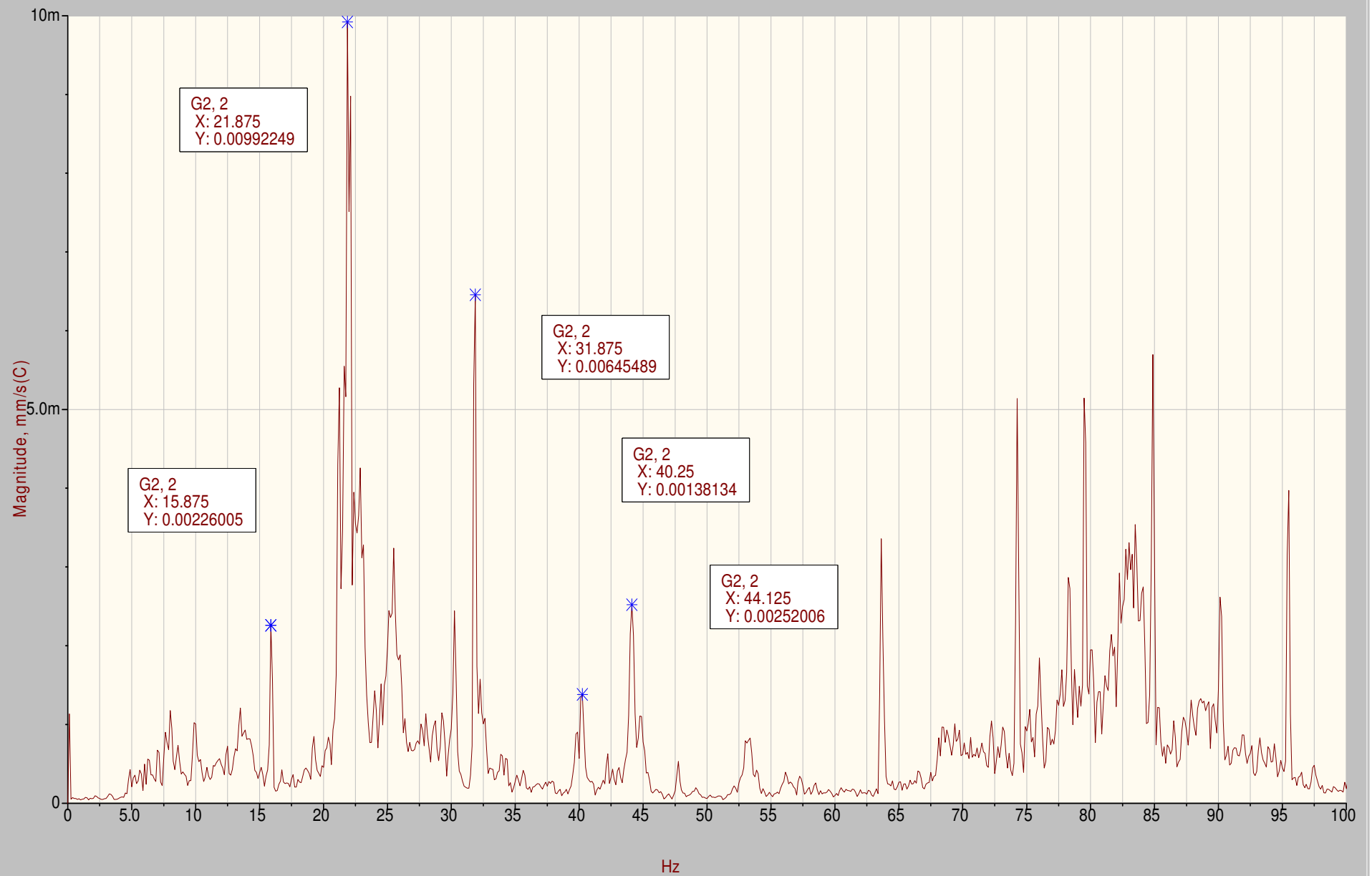


G2, 2



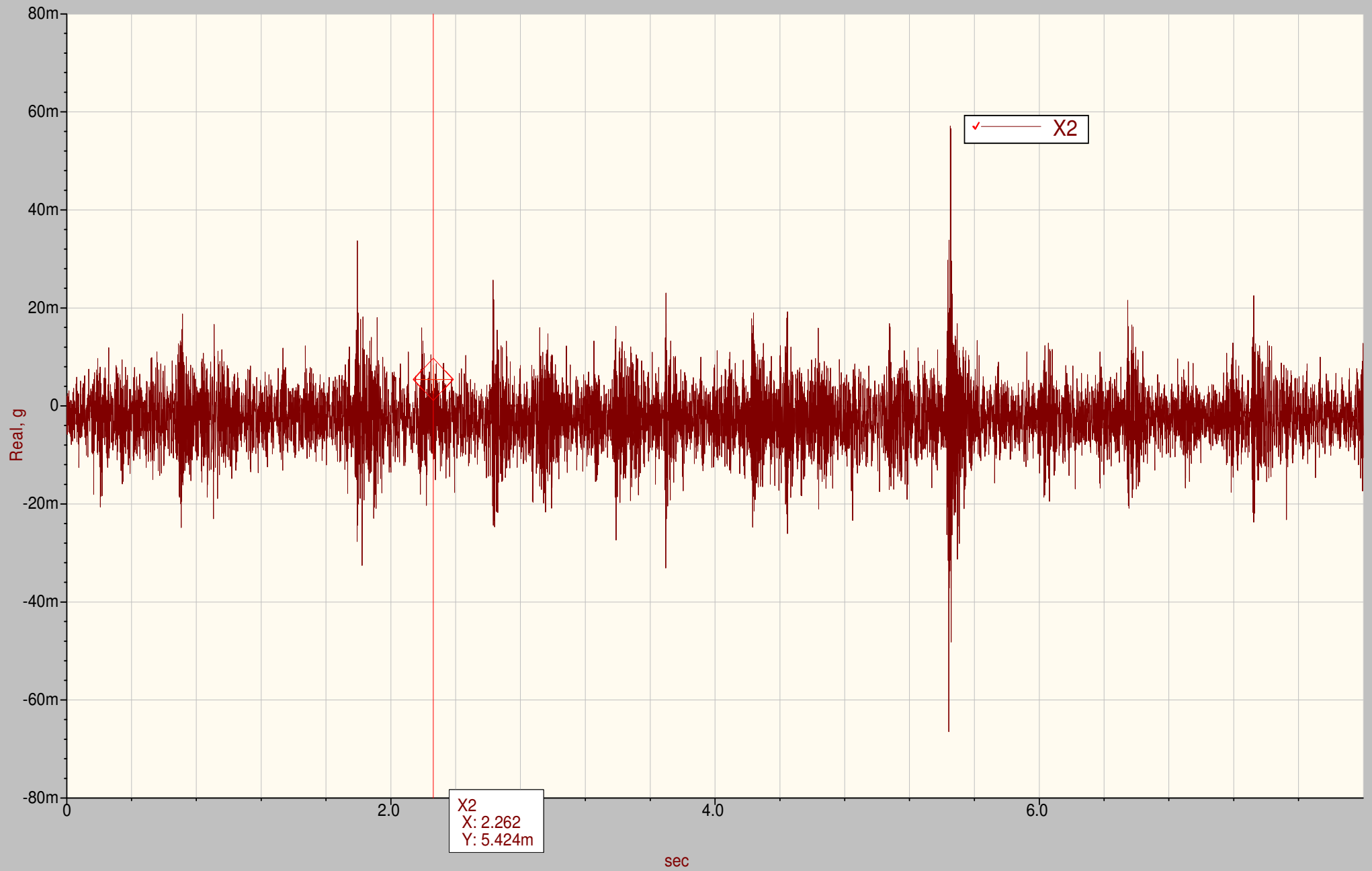
# Meting 18

## G2, 2



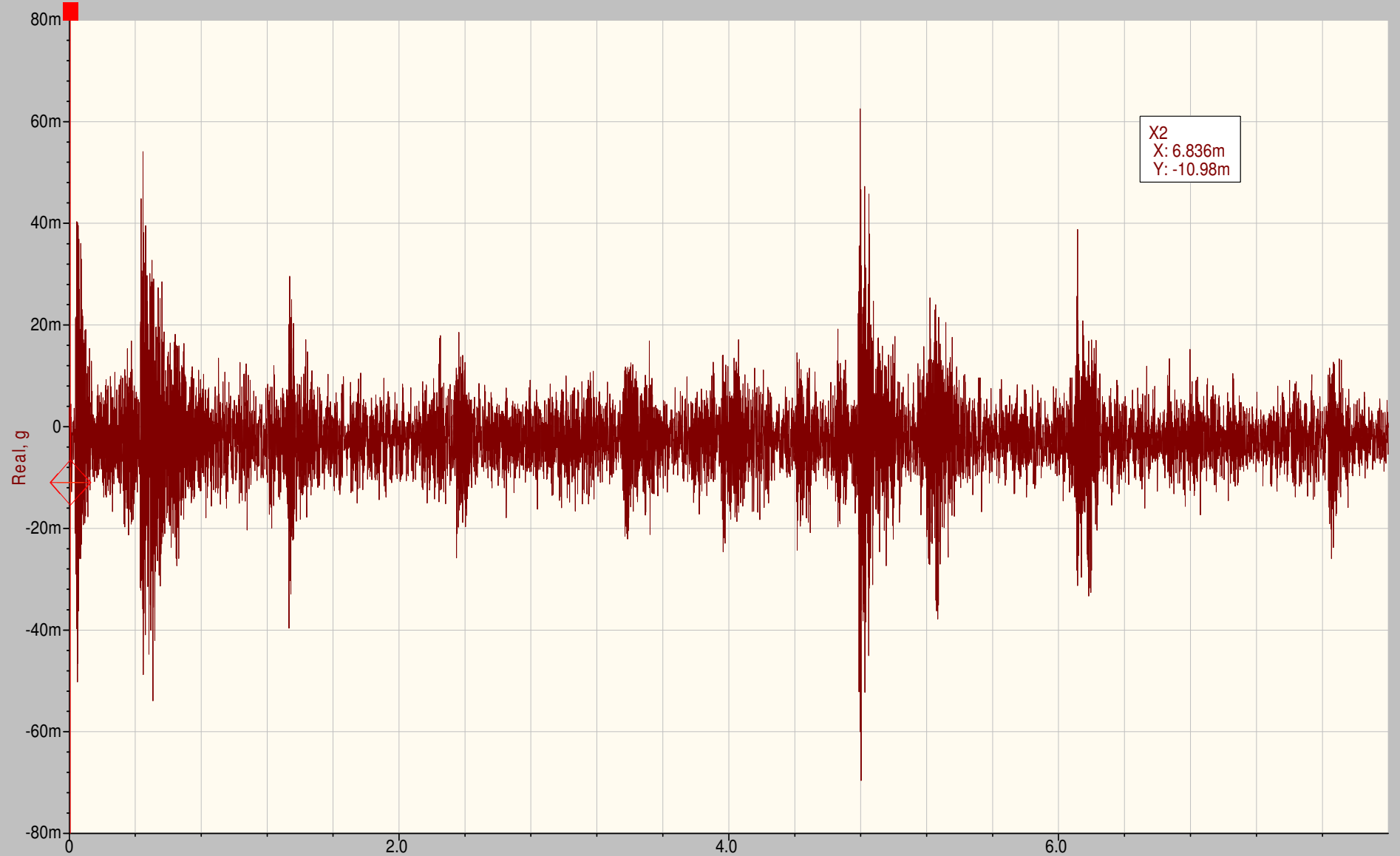
# Trilsignaal meting 17

X2



# Trilsignaal meting 18

X2

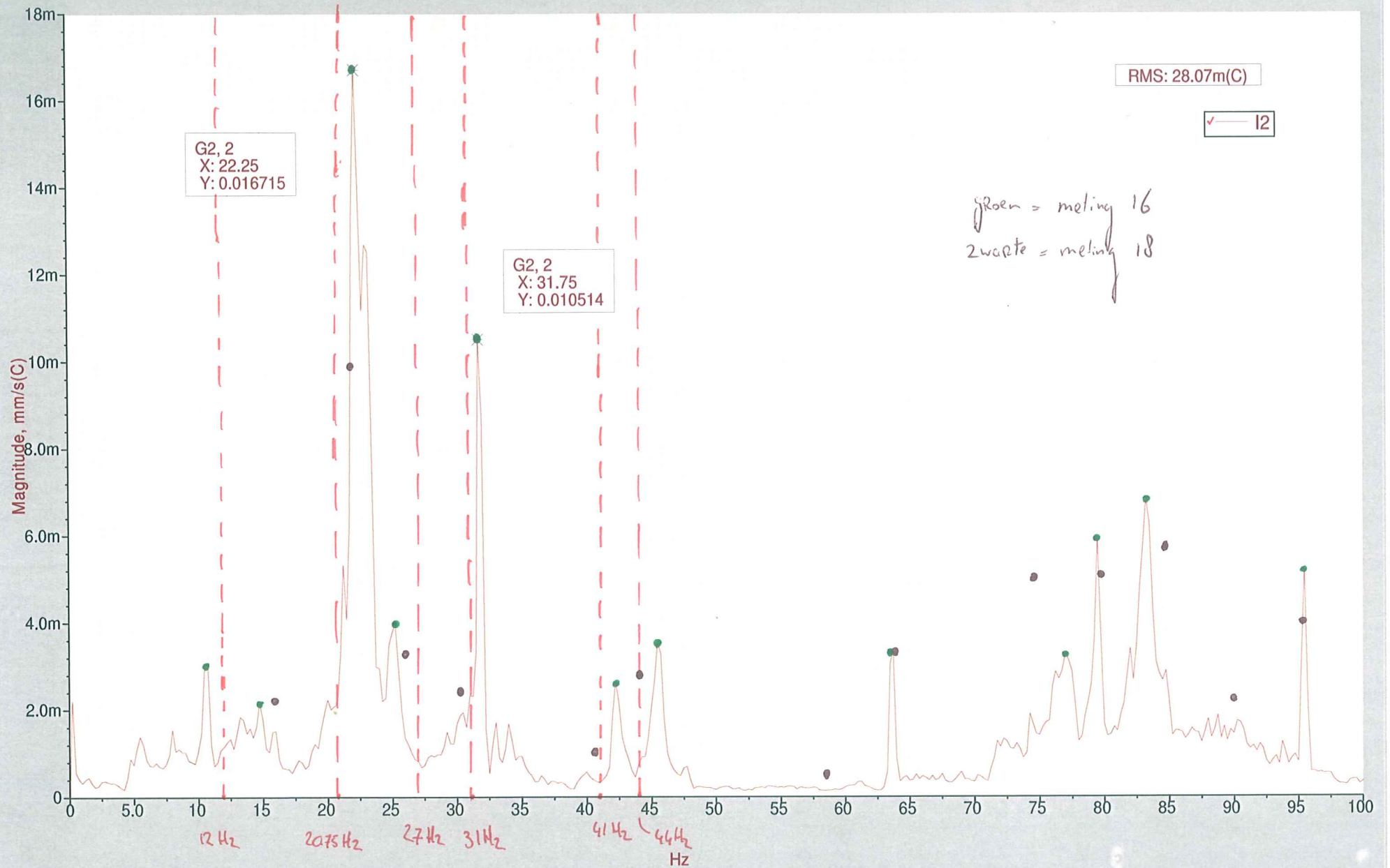


X2  
X: 6.836m  
Y: -10.98m

sec

# Meting 16 & 18 gecombineerd

G2, 2



## **2. CD-rom met meetresultaten + urenstaten**

In dit hoofdstuk vindt u een Cd-rom met daarop alle testdata die verworven is tijdens het onderzoek. Daarnaast vindt u de urenstaten van de gelopen afstudeerperiode.

