

Bijlagen

bij de

Resultaten Windpark N33

nulmeting T0 en meting T1/T2

(resp. vóór en ná realisatie Windpark N33)



http://tegenwindn33.nl/images/12118681_1087312241286728_4845128250894829348_n.jpg

Jan van Muijlwijk
Geluidsspecialist gemeente Veendam
December 2021

Inhoudsopgave

Bijlage 1: Uitleg bij de bijlagen 1a t/m 7 bij resultaten metingen Windpark N33

Drie soorten grafieken

- *Grafieken met gecombineerd LAeq en LCeq (+ uitleg C-weging)*
- *Tertsbandgrafieken (+ uitleg tertsbanden)*
- *Spectrale grafieken of spectrogrammen (+ uitleg spectrale analyse, spectrogrammen)*

Zeven opmerkingen bij de grafieken

De drie modes of toestanden

- *Vollast*
- *Specifieke niet-vollast situatie*
- *Zwakke wind*

Bijlage 1a Wildervank T0

Bijlage 1b Wildervank T1

Bijlage 1c Wildervank T1 spectraal

Bijlage 2a Veendam T0

Bijlage 2b Veendam T1

Bijlage 2c Veendam T1 spectraal

Bijlage 3a Meeden positie zuid T0

Bijlage 3b Meeden positie zuid T1

Bijlage 3c Meeden positie zuid T1 spectraal

Bijlage 4a Meeden positie oost T0

Bijlage 4b Meeden positie oost T1

Bijlage 4c Meeden positie oost T1 spectraal

Bijlage 5a Meeden positie noordwest T0

Bijlage 5b Meeden positie noordwest T1

Bijlage 5c Meeden positie noordwest T1 spectraal

Bijlage 6a Meeden positie noordoost T0

Bijlage 6b Meeden positie noordoost T1

Bijlage 6c Meeden positie noordoost T1 spectraal

Bijlage 7 Meeden positie zuid T2 normaal en spectraal

Bijlagen a: grafieken met gecombineerd LAeq en LCeq

Bijlagen b: grafieken met LAeq, LCeq, tertsbanden (40, 50, 63 en 125 Hz) en windsnelheid

Bijlagen c: spectrale grafieken (spectrogrammen)

Een aantal geselecteerde screenshots van de spectrale analyse

Bijlage 1

bij resultaten metingen Windpark N33

***Uitleg bij de bijlagen 1a t/m 7
bij resultaten metingen Windpark N33***

Uitleg bij de bijlagen 1a t/m 7 bij resultaten metingen Windpark N33

Doorgaans bestaan bijlagen bij akoestische rapporten uit een dikke stapel rekenresultaten, tabellen en getallen. Hier treft u die niét aan... Wat kunt u wél verwachten?

Ik heb gekozen voor grafieken. Verreweg de meeste mensen zijn visueel ingesteld: 'een plaatje zegt meer dan duizend woorden'. Omdat ik hou van toegankelijkheid leg ik voor lezers die niet zo thuis zijn in de akoestiek een aantal begrippen uit.

Er is aanvankelijk twaalf keer een maand gemeten: op zes posities, telkens een maand in de nulsituatie en een maand na komst van de windturbines. Na aftrek van de dagen voor het steeds plaatsen en ophalen van de geluidmeter, en het uitlezen van de meetgegevens, zijn er meetgegevens van netto bijna 350 dagen beschikbaar. Ik presenteer de resultaten van alle meetdagen, deze zijn per positie (met nrs. 1 t/m 6) gerangschikt in drie sets grafieken (drie bijlagen a, b en c).

- Bijlage a = T0, de meetperiode van ca. een maand zónder windturbines. Alleen grafieken met gecombineerd *LAeq* en *LCeq*. Zonder windturbines is al het overige nog irrelevant.
- Bijlage b = T1, de meetperiode van ca. een maand mét windturbines. Grafieken met gecombineerd *LAeq* en *LCeq* en een aantal ongewogen *tertsbanden* (steeds ook met een grafiek van de windsnelheid op de betreffende dag).
- Bijlage c = T1, eveneens de meetperiode van ca. een maand mét windturbines, maar dan *spectraal*. Een keuze uit de grafieken met aantal geluidsspectra waarin de verschillende bromtonen zichtbaar zijn.

De grafieken uit bijlage c geven een voldoende goed beeld, maar het zijn als het ware de 'stills' uit een film. Het beste beeld krijg je wanneer ik de resultaten van T1 als *filmpje* zou kunnen presenteren (een hele dag kan worden weergegeven in ca. 10 minuten). Dat past helaas niet in een document als dit maar het materiaal (van alle bijna 350 meetdagen) is wél beschikbaar.

Drie soorten grafieken

- Grafieken met gecombineerd *LAeq* en *LCeq*
- Tertsbandgrafieken
- Spectrale grafieken of spectrogrammen

- **Grafieken met gecombineerd *LAeq* en *LCeq***

LAeq* en *LCeq (of anders gezegd: *dB(A)* en *dB(C)*) zijn twee van de gangbare correctiemethoden waarbij het meetinstrument op een bepaalde manier wordt ingesteld zodat de gevoeligheid van het recht-toe-recht-aan meetinstrument gelijk is aan de gevoeligheid van het menselijk oor, zodat de verkregen meetwaarden ook echt iets zeggen over de menselijke ervaring van het geluid.

LAeq geeft het A-gewogen resultaat in *dB(A)*, enige uitleg daarover gaf ik al in de inleiding, en *LCeq* geeft het C-gewogen resultaat in *dB(C)*, allebei steeds per periode van drie minuten.

Hier volgt enige uitleg over de C-weging.

Ons menselijk oor is een wonderlijk orgaan, onze oren passen zich qua gevoeligheid aan, aan de sterkte van het geluid. Helaas geldt, hoe harder een geluid, hoe minder goed de A-weging de gevoeligheid van ons oor voor dat geluid weergeeft. Gelukkig is voor die situaties de C-weging beschikbaar: die curve is namelijk wat vlakker, dat wil zeggen dat het laag en het hoog minder worden gecorrigeerd. Het effect daarvan is dat de lage tonen iets meer gewicht in het totaal krijgen.

dB(C) wordt vaak gebruikt bij het meten van harde geluiden met veel lage tonen, zoals bij evenementen met muziek (ook op het Museumplein hier in Veendam).

Omdat het mooi de lage tonen, de 'bassigheid', van geluid laat zien, is het een prima *indicator* voor laagfrequent geluid! Hoe groter het verschil tussen dB(A) en dB(C), des te meer laagfrequent geluid er aanwezig is.

Omdat windpark N33 uitzonderlijk bromt, heb ik gekozen voor grafieken met zowel: dB(A) als dB(C). Wanneer je de resultaten van de metingen zonder en mét de windturbines met elkaar vergelijkt dan zie je dat het verschil tussen dB(A) en dB(C) duidelijk groter is bij de resultaten van de metingen mét de windturbines.

- **Tertsbandgrafieken**

Vanwege de uitzonderlijke brom is er ook met **tertsbandanalyse** gekeken naar de windturbinegeluiden.

*Hier volgt enige uitleg over het begrip **tertsbanden**:*

dB(A) en dB(C) omvatten álle tonen van hoog tot laag, dus het hele geluidsspectrum. De toepassing van de A- of C-correctiecurve leidt tot een meetwaarde die weliswaar iets zegt over de *sterkte* van het geluid, maar níét over het *karakter* van het geluid.

Om over het karakter iets meer te weten te komen, kunnen we het geluid per gebiedje bekijken, en een *octaaf* blijkt daarvoor heel handig.

Een octaaf is de afstand tussen een willekeurige eerste toon en de achtste toon daarboven (bv. van DO via re-mi-fa-so-la-ti naar de volgende DO). De frequentie van die tweede DO is het dubbele van die van de eerste. Is de eerste DO bv. 220 Hz, dan is de tweede 440 Hz. Ga je dan steeds weer acht tonen omhoog, dan zijn de volgende DO's 880, 1760, 3520 Hz. Het is dus geen lineaire (met steeds 'plus 220') maar een kwadratische verdeling (met steeds 'keer twee'), gebaseerd op hoe de mens toonhoogte waarneemt.

In de akoestiek zijn de gebieden waarin het spectrum verdeeld wordt ('octaafbanden') als volgt gedefinieerd:

31,5 Hz
63 Hz
125 Hz
250 Hz
500 Hz
1000 Hz
2000 Hz
4000 Hz
8000 Hz

(De genoemde frequenties zijn de centrale frequenties van de octaafbanden).

Deze verdeling zegt wel *iets* over het karakter van het geluid maar zeker de hoogste octaafbanden zijn grote frequentiegebieden. Om dat wat te verfijnen is het soms praktisch octaven in drieën te delen. De stukjes die dan ontstaan noemen we *tertsbanden*.

De gebiedjes waarin het spectrum wat verfijnder verdeeld wordt ('tertsbanden') zijn als volgt gedefinieerd:

25 Hz	250 Hz	2500 Hz
31,5 Hz	315 Hz	3150 Hz
40 Hz	400 Hz	4000 Hz
50 Hz	500 Hz	5000 Hz
63 Hz	630 Hz	6300 Hz
80 Hz	800 Hz	8000 Hz
100 Hz	1000 Hz	10000 Hz
125 Hz	1250 Hz	12500 Hz
160 Hz	1600 Hz	16000 Hz
200 Hz	2000 Hz	20000 Hz

(De genoemde frequenties zijn de centrale frequenties van de tertsbanden).

Hoewel dit al een veel beter beeld geeft, blijkt deze methode in de praktijk van het zoeken naar (zeer) zwakke laagfrequente bronnen nog steeds veel te grof. Tertsbanden zijn nl. nog steeds *gebiedjes van geluid*... Om dat nog verder te verfijnen moet je de tertsen in nog kleinere stukjes verdelen, en dan kom je uiteindelijk bij enkelvoudige tonen. Om die goed te kunnen detecteren is *frequentieanalyse* noodzakelijk.

Maar... bij windpark N33 is geen sprake van (zeer) zwakke lage tonen. Dit park bromt uitzonderlijk sterk. Om de brom in beeld te brengen werkt in dit geval de grovere methode van tertsbandanalyse ook. Ik heb daarbij gekozen voor de vier tertsbanden waarin de bromtonen van windpark N33 vooral voorkomen: 40 Hz, 50 Hz, 63 Hz en 125 Hz.

Om goed zicht te krijgen op de brom heb ik *geen enkele weging toegepast*. Dat wordt in de akoestiek ook wel zero-weging genoemd, weergegeven met dB(Z).

In de bijlagen b = T1 zien we steeds per dag de windsnelheidsgrafiek van die dag met daaronder achtereenvolgens de

- LAeq/LCeq grafiek
- LZeq 40 Hz grafiek
- LZeq 50 Hz grafiek
- LZeq 63 Hz grafiek
- LZeq 125 Hz grafiek

- **Spectrale grafieken of spectrogrammen**

Ten slotte presenteer ik een aantal **screenshots** van de **spectrale analyse** waarin duidelijk de verschillende bromtonen van de windturbines zichtbaar zijn.

*Hier volgt enige uitleg over **spectrale analyse**:*

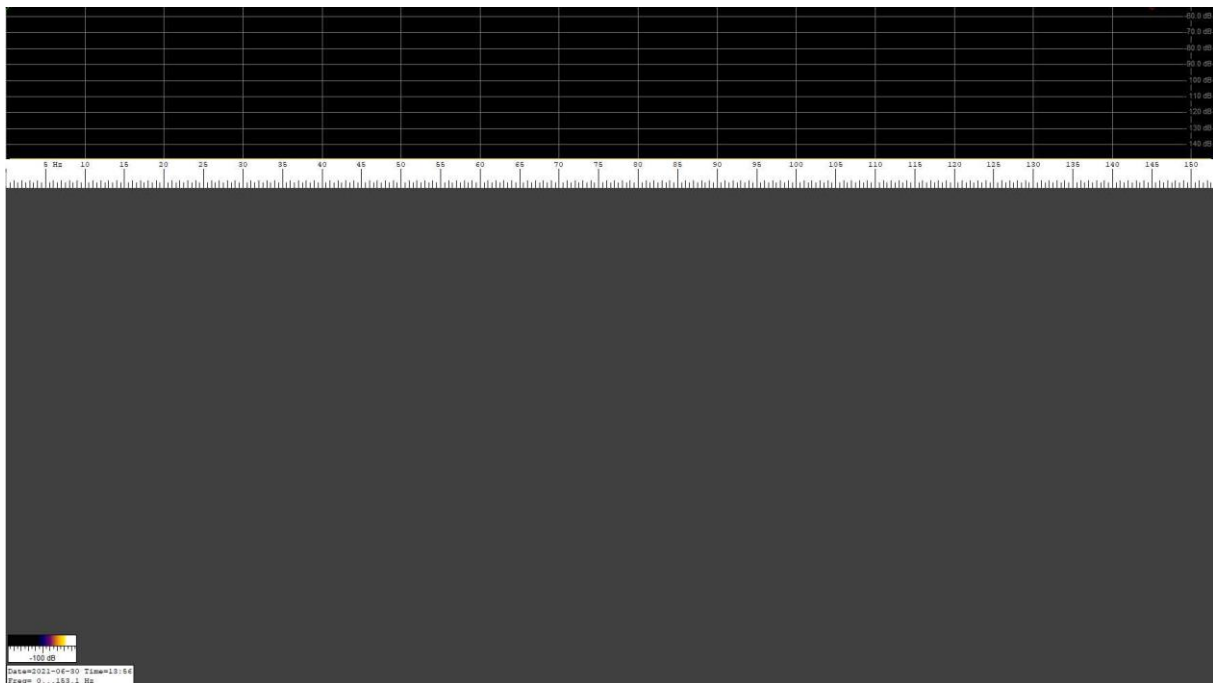
Spectrale analyse of frequentieanalyse is een krachtige methode om heel precies de toonhoogte van geluiden 'ergens' in het geluidsspectrum vast te stellen. Dankzij de enorme ontwikkeling van de computertechnologie kan die analyse nu razendsnel en zeer precies worden gedaan. Iets waarvan akoestici in de jaren zestig van de vorige eeuw alleen nog maar konden dromen.

*SpectrumLab is een goed en uitgebreid (gratis) softwarepakket waarmee prachtige frequentieanalyses zijn uit te voeren. Om die reden gebruik ik het al sinds 2010 voor het opsporen en in beeld brengen van bromtonen. Ik wil dan ook een lans breken voor **spectrale analyse** als instrument voor akoestici.*

In de bijlagen c = T1 (spectraal) presenteer ik een selectie van spectrogrammen.

*Hier volgt enige uitleg over de **spectrogrammen**, hoe je ze 'leest', hoe de plaatjes in elkaar zitten en wat ze voorstellen:*

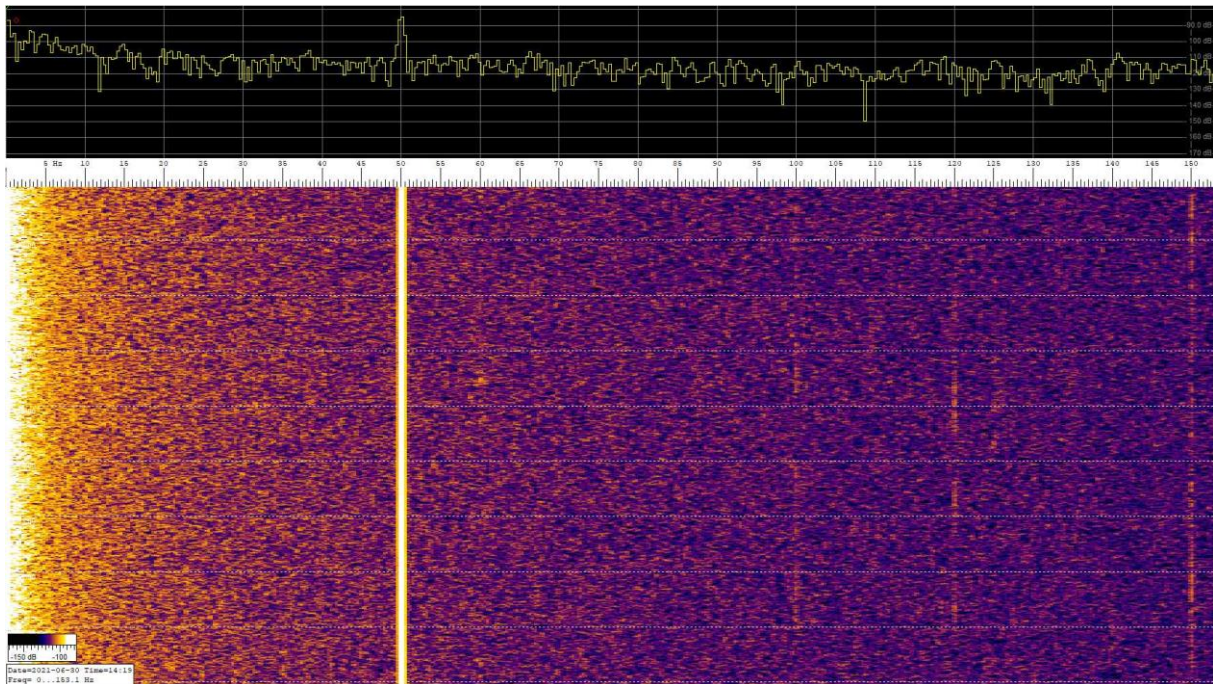
Op het moment dat er nog niets gemeten wordt, ziet het scherm van SpectrumLab er zó uit:



In het bovenste zwarte gedeelte zie je tijdens de meting een wat onrustige gele lijn. Deze grafiek geeft *realtime* het geluidsniveau weer op alle frequenties in het afgebeelde spectrum. De schaalverdeling in de witte balk daaronder is instelbaar en geeft de frequentie weer, hierboven is gekozen voor 0 tot 150 Hz, het lage deel van het geluidsspectrum.

Het onderste donkergrijze gedeelte is hier nog leeg maar lijkt wanneer er gemeten wordt op een heel langzame waterval. Als je begint met meten komen bovenin de eerste resultaten, tijdens het meten zakken die naar beneden omdat bovenin steeds de nieuwste / laatste resultaten erbij komen. Afhankelijk van de instellingen zie je na enige tijd de volledige laatste 15, 30 of 60 minuten aan geluid.

Op het moment dat er gemeten wordt, en als daarbij sprake is van een continu geluid op een bepaalde frequentie dan is dat zichtbaar als een heldere verticale lijn bij die frequentie. Dan ziet het scherm van *SpectrumLab* er zó uit:



In het bovenste zwarte gedeelte zie je een wat onrustige dunne gele lijn. Aan de schaalverdeling daaronder zie je dat de duidelijke piek op 50 Hz zit.

In het onderste gekleurde gedeelte zie je een heldere verticale lijn op 50 Hz. De lijn is ononderbroken, dus de toon van 50 Hz is er de gehele periode geweest. Je ziet ook nog wat zeer zwakke lijnen op 100, 120 en 150 Hz.

SpectrumLab geeft met kleuren een indicatie van de sterkte van geluid. Van sterk naar zwak geluid is het kleurverloop: van wit / lichtgeel via donkergeel / oranje naar blauw / paars.

NB: Bovenstaande is een eenvoudig voorbeeld om te laten zien hoe SpectrumLab resultaten laat zien. Dit is géén weergave van windturbinegeluid.

Zeven opmerkingen bij de grafieken:

- Op de X-as van de *LAeq / LCeq* grafieken en van de *tertsbandgrafieken* staan getallen die het aantal periodes van 3 minuten aangeven. Bij getal 20 is het 01.00 uur, bij 40 is het 02.00 uur, bij 60 is het 03.00 uur, enz. De totale X-as beslaat 24 uur.
- De Y-as van de *LAeq / LCeq* grafieken en van de *tertsbandgrafieken* heeft als eenheid dB, maar niet bij alle grafieken is de schaal hetzelfde. Dat komt door de automatische opmaak. Vergelijk je twee grafieken met elkaar, kijk dan ook even of de schaal overeenkomt.

- In *alle LAeq / LCeq grafieken* valt een merkwaardige, zeer smalle en hoge piek op: om 03.00 uur, 09.00 uur en 15.00 uur. Deze worden veroorzaakt door het volautomatische kalibratiesysteem in de geluidmeter (*'werkt alles nog zoals het hoort? Ja.'*). Het zijn geen echte geluiden.
- Op vijf van de zes *meetposities* stond de microfoon voor een gevel. Omdat een gevel geluid 100% reflecteert komt het geluid als het ware twee keer langs de microfoon en dat zorgt voor een verhoging van de meetwaarde met 3 dB. De grafieken laten in die gevallen door de reflectie een 3 dB te hoge waarde zien. Bij alle meetposities is aangegeven of er sprake was van gevelreflectie die de meetwaarde verhoogde. Zo ja, dan moet de lezer van de grafiek zelf in gedachten die 3 dB in mindering brengen voor juiste geluidssterkte.
- In de *LAeq grafieken* zie je in het voorjaar en de vroege zomer een spectaculaire toename van het geluid rond ca. 04.30 / 05.00 uur. Een vreemd tijdstip om menselijke activiteit te verwachten... Dat is het dan ook niet - het zijn vogels. Na een paar uur neemt het volume af en / of gaat langzaam over in normale omgevingsgeluiden zoals van auto's, landbouwvoertuigen en industrie.
- In de *LCeq grafieken* maar ook in de *tertsbandgrafieken* zie je soms dat in de ochtend (zo rond zeven, acht, of negen uur) het geluidsvolume van de windturbines ineens veel lager wordt. In de bijbehorende windsnelheidsgrafieken zie je echter zelden dat op datzelfde tijdstip de wind wegvalt. Waarom vallen de windturbines dan zomaar een poosje stil? Dit houdt meestal verband met de zgn. *slagschaduwregeling*.
Bij zonsopgang en zonsondergang staat de zon laag. De slagschaduw van de draaiende lange wieken van de hoge windturbines reikt dan zeer ver. Om de hinder daarvan op grote afstanden tot een minimum te beperken is er een automatische regeling die de windturbines bij lage zonnestanden stilzet. In de beginperiode van windpark N33, toen ik aan het meten was, werd er nog geregeld aan de windturbines gewerkt – ook daarom stonden er weleens één of meerdere turbines enkele uren stil.
- De *windsnelheidsgrafieken* zijn gebaseerd op de vrij beschikbare uurgemiddelde gegevens van het KNMI-metstation Nieuw Beerta. Voor windpark N33 is dat het dichtstbijzijnde meetstation. Op de X-as staan de 24 uren van een dag, en op de Y-as staat de windsnelheid in m/s, met dien verstande dat de getallen gedeeld moeten worden door 10 (staat er 50, dan is dat 5 m/s.)

De drie modes of toestanden

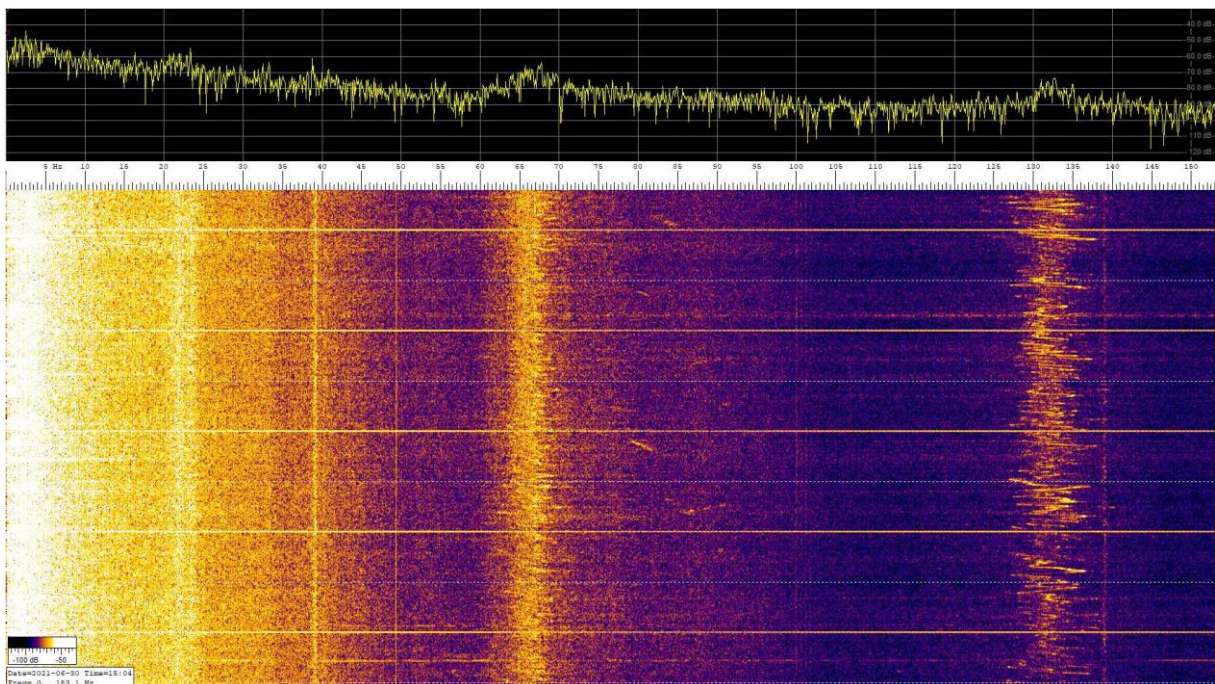
Voordat we naar de 19 bijlagen 1a t/m 7 met de grafieken van de feitelijke meetresultaten gaan nog even iets over **spectrale analyse**. Op het moment dat duidelijk was dat we hier te maken hebben met een uitzonderlijk sterk brommend windpark ben ik op verschillende tijdstippen, bij verschillende windsnelheden en bij diverse windturbines gaan meten, d.w.z. direct in *realtime* m.b.v. *SpectrumLab* kijken naar het spectrum. Daarbij viel op dat er grofweg drie verschillende modes (of toestanden waarin de brom zich voordoet), zijn te onderscheiden.

De drie meest in het oog springende modes of toestanden zijn:

- Vollast
- Specifieke niet-vollast situatie
- Zwakke wind
- Vollast

Dat is het best waar te nemen op het moment dat het net hard genoeg waait om vollast te veroorzaken. Hoe harder het daarna waait, hoe meer lawaai door de wind en de omgeving. Dit overstemt / maskeert vrijwel alle windturbinegeluid.

Een voorbeeld van die vollast-mode zien we hieronder:

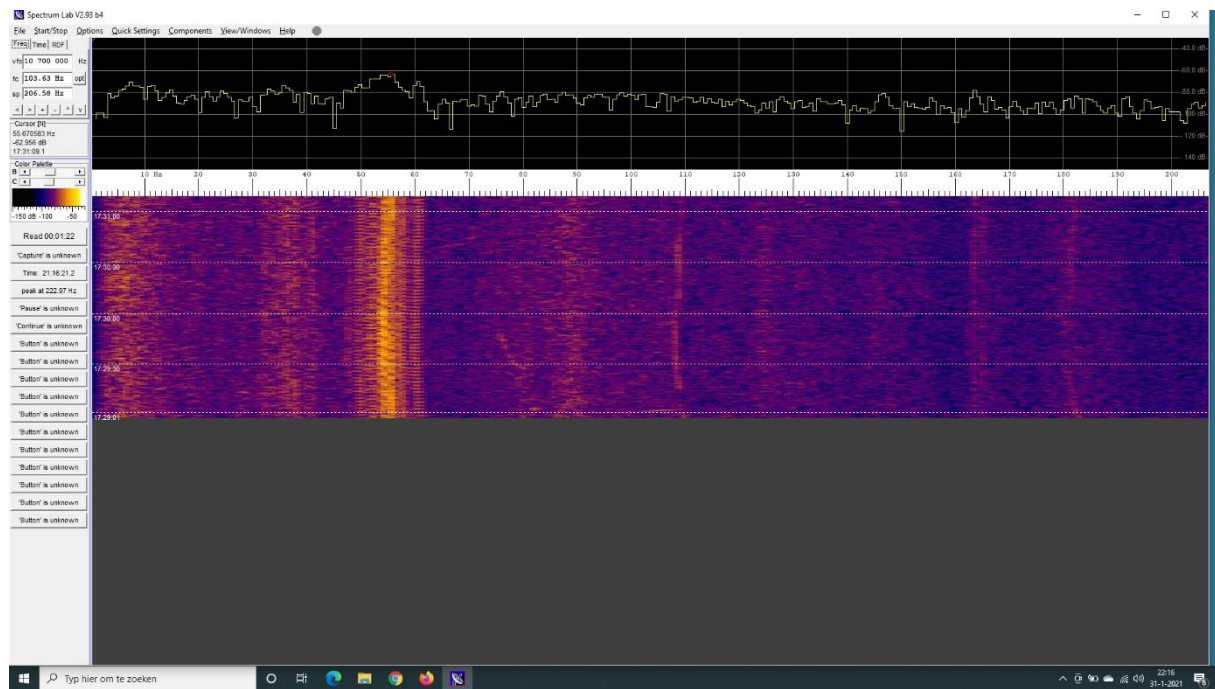


In deze mode zijn er altijd twee groepjes van tonen zichtbaar: een groepje tonen rond 65 Hz en een groepje tonen rond 130 Hz (eerste harmonische/veelvoud van 65 Hz).

- Specifiek niet-vollast situatie

Dit komt niet vaak voor, maar is wel heel bijzonder. Bij een zeer specifieke windkracht ontstaat een toon op 55 Hz. Opvallend is het duidelijk zichtbare en meetbare Dopplereffect. De ronddraaiende wieken stralen in toonhoogte variërend geluid af vanaf ongeveer halverwege de wieken (dit is eenvoudig te berekenen aan de hand van de gemeten frequenties).

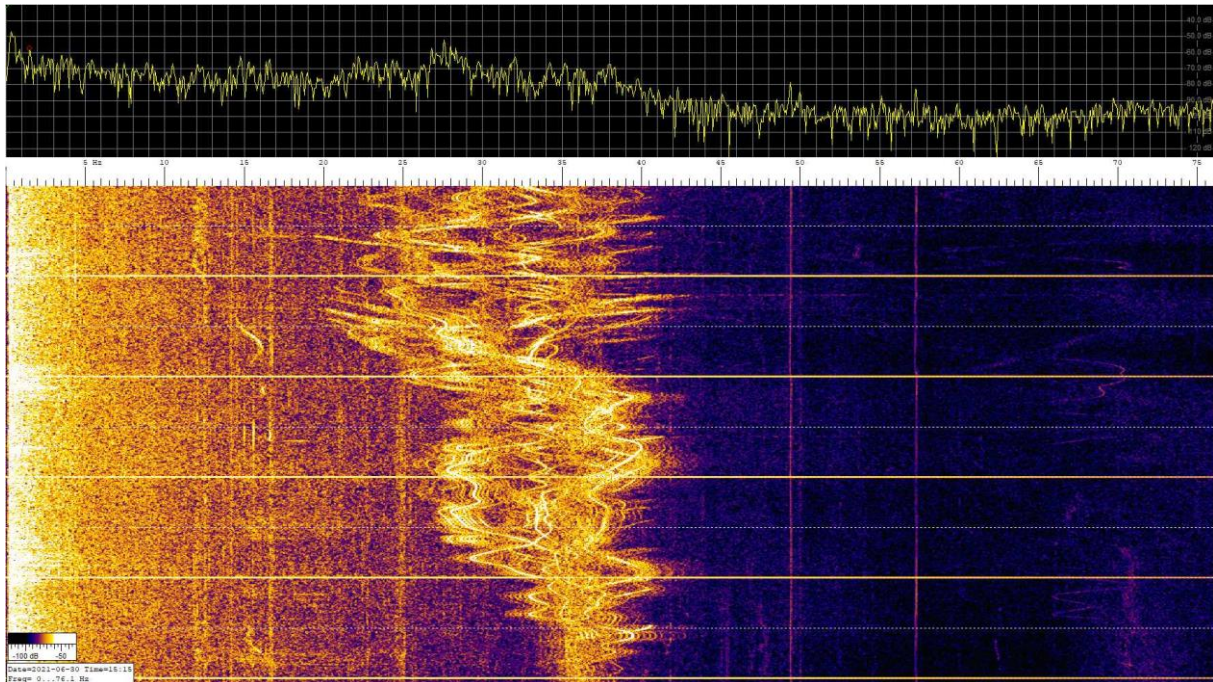
Een voorbeeld van deze niet-vollast-mode en zeer specifieke windkracht, zien we hieronder:



- Zwakke wind.

De turbine lijkt wat zoekende en produceert een scala duidelijke lage tonen:

Een voorbeeld van een 'zoekende' turbine bij zwakke wind zien we hieronder:



Bij zwakke wind zien we een variëteit aan duidelijke bromtonen in het gebied van ca. 30-50 Hz. Misschien is er zoveel variatie in deze mode omdat de turbine bij weinig wind continu zoekende is om het meeste uit de wind te halen. Hoe het ook zij, het resultaat is een 'concert' met bromtonen in het gebied van ca. 30-50 Hz.

Bij een zeer nauwkeurige beschouwing zijn er wellicht nog meer modes te onderscheiden, maar het belangrijkste voor nu is te proberen m.b.v. deze meetresultaten te achterhalen waarom deze turbines zo sterk brommen én wat de remedie zou kunnen zijn.

In augustus 2021 heeft er een software-update plaatsgevonden. Die zou ervoor moeten zorgen dat het probleem opgelost zou moeten zijn. Klachten over bromtonen hielden aan. Daarom is er op één positie nog een keer een maand gemeten. Resultaten daarvan vindt u in bijlage 7.

De meetresultaten zijn Arcadis en RWE ter beschikking gesteld, maar of fabrikant Siemens er iets mee gedaan heeft is niet bekend.

Bijlagen 1a t/m 7