



M+P | Onderdeel van
Müller-BBM groep
Mensen met oplossingen



Rapport

Geluidsonderzoek windpark Spui ten behoefte van de omgevingsdialog

Colofon

Opdrachtnemer	M+P raadgevende ingenieurs BV
Opdrachtgever	Provincie Zuid-Holland Postbus 90602 2509 LP DEN HAAG
Opdrachtnummer	PNR20027035
Titel	Geluidsonderzoek windpark Spui ten behoeve van de omgevingsdialog
Rapportnummer	M+P.PZH.22.02.1
Revisie	0
Datum	3 mei 2023
Aantal pagina's	49
Auteurs	ir. E. Nieuwenhuizen ir. T. van Bon



M+P
Visserstraat 50 | 1431 GJ Aalsmeer
Wolfskamerweg 47 | 5262 ES Vught

www.mp.nl | onderdeel van de Müller-BBM groep | Lid NLingenieurs | ISO 9001 gecertificeerd

Copyright © M+P raadgevende ingenieurs BV | Niets van deze rapportage mag worden gebruikt voor andere doeleinden dan is overeengekomen tussen de opdrachtgever en M+P (DNR 2011 Artikel 46).



Inhoud

1	Inleiding	4
2	Informatie over windpark Spui	5
3	Voortraject	7
4	Onderzoeksprogramma	9
4.1	Immissiemetingen voor de gevel	9
4.2	Geluidsmetingen in de slaapkamer	10
4.3	Meteorologische gegevens	11
4.4	Windturbinedata	11
4.5	Onderzoek hinderbeleving	12
4.6	Bedrijfsituatie windpark	13
4.7	Variabelen in dataset	13
5	Resultaten en analyse	16
5.1	Illustratie gemeten geluidsniveaus	16
5.2	Scores hinder en slaapkwaliteit	18
5.3	Correlatiematrix	22
5.4	Scatter plots	26
5.5	Karakter van het geluid: amplitudemodulatie	31
5.6	Binnenniveaus	35
5.7	Laagfrequent geluid	36
5.8	Vergelijking meten en rekenen	39
6	Samenvatting	42
bijlage A	Scatter plots octaven	44

1

Inleiding

Sinds de inbedrijfname van windpark Spui in maart 2019 ervaren omwonenden geluidshinder vanwege de windturbines. In augustus 2019 heeft de omgevingsdienst in het kader van toezicht en handhaving emissiemetingen laten verrichten bij twee van de vijf windturbines. Bij die geluidsmetingen zijn geen significante afwijkingen van de geluidsemisatie geconstateerd. Er zijn derhalve geen aanwijzingen dat het windpark niet voldoet aan de standaard geluidsgrenswaarden in het Activiteitenbesluit.

De geluidshinder is sinds de start van de exploitatie desondanks niet verminderd. Om meer grip te krijgen op de ervaren geluidsoverlast en zo tot goede oplossingen te komen, is in 2021 een dialoog gestart tussen de provincie Zuid-Holland en de direct omwonenden van het windpark. Ook de exploitant van het windpark Klein Piershil BV (onderdeel van Eurus Energy Europe B.V., verder Eurus), die mogelijk een bijdrage kan leveren aan de oplossingen, neemt deel aan de omgevingsdialoog.

Een concrete afspraak die uit de omgevingsdialoog is voortgekomen is het uitvoeren van langdurige, onbemande geluidsmetingen in de leefomgeving (immissiemetingen). De bedoeling is om met behulp van deze geluidsmetingen te verkennen wat de kern van het probleem is. Spelen specifieke lokale omstandigheden een rol bij de hinderbeleving van omwonenden? Bestaan er voor de omgeving van windpark Spui haalbare maatregelen om het probleem te verlichten?

De opzet van de immissiemetingen wijkt af van metingen die in het kader van toezicht en handhaving zijn gedaan. Laatstgenoemde methodiek is gericht op het vaststellen van het geluidsvermogen van de windturbine. Dit gebeurt op basis van emissiemetingen op een afstand van ongeveer 200 meter van de windturbine. De regelgeving sluit immissiemetingen uit in verband met invloeden van stoorgeluid en problemen ten aanzien van representativiteit. Hoewel immissiemetingen conform de huidige regelgeving geen status hebben, kunnen ze echter wel inzicht geven in de vraag bij welke situaties de hinder het sterkst is en wat de geluidssituatie op dat moment is.

De immissiemetingen zijn ook indicatief voor de betrouwbaarheid van de berekeningen van de geluidsbelasting conform de wettelijk verplichte rekenmethode voor windturbines. Gezien het gebrek aan vertrouwen in de voorgeschreven rekenmodellen hechten veel deelnemers van de omgevingsdialoog belang aan een dergelijke controle. De nauwkeurigheid van onbemande metingen is echter wel beperkt, onder meer omdat de aanwezigheid van stoorgeluid niet kan worden gecontroleerd door middel van persoonlijke waarneming ter plaatse.

De immissiemetingen zijn uitgevoerd in de periode november 2022 tot en met februari 2023. De metingen zijn verricht door M+P, formeel in opdracht van de provincie. Het meetprogramma omvat metingen op drie posities in de omgeving van het windpark. Bij één van deze posities is niet alleen het geluid op de gevel (buitenshuis) vastgesteld, maar zijn ook metingen verricht binnenshuis. Hierbij is opeenvolgend gemeten in twee slaapkamers.

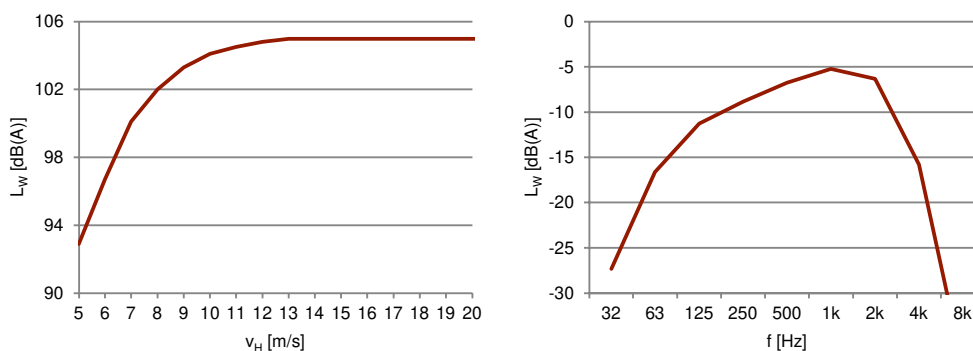
Onderdeel van de meetcampagne is tevens een longitudinaal onderzoek over hinder en slaapkwaliteit, waaraan 13 gehinderden van het windpark deelnamen. De proefpersonen is dagelijks onder meer gevraagd om de mate van hinderlijkheid van het geluid van de windturbines te beoordelen. Het was de bedoeling dat de responsies van de proefpersonen duiding geven aan het gemeten geluid.

Dit rapport betreft een eerste versie en is bedoeld ter voorbereiding op de bijeenkomst van de omgevingsdialoog op 10 mei 2023.

2 Informatie over windpark Spui

De windturbines zijn van de leverancier Enercon, type E-126-4.2 MW EP4. Ze hebben een ashoogte van 135 meter en een rotordiameter van 127 meter. Het geïnstalleerd vermogen bedraagt 4,2 MW per windturbine. De windturbines van windpark Spui draaien onbelemmerd. Dat wil zeggen dat er geen “noise mode” is ingesteld waarmee de geluidsemisatie wordt ingeperkt.

In 2019 heeft M+P in opdracht van de Omgevingsdienst Zuid-Holland Zuid onderzoek verricht naar de geluidsbelasting op de omgeving vanwege het windpark (zie het rapport met kenmerk M+P.OZHZ.19.01.1 d.d. 27 mei 2019). De geluidsbelasting is destijds berekend conform de voorgeschreven rekenmethode in bijlage IV van de Activiteitenregeling. De waarden zijn bepaald op basis van brongegevens die verstrekt zijn door de leverancier. De gehanteerde brongegevens (zonder noise mode) zijn verwerkt in figuur 1. De rechter zijde van de figuur bevat de relatieve 1/1 octaafbandspectra bij $v_H=13$ m/s. Uit de emissiemetingen die in het kader van toezicht en handhaving zijn verricht, zijn geen grote afwijkingen geconstateerd ten opzichte van de gegevens die door de leverancier zijn verstrekt.



figuur 1 brongegevens; links: geluidsvermogen als functie van de windsnelheid op ashoogte; rechts: 1/1 octaafspectrum bij $v_H=13$ m/s

Conform de landelijke regeling wordt de geluidsbelasting vanwege windturbines uitgedrukt in de dosismaten L_{den} en L_{night} . Deze grootheden zijn jaargemiddelde waarden. Perioden waarin de windsterkte laag is en de windturbines weinig of geen geluid produceren, worden meegerekend. Om de meetgegevens te kunnen vergelijken met de gemeten waarden hebben we de geluidsbelasting op de drie meetpunten berekend als functie van de windsnelheid op ashoogte. Hierbij is gebruik gemaakt van het hierboven genoemde rekenmodel. De berekende waarden zijn inclusief gevelreflectie¹. Zodoende zijn de berekende waarden direct vergelijkbaar met de gemeten waarden. De metingen zijn immers uitgevoerd op een afstand van 1 à 2 meter voor de gevel van een object. De resultaten zijn verwerkt in tabel I.

¹ De dosismaten L_{den} en L_{night} zijn exclusief gevelreflectie.

tabel I *totale A-gewogen geluidsbelasting L_{Aeq} inclusief gevelreflectie bij windsnelheden v_H (ashoogte) van 5 tot en met 13 m/s; vanaf $v_H = 13$ m/s neemt de geluidsbelasting niet meer toe*

Omschrijving	5	6	7	8	9	10	11	12	≥13
Oudendijk 7 Piershil	32,2	36,0	39,4	41,3	42,6	43,4	43,8	44,1	44,3
Oudendijk 13 Nieuw-Beijerland	32,4	36,2	39,6	41,5	42,8	43,6	44,0	44,3	44,5
Middelstraat 12 Nieuw-Beijerland	27,5	31,3	34,7	36,6	37,9	38,7	39,1	39,4	39,6

Op grotere afstand van de omgeving manifesteert het geluid van windturbines zich vooral in de zes laagste octaafbanden (van 31,5 Hz tot en met 1 kHz). Bij overdracht over grote afstanden worden hoge frequenties namelijk sterk geabsorbeerd door de lucht. Lokaal opgewekt stoorgeluid, zoals bijvoorbeeld windgeruis bevat wel veel energie in deze frequentiebanden. Om zo veel mogelijk te voorkomen dat stoorgeluid onbedoeld wordt meegenomen in de beoordeling hebben we de drie hoogste octaafbanden bij de vergelijking tussen meten en rekenen buiten beschouwing gelaten. De berekende geluidsbelasting zonder de 2, 4 en 8 kHz 1/1 octaafbanden is weergegeven in tabel II. Uit vergelijking van tabel I en tabel II blijkt dat de bijdrage van de deze frequentiebanden inderdaad verwaarloosbaar klein is, namelijk ongeveer 0,5 dB.

tabel II *A-gewogen geluidsbelasting $L_{Aeq,32-1000Hz}$ inclusief gevelreflectie bij windsnelheden v_H (ashoogte) van 5 tot en met 13 m/s*

Omschrijving	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Oudendijk 7 Piershil	31,6	35,4	38,8	40,7	42,0	42,8	43,2	43,5	43,7
Oudendijk 13 Nieuw-Beijerland	31,7	35,5	38,9	40,8	42,1	42,9	43,3	43,6	43,8
Middelstraat 12 Nieuw-Beijerland	27,0	30,8	34,2	36,1	37,4	38,2	38,6	38,9	39,1

De berekende geluidsspectra zijn samengevat in tabel III. De waarden gelden voor de situatie dat het windpark maximaal geluid produceert (vanaf $v_H = 13$ m/s).

tabel III *berekende geluidsspectra vanwege het windpark bij maximale geluidsbelasting (vanaf $v_H = 13$ m/s); de waarden zijn inclusief gevelreflectie*

Omschrijving	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	L_{Aeq}	$L_{Aeq,32-1000Hz}$
Oudendijk 7 Piershil	24,8	35,5	31,3	35,9	38,2	38,9	35,3	17,1	-35,8	44,3	43,7
Oudendijk 13 Nieuw-Beijerland	24,7	35,4	31,3	35,8	38,3	39,1	36,2	20,6	-22,9	44,5	43,8
Middelstraat 12 Nieuw-Beijerland	20,6	31,3	27,0	31,5	33,6	34,0	29,7	9,7	-49,8	39,6	39,1

3 Voortraject

Voor de ontwikkeling van een adequaat meetprogramma zijn de klachten nader geanalyseerd die in de periode van 2019 tot 2022 door de omgevingsdienst zijn geregistreerd. De dataset bevat circa 1.300 klachten, afkomstig van 92 verschillende adressen. Circa een derde van de klachten is afkomstig van adressen waar geregeld geluidshinder wordt ondervonden (meer dan 5 klachten). Hot spots van klachten zijn de westhoek van Nieuw-Beijerland en de Oudendijk in Piershil, zoals te zien is in figuur 2.



figuur 2 klachten over geluidshinder windpark Spui in de periode 2019-2022

De precieze aard van geluidshinder is in de meeste gevallen niet systematisch geregistreerd door de omgevingsdienst. Om meer grip te krijgen op de aard van de hinder zijn in juni 2022 door M+P interviews afgenomen bij de bewoners van elf adressen. De bewoners zijn geselecteerd door de vertegenwoordigers van de omwonenden van de omgevingsdialoog. Aan de deelnemers van de interviews is onder meer gevraagd op welke momenten de overlast het grootst is en bij welke situaties. Daarnaast is gepeild wat het karakter van het hinderlijke geluid is. Hierbij hebben de geïnterviewden onder meer fragmenten van opnames van het geluid van windturbines beluisterd en beoordeeld. Op de kwalitatieve data die is verzameld in de interviewronde is door ons een thematische analyse verricht. De belangrijkste conclusies van de interviews zijn als volgt:

Waar ondervindt men geluidsoverlast?

- De meeste mensen hebben last van geluidshinder in de slaapkamer, tuin én woonkamer.
- Hinder in de slaapkamer is het meest belastend.
- Wel of geen hinder in de woonkamer is afhankelijk van de afstand tot het windpark, de bouw van de woning en wel/geen zicht op het windpark vanuit de woonkamer.
- Sommigen beschikken over een geluidsluwe ruimte, anderen kunnen zich niet terugtrekken.
- Verschillende mensen hadden het over het effect van een "klankkast". (mogelijk reflecties in bouwwerken in de directe omgeving).

Wanneer ondervindt men geluidsoverlast?

- Vooral hinder in de nachtperiode, anderen ervaren continu hinder.
- In de zomer verblijft men vaker buiten en slaapt men met de ramen open. In de herfst is er meer wind en daardoor meer overlast.

Wat is de invloed van de meteorologische omstandigheden?

- Bij harde wind is altijd sprake van overlast.
- Mensen die het dichtstbij wonen, hebben ook last van het kruien.
- Sommigen ervaren een grote invloed van de windrichting, anderen hebben er niet op gelet. (Windturbines kunnen mogelijk ander geluid maken als ze in het zog van een andere windturbine staan en het ritmische geluid van de bladen (amplitudemodulatie) kan in de ene richting sterker zijn dan in de andere)

Wat is de invloed van omgevingsgeluid op de hinder (mogelijke maskering)?

- In de Hoekse Waard is het erg stil. Bronnen die genoemd worden zijn ruisende bomen, wegen (rustig), kinderen op schoolplein, hangjongeren, landbouwmachines, veerpont, uienfabriek in Piershil.
- Alleen het ruisen van bomen kan het geluid van de windturbines enigszins maskeren. Anderen geven aan dat maskering niet helpt en dat het 's nachts bij de bodem niet waait.

Hoe heeft de hinder zich in de loop der tijd ontwikkeld?

- Geen van de ondervraagden geeft aan dat het geluid is gaan "wennen".
- Wel aanpassing van gewoontes: slapen met raam dicht (helpt een beetje), koptelefoon op, ruis van airco, ventilator, ander slaapkamer, verhuizen.

Hoe kan het karakter van het geluid worden omschreven?

- Typisch aerodynamisch geluid met meer of minder amplitudemodulatie.
- Geen aanwijzing voor structureel gondelgeluid, geen laagfrequent (LF) tonaal geluid.
- Wel gondelgeluid tijdens kruien (zoeken naar de wind, gevolgd door een "klap").
- In flow turbulentie speelt mogelijk een rol (zog-effecten: minder opbrengst maar meer geluid, variabele windcondities).
- Beleving van laagfrequent geluid is niet eenduidig. De één neemt laagfrequent geluid waar, de ander niet. Sommigen voelen het geluid (borst).
- Een enkeling spreekt over voelbare trillingen.

Op basis van de klachtenanalyse en bevindingen van de interviews is een meetplan opgesteld. Dit meetplan is voorgelegd aan de deelnemers van de omgevingsdialoog. De deelnemers zijn akkoord gegaan met het voorgestelde plan van aanpak. Hierbij wordt wel de kanttekening geplaatst dat een deel van de omwonenden diepgaand onderzoek verlangt naar de effecten van infrason geluid en tonaal laagfrequent geluid. Daarnaast hebben omwonenden de wens geuit om de metingen te benutten voor het vaststellen van dosis-effectrelaties. Deze aanvullende wensen van de omwonenden pasten echter niet binnen de scope van het immissieonderzoek.

4 Onderzoeksprogramma

Het onderzoek is gericht op de volgende deelvragen:

- Bij welke situaties is de ervaren hinder het sterkst?
- Wat is de geluidssituatie als de hinder het sterkst is?
- Hoe verhouden de gemeten geluidsniveaus zich tot de berekende waarden?

De metingen vonden plaats van 10 november 2022 tot en met 24 februari 2023. Het onderzoek omvat immissiemetingen op de gevel van drie woningen, geluidsmetingen achtereenvolgens in twee slaapkamers van één van deze woningen, meting van windsnelheid en -richting op alle drie locaties, meteogegevens van particuliere meteostations in de directe omgeving van het windpark, operationele windturbinedata afkomstig van de exploitant en dagelijkse responsies van 13 omwonenden over hinder en van de windturbines en over slaapkwaliteit.

4.1 Immissiemetingen voor de gevel

De metingen zijn verricht op drie locaties in de omgeving van het windpark:

- Middelstraat 12, Nieuw-Beijerland. De woning ligt in het gebied in Nieuw-Beijerland van waaruit in periode 2019-2022 de meeste geluidsklachten zijn gerapporteerd. De afstand tot SPU-5 bedraagt 740 meter. Vanwege de omliggende bebouwing is de locatie representatief voor woningen waar het geluid mogelijk wordt versterkt door reflecties van geluid door gevels van omringende bouwwerken. De meetpositie ligt beschut, waardoor het achtergrondgeluid en windgeruis hier laag is.
- Oudendijk 13, Nieuw-Beijerland: De woning ligt in het verlengde van de in lijn opgestelde windturbines en, gezien vanuit de richting Nieuw-Beijerland, op de kortste afstand van het windpark, namelijk op 410 meter oostelijk van SPU-5. De woning ligt in open terrein en de directe omgeving van de meetpositie bevat relatief veel vegetatie (riet en bomen). Hierdoor bestaat het risico op verstoring van de geluidsmetingen door windgeruis.
- Oudendijk 7, Piershil: De woning is haaks gesitueerd ten opzichte van de lijnopstelling van de windturbines. De dichtstbij gelegen windturbine is SPU-3 (570 meter), maar ook SPU-2 en SPU-4 liggen op betrekkelijke korte afstand (respectievelijk 640 en 840 meter). Deze woning wordt dus blootgesteld aan het geluid van meerdere windturbines, terwijl de woningen in Nieuw-Beijerland hoofdzakelijk te maken hebben met het geluid van SPU-5. In de omgeving van de meetpositie staan veel hoge bomen. Andere bronnen van stoorgeluid zijn de warmtepomp van de woning en geluid van dieren.

De ligging van de meetpunten is weergegeven in figuur 3.

De metingen zijn verricht op een hoogte van 1,5 meter boven het plaatselijke maaiveld op een afstand van 1 à 2 meter voor de gevel van de woning². Het geluid is geregistreerd met behulp van onbemande meetsystemen (type Yasmin), ieder voorzien van een computer, data-acquisitiesysteem, een klasse 1 buitenmeetmicrofoon en een ultrasone windsensor. Met de meetsystemen is het equivalente geluid (L_{Aeq}), het maximaal optredende geluidsniveau (L_{Amax}) en de 1/3 octaafbandniveaus continu geregistreerd met een interval van 10 seconde. Daarnaast zijn audio-opnamen gemaakt. Met behulp van deze opnamen is iedere 10 minuten een analyse gemaakt van de modulatie diepte van het geluid. Een deel van de opnamen is bewaard voor eventuele auditieve beoordeling achteraf.

² Om stoorgeluid door windgeruis zo veel mogelijk te beperken, is niet gekozen voor $h=5,0$ m.

Voor aanvang, tussentijds en na afloop van de metingen is de geluidsapparatuur gecontroleerd met behulp van een akoestische kalibrator. Hierbij zijn geen significante afwijkingen geconstateerd. Dit betekent dat de apparatuur naar behoren functioneerde.



figuur 3 *ligging van de immissiepunten ten opzichte van het windpark*

4.2 Geluidsmetingen in de slaapkamer

Bij één van de posities, namelijk Oudendijk 13, is niet alleen het geluid op de gevel (buitenshuis) vastgesteld, maar zijn ook metingen verricht binnenshuis. Hierbij is sequentieel gemeten in twee slaapkamers, beiden met zicht op het windpark. Slaapkamer 1 betreft een ruimte op de eerste verdieping in de oude schuur naast de oorspronkelijke woning. Deze ruimte was slecht geïsoleerd, maar is vlak voor aanvang van de metingen in het kader van het omgevingsfonds aanvullend geïsoleerd. Slaapkamer 2 is een kleinere kamer in het oorspronkelijke deel van de woning. In beide ruimtes zijn twee situaties onderzocht: met gesloten ramen en met geopende ventilatieroosters (slaapkamer 1), of het raam op een kierstand (slaapkamer 2, geen ventilatierooster aanwezig). In tabel IV is een overzicht opgenomen van het meetprogramma binnenshuis.



tabel IV overzicht metingen binnenshuis

aanduiding	omschrijving	van	tot en met	ventilatie
slaapkamer 1	grote slaapkamer	10-11-2022	05-12-2022	ventilatioerooster open
slaapkamer 1	grote slaapkamer	05-12-2022	29-12-2022	ventilatioerooster gesloten
slaapkamer 2	kleine slaapkamer	29-12-2022	10-02-2023	raam gesloten
slaapkamer 2	kleine slaapkamer	10-02-2023	24-02-2023	raam geopend

De metingen binnenshuis zijn verricht met een RION geluidmeter (type NA-27). In overeenstemming met de metingen buitenshuis is het equivalente geluid (L_{Aeq}), het maximaal optredende geluidsniveau (L_{Amax}) en de 1/3 octaafbandniveaus vastgesteld met een interval van 10 seconde. De meetintervallen liepen synchroon met de overige metingen.

4.3 Meteorologische gegevens

Bij de drie geluidsmetposten is eveneens de lokale windsnelheid en windrichting vastgesteld met ultrasone windsensoren. Het doel hiervan is het bepalen van de windtoestand op leefniveau. Dit wordt relevant geacht in verband met stoorgeluid en mogelijk maskering vanwege windgeruis van vegetatie. De metingen zijn verricht met Windsonic ultrasone windsensoren van Gill Instruments. De metingen zijn gedaan met een interval van 10 sec. De windsensoren zijn geplaatst op een mast met een hoogte van 4 meter ten opzichte van het lokale maaiveld.

Hiernaast is gebruik gemaakt van meteorologische gegevens afkomstig van lokale weerstations. Hiermee is bepaald in welke perioden sprake was van neerslag. Deze perioden zijn uitgesloten van analyse.

Tot slot zijn de meteorologische gegevens van de vijf windturbines benut (zie paragraaf 4.4). Iedere windturbine is uitgerust met een windmeter op de gondel. Deze gegevens geven inzicht in de windsnelheid en -richting en temperatuur op ashoogte.

4.4 Windturbinedata

Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van gegevens van de windturbines die door Eurus via een API ter beschikking zijn gesteld. Het betreft de productiegegevens van de vijf turbines, de windsnelheid en windrichting op ashoogte (gemeten met de anemometer op de gondel), de temperatuur en de stand van de gondel. De data was beschikbaar in een tijdsinterval van 5 en 10 minuten. Voor een nauwkeurige analyse zijn 10 seconden gegevens nodig. Een dergelijke nauwkeurigheid was echter niet voorhanden. Bij de verwerking van de gegevens hebben we rekening gehouden met verschillen in registratie CET versus UTC en starttijd versus eindtijd van het interval.

4.5 Onderzoek hinderbeleving

Om inzicht te krijgen in het effect van het geluid van de windturbines van windpark Spui op de hinder en slaap van de bewoners (n = 13), is er een longitudinaal kwantitatief onderzoek uitgevoerd. Hiertoe zijn de proefpersonen dagelijks uitgenodigd om een vragenlijst in te vullen over de perceptie van windturbinegeluid. Het verzamelen van de data vond plaats tussen 10 november 2022 en 24 februari 2023.

De proefpersonen zijn aangedragen door de vertegenwoordigers van de omwonenden in de omgevingsdialoog. De proefpersonen zijn representatief voor de groep geluidsgehinderden, maar niet per se van alle omwonenden van het windpark.

Het perceptieonderzoek is gefocust op de hinder en slaap van de bewoners. Hiervoor zijn twee verschillende vragenlijsten gebruikt. De eerste vragenlijst is éénmalig en geldt als nulmeting voor het onderzoek. Deze algemene vragenlijst is om de gevoeligheid voor geluid na te gaan, zodat hiervoor eventueel kan worden gecorrigeerd met de uitkomsten van de longitudinale vragenlijst. Om de gevoeligheid voor geluid na te gaan zijn zes vragen gesteld die te beantwoorden zijn met een 5-punts Likert schaal (Helemaal mee oneens [1] – Helemaal mee eens [5]). De vragen hebben betrekking op slaapverstoring door geluid en ontspanning/concentratieverstoring. De analyse van de algemene vragenlijst gaf geen aanleiding om voor de geluidsgevoeligheid van de participanten een extra factor mee te nemen. Alle antwoorden zijn dus in gelijke mate gewogen.

De longitudinale vragenlijst bestaat uit zeven vragen. De participanten kregen elke dag om 21:30 uur een vragenlijst toegestuurd via de mail, met het verzoek deze tussen 21:30 uur en 22:00 uur in te vullen.

Twee vragen gaan over de slaapscore van afgelopen nacht, inclusief de vraag of de participant die nacht thuis heeft geslapen. De participanten konden door middel van een 10-punts schaal een "cijfer" geven aan de slaap op basis van het in slaap kunnen vallen, het aantal keer wakker worden en het uitgerust wakker worden. Vervolgens zijn er drie vragen die gaan over de hinder van de mensen over het geluid van de windturbines rond 21:30 uur inclusief vragen om factoren uit te sluiten. Denk hierbij aan of mensen thuis zijn en of mensen de windturbines kunnen horen.

Voor de hindervraag is het format van ISO/TS15666 aangehouden: "Als u stil staat bij dit moment, welk getal van nul tot tien geeft het beste aan in welke mate u geërgerd, gestoord of gehinderd wordt door het geluid van de windturbines? Hierbij gaat het om uw geluidservaring in huis." Ook deze vraag is te beantwoorden met dezelfde schaal als hiervoor genoemd bij de slaapscore.

De slaapscore (van de juiste nacht) en de hinderscore worden vervolgens gekoppeld aan het gemeten geluidsniveau. Hiervoor is voor alle personen het meetpunt Middelstraat 12 aangehouden. Alle proefpersonen, één uitgezonderd, zijn woonachtig in Nieuw-Beijerland. Het adres van de respondent die niet woonachtig is Nieuw-Beijerland ligt haaks op de lijnopstelling van de windturbines (richting Piershil). Het aantal responsies van deze persoon was te klein om hinder te koppelen aan de metingen bij Oudendijk 7.

We benadrukken dat het longitudinale onderzoek niet als wetenschappelijk onderzoek kan worden aangemerkt. Een eventueel gevonden verband tussen bijvoorbeeld slaapverstoring en windturbinegeluid betekent niet dat dit verband wetenschappelijk is bewezen. De deelnemers aan het onderzoek zijn namelijk geselecteerd op basis van bekendheid met het dossier "geluidshinder van de windturbines" in plaats van willekeurige selectie. Omdat de proefpersonen mogelijk vooringenomen zijn ("bias"), kan dit leiden tot vertekening van de resultaten. Het longitudinale onderzoek is alleen bedoeld om de geluidssituatie bij windpark Spui te duiden. Hierbij gaat het om



fluctuaties in zelf gerapporteerde hinder en slaapkwaliteit en niet om absolute waarden. Hiervoor is het juist gunstig dat de steekproef uit ervaren gehinderden bestaat. Zodoende ontstaat naar verwachting een scherper beeld van de situatie waarin de omwonenden zich gehinderd voelen.

4.6 Bedrijfssituatie windpark

Gedurende het grootste deel van de onderzoeksperiode was het windpark normaal in bedrijf. Conform het normale regime stonden windturbines enkele momenten stil ter voorkoming van slagschaduw op nabijgelegen woningen. In de periode van 12 tot 15 december 2022 was het gehele windpark niet in bedrijf in verband met werkzaamheden aan het hoogspanningsnet door Stedin. In deze periode was, ook op ashoogte, sprake van weinig wind.

Op ons verzoek heeft Eurus alle windturbines van het windpark in de avond van 10 februari 2023 tussen 22:50 en 23:35 uur stopgezet. Het doel hiervan was het verschil in beeld te brengen van de geluidsniveau met en zonder windturbines. Conform de meteoprognozes zou de windsnelheid op ashoogte zodanig zijn dat het windpark op vol vermogen zou draaien. De werkelijke windsnelheid was echter lager dan voorspeld. De bedoeling was om te onderzoeken of een correctie voor het achtergrondgeluid mogelijk was. Dat bleek gezien de lage windsnelheden en hoge achtergrondniveaus niet zinvol.

Verder is door Eurus onderzocht of één van de windturbines ten behoeve van het onderzoek kon worden voorzien van een noise mode. Het plan was om te onderzoeken of het instellen van een noise mode leidt tot minder gerapporteerde hinder en slaapverstoring. Het instellen van een noise mode bleek echter niet haalbaar.

4.7 Variabelen in dataset

Ten behoeve van het onderzoek zijn verschillende datasets samengesteld. Voor het analyseren van gerapporteerde hinder zijn tijdreeksen geconstrueerd op basis van gemiddelde waarden in de periode waarover de vraag over hinder is gesteld ('s avonds van 21:30 tot 22:00). De tijdreeksen die gebruikt zijn voor het analyseren van de slaapkwaliteit bestaan uit gemiddelde waarden over de periode van 23:00 uur tot 03:00 uur. Voor de overige analyses is de data geaggregeerd met een interval van 10 minuten, hetgeen aansluit bij de beschikbaarheid van windturbinegegevens en de methode voor het bepalen van de modulatie diepte.

De datasets bestaan uit de volgende variabelen.

Geluid

Geluid is continu gemeten op drie posities voor de gevel en sequentieel in twee slaapkamers.

- A-gewogen geluidsniveau
De gevoeligheid van het menselijk gehoor is afhankelijk van de frequentie van het geluid. Lage tonen klinken bij dezelfde energie-inhoud minder luid dan tonen in het middengebied. Om geluid dat is opgebouwd uit verschillende frequenties als een ééngetalswaarde te kunnen beoordelen, wordt het zogenaamde A-filter gebruikt. Dit filter corrigeert voor de gevoeligheid van het gehoor. De beoordelingsmaten L_{den} en L_{night} zijn ook A-gewogen geluidsniveaus.
- A-gewogen geluidsniveau (31,5 Hz t/m 1 kHz) en 1/1 octaafbandniveaus
Bij het bepalen van het A-gewogen geluidsniveau wordt normaal geluid in negen 1/1 octaafbanden (31,5 Hz t/m 8 kHz) meegenomen. Om verstoring vanwege hoogfrequent windgeruis te onderdrukken, zijn de drie hoogste 1/1 octaafbanden buiten beschouwing gelaten.
- 1/3 en octaafbandniveaus
Het is gebruikelijk om laagfrequent geluid voor iedere relevante 1/3 octaafbandband afzonderlijk

te beoordelen. Bij het voorliggende onderzoek onderzoeken we de relaties tussen hinder en slaapverstoring en de 1/3 octaafbanden van 25 tot en met 200 Hz. Het is gebruikelijk om dit zonder A-weging, dus lineair te doen.

- **Modulatiediepte (alleen bij metingen buitenshuis)**
Een kenmerkend aspect van windturbines is het repeterende geluid van de wiekslag. Dit fenomeen wordt aangeduid met de term amplitudemodulatie (AM). Verondersteld wordt dat de mate van AM, de modulatiediepte, van invloed is op de ervaren hinder. AM is waarschijnlijk het sterkst als de windgradiënt groot is en de rotorbladen in de hogere luchtlagen in overtrekconditie terecht komen. De Amplitude Modulation working Group (AMWG) heeft een methode ontwikkeld om AM te kwantificeren³. De beoordeling vindt plaats in perioden van 10 minuten. De methode van AMWG onderscheidt analyse van AM in drie verschillende frequentiebanden: 50 tot 200 Hz, 100 tot 400 Hz en 200 tot 800 Hz. De frequentieband die de hoogste waarde geeft, wordt gebruikt voor verdere analyse. De methodiek gaat als volgt in zijn werk:
 1. Tijdreeksen met een sample rate van 100 ms van A-gewogen 1/3-octaf L_{Aeq} geluidsniveaus worden opgesplitst in blokken van 10 seconden. Dit wordt gedaan voor de drie boven beschreven frequentiebanden.
 2. Ter verkrijging van een modulatiespectrum wordt de tijdreeks door middel van FFT getransformeerd naar het frequentiedomein
 3. Als er een duidelijke piek aanwezig is met frequentie in het bereik van het rotortoerental van de windturbine, wordt een 'window' (filter) om die frequentie, inclusief hogere harmonischen gelegd.
 4. Vervolgens wordt op het gefilterde spectrum een inverse FFT toegepast. Zodoende wordt een gefilterde tijdreeks geconstrueerd.
 5. Uit de gefilterde tijdreeks wordt de modulatiediepte bepaald als het verschil tussen de waarden L_5 en L_{95} van de gesynthetiseerde tijdreeks.
 6. Per periode van 10 minuten wordt een statistische waarde voor de modulatiediepte berekend uit de 10-seconden tijdreeksen.

De methode van AMWG is niet onomstreden, maar is naar ons oordeel het beste wat beschikbaar is en geschikt voor de doel van het onderzoek

Lokale meteogegevens

Lokale meteogegevens zijn afkomstig van eigen metingen op drie posities, openbare informatie van lokale weerstations en van metingen op de gondels van de windturbines.

- Windsnelheid
Op h=4 meter in m/s
- Maximale windsnelheid
Op h=4 meter in m/s
- Windrichting
Op h=4 meter in graden
- Neerslag
In mm per tijdseenheid, afkomstig van lokale meteostations
- Windsnelheid
Op h=135 meter in m/s, afkomstig van SPU-1 t/m SPU-5
- Windrichting
Op h=135 meter in graden, afkomstig van SPU-1 t/m SPU-5
- Luchttemperatuur
Op h=135 meter in m/s, afkomstig van SPU-1 t/m SPU-5
- Windshear
Verhouding tussen de windsnelheid op 135 meter en de windsnelheid op 4 meter.

³ A Method for Rating Amplitude Modulation in Wind Turbine Noise, IOA Noise Working Group (Wind Turbine Noise) Amplitude Modulation Working Group, 9 Aug 20161



Perceptie van proefpersonen

Dagelijkse responsies van een groep van 13 proefpersonen

- Gerapporteerde hinder binnenshuis
10-puntsschaal van geen hinder [0] tot extreem veel hinder [10]
- Gerapporteerde slaapkwaliteit
10-puntsschaal van zeer slecht [0] – zeer goed [10]
- Gerapporteerde hoorbaarheid van de windturbines
Wel/Niet hoorbaar

Windturbinedata

Door Eurus ter beschikking gesteld ten behoeve van het onderzoek

- Positie van de gondel
in graden
- Rotorsnelheid
in omwentelingen per minuut
- Geleverd elektrisch vermogen
in kW

5 Resultaten en analyse

5.1 Illustratie gemeten geluidsniveaus

Een eerste beeld van de geluidssituatie in de omgeving van windpark Spui schetsen we aan de hand van de gemeten geluidsniveaus en de windsnelheid op ashoogte op twee markante dagen. De gepresenteerde geluidsniveaus zijn de equivalente geluidsniveaus, gemiddeld over intervallen van 10 minuten. Deze waarden zijn inclusief stoorgeluid vanwege onder meer windgeruis. Bij de buiten opgestelde microfoons is tevens sprake van een gevelreflectie, waardoor het geluidsniveau circa 3 dB hoger is dan het direct invallende geluid.

De windsnelheid op ashoogte kan nauwkeurig worden bepaald op basis van de geleverde elektrische energie en de power curve van de windturbine. In de buurt van het maximale vermogen werkt deze methode echter niet. Daarom zijn bij dit onderzoek de meetwaarden van de anemometer van de windturbine gebruikt als maat voor de windsnelheid op ashoogte. Deze waarden kunnen iets afwijken van de werkelijke windsnelheid omdat de meting wordt beïnvloed door het draaien van de rotor. Voor dit onderzoek achten we de nauwkeurigheid echter voldoende.

Dag 1: 23 december 2022

De eerste dag betreft 23 december 2022 (figuur 4). Op dat moment werd het binnenniveau gemeten in slaapkamer 1, waarbij de ventilatieroosters dicht stonden.

Op 23 december 2022 zijn diverse momenten aan te wijzen waarop de windsnelheid op ashoogte bij de meest westelijk gelegen windturbine (SPU-1) hoger was dan bij de andere windturbines. Dit geldt vooral voor een groot deel van de avondperiode. De verklaring hiervoor is dat de windrichting op deze momenten WZW was, gelijk aan de denkbeeldig lijn tussen de vijf windturbines. Bij deze windrichting staan SPU-2 t/m SPU-5 in het zog van SPU-1, wat een leidt tot verstoring van de luchtstroming.

De respondenten beoordeelden de slaapkwaliteit in de nacht van 23 december met een gemiddelde score van 3,8. Rond 01:00 uur was de geluidsbelasting 47 dB(A) bij Oudendijk 13, 40 dB(A) bij Middelstraat 12 en 45 dB(A) bij Oudendijk 7. Deze waarden zijn 4, 2 en 2 dB hoger⁴ dan op grond van de berekeningen kan worden verwacht (zie tabel II). Het binnenniveau in de slaapkamer van Oudendijk 13 bedraagt op dat moment 23 dB(A). Dit betekent dat de gevelisolatie van slaapkamer 1 met gesloten ventilatieroosters en met het dan optredende geluidsspectrum ongeveer 21 dB bedraagt ($47-23-3^5$). Na 01:30 uur daalde de windsnelheid gestaag tot 6 m/s om circa 04:00. Dit gaat gepaard met een afname van de geluidsniveaus op de gevel met ongeveer 7 dB. Dit komt globaal overeen met de berekende afname (zie de verschillen tussen 10 en 6 m/s in tabel II). De daling in de slaapkamer is duidelijk minder groot. Dit wordt veroorzaakt doordat het dan zo stil is dat geluidsbronnen in de woning een rol gaan spelen.

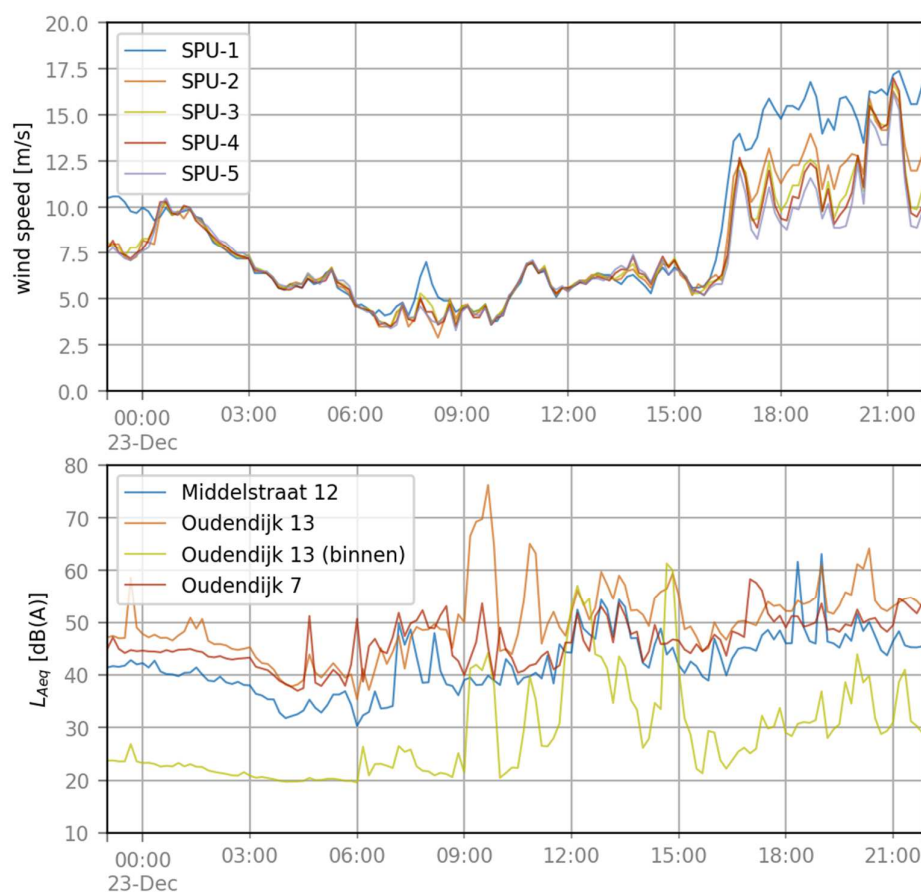
In de dagperiode is het geluid van het windpark niet te herkennen in het verloop van de geluidsniveaus. Dit wordt niet alleen veroorzaakt doordat de windsnelheid relatief laag is. Ook bij hoge windsnelheden en een hogere geluidsproductie door de windturbines geldt dat overdag omgevingsgeluiden het geluidsniveau van de windturbines overstemmen⁶.

⁴ Zie paragraaf 5.8 voor een nadere analyse van het verschil tussen meten en rekenen.

⁵ -3 dB vanwege gevelcorrectie

⁶ Dit wil niet zeggen dat de windturbines dan niet hoorbaar zijn.

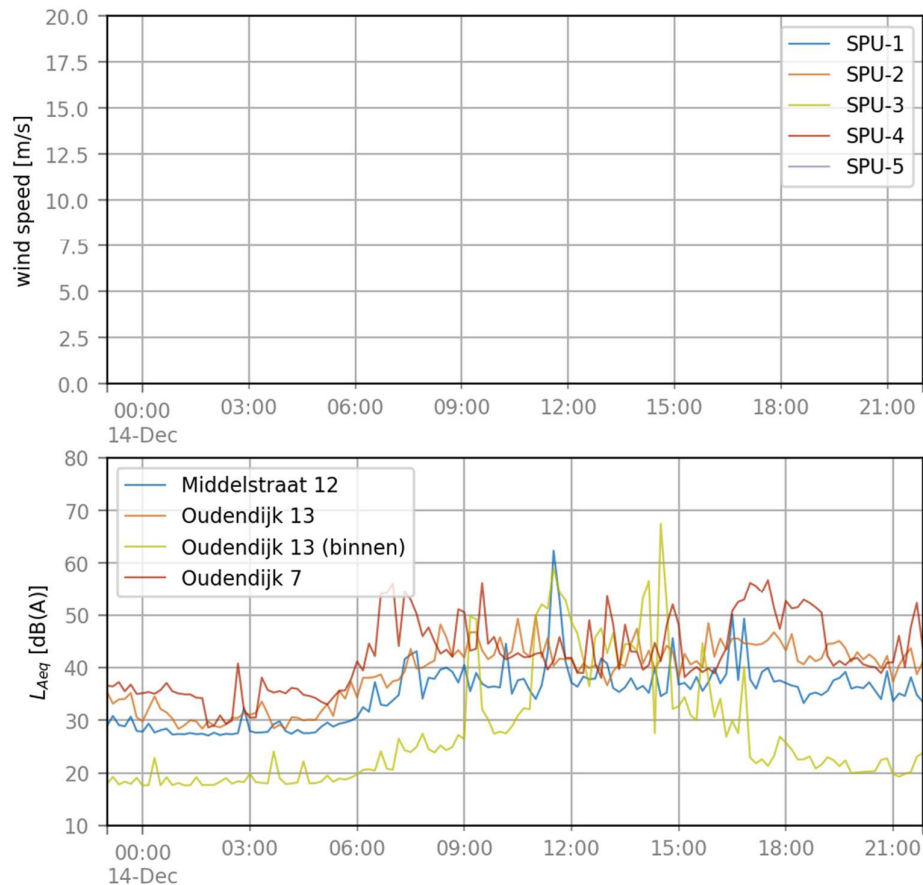
De respondenten beoordeelden het geluid in de avondperiode als relatief hinderlijk (gemiddelde score: 7,2). In die periode was de windsnelheid hoog, wisselend van ca 10 tot 17 m/s. Bij dergelijke windsnelheden is de geluidsproductie vrijwel maximaal. Behoudens pieken die niet aan het windpark toe kunnen worden geschreven was de geluidsbelasting 53 dB(A) bij Oudendijk 13, 50 dB(A) bij Oudendijk 7 en 48 dB(A) bij Middelstraat 12. In deze situatie is sprake van veel windgeruis door vegetatie. Dit verklaart waarom de gemeten waarden hoger zijn dan op grond van tabel II kan worden verwacht.



figuur 4 windsnelheid op ashoogte en equivalent geluidsniveau inclusief gevelreflectie op 23 december 2022

Dag 2: 14 december 2022

In figuur 5 zien we het verloop van de geluidsniveaus die zijn gemeten op 14 december 2022. Op deze dag stonden de windturbines volledig uitgeschakeld. Daarom is geen exacte informatie beschikbaar over de windsnelheid op ashoogte. Bij Oudendijk 7 zien we de invloed van een warmtepomp. Maar als deze niet aan staat duikt het equivalente geluidsniveau, net als bij de andere meetpunten, onder 30 dB(A).



figuur 5 windsnelheid op ashoogte en equivalent geluidsniveau inclusief gevelreflectie op 23 december 2022

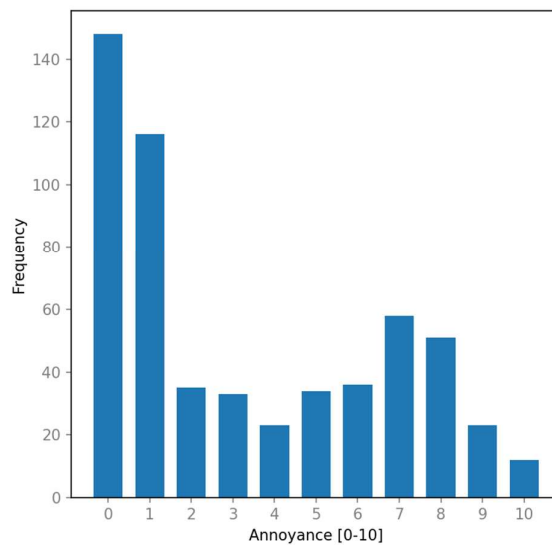
5.2 Scores hinder en slaapkwaliteit

De vragenlijst behorende bij het perceptieonderzoek is in totaal 596 keer ingevuld, ofwel gemiddeld bijna 6 keer per dag. Eén van de beoogde respondenten heeft deelname aan het onderzoek direct na aanvang gestaakt. De reden die hiervoor werd opgegeven is dat de isolatie van de woning recentelijk was verbeterd, waarna de geluidshinder vanwege de windturbines is opgelost.

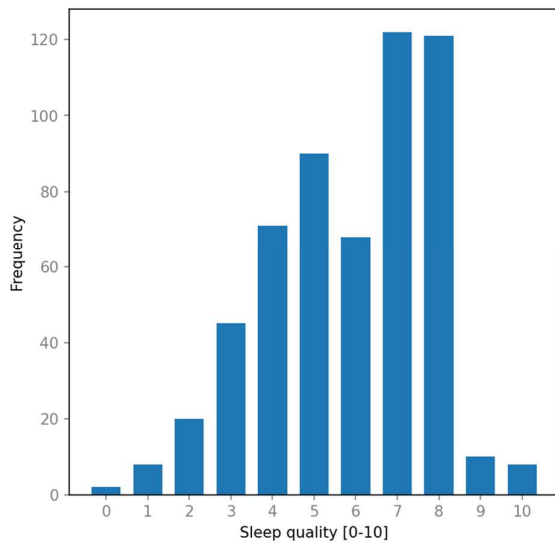
De verdeling van de antwoorden op de vragen over hinder vanwege het windpark, de slaapkwaliteit en de hoorbaarheid van de windturbines is weergegeven in figuur 6 tot en met figuur 8. Uit de figuren kan worden opgemaakt dat de hinderlijkheid van de windturbines in bijna 15% van de gevallen werd gescoord met een cijfer 8 of hoger. Een dergelijke score wordt normaliter geassocieerd met "ernstige hinder". Negen van de dertien proefpersonen hebben de hinderlijkheid van het geluid op enig moment in de proefperiode beoordeeld met een cijfer 8.

De slaapkwaliteit werd in ongeveer 45% van de gevallen met een cijfer 5 of lager beoordeeld. Hierbij moet worden aangetekend dat de respondenten op diverse momenten opmerkten dat de slechte slaapkwaliteit niet werd veroorzaakt door de windturbines, maar dat ook andere factoren een rol speelden.

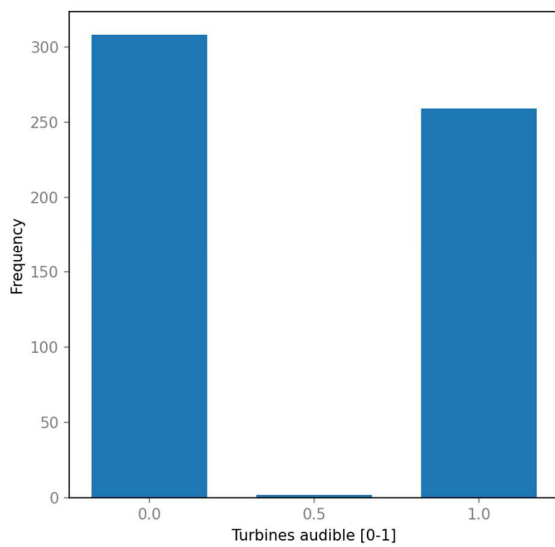
Uit figuur 8 blijkt verder blijkt dat de windturbines voor de proefpersonen iets minder vaak wel dan niet hoorbaar waren.



figuur 6 histogram van de scores behorende bij de vraag over hinder vanwege de windturbines (van geen hinder [0] tot extreme hinder [10])



figuur 7 *histogram van de scores behorende bij de vraag over slaapkwaliteit (van zeer slecht [0] tot zeer goed [10])*



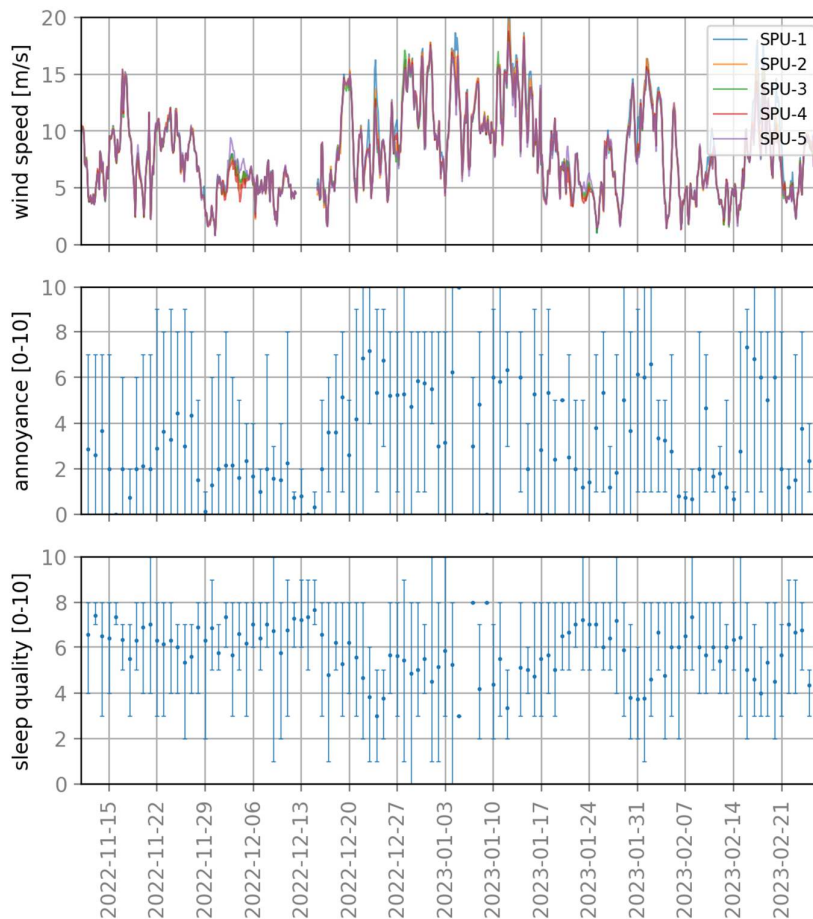
figuur 8 *histogram van de scores behorende bij de vraag over waarneembaarheid (niet waarneembaar [0], wel waarneembaar [1], onbekend [0,5])*

De antwoorden op de vragen over hinderlijkheid, slaapkwaliteit zijn vervolgens per kalenderdag rekenkundig gemiddeld.

De tijdreeksen zijn weergegeven in figuur 9. Als maat voor de geluidsproductie van de windturbines bevatten de figuren tevens de windsnelheid op ashoogte (gemiddeld over tijdvakken van drie uur), geregistreerd met de anemometers op de windturbines. Deze figuur geeft een eerste beeld van de samenhang tussen hinderlijkheid, slaapkwaliteit en hoorbaarheid.

De “error bars” in de grafieken over hinder en slaapkwaliteit vertonen de laagste en de hoogste score van die dag. We zien dat de beoordeling van de respondenten een behoorlijk grote spreiding vertoont, vooral voor het aspect hinder.

Uit de figuur blijkt dat de eerste twee weken van december windarm waren. In die periode, waarin de windturbines ook twee dagen niet draaiden in verband met onderhoud aan het net, geven de respondenten aan zich niet of nauwelijks gehinderd te voelen en is de gerapporteerde slaapkwaliteit goed. De daarop volgende periode is windrijk en is tevens de hinder relatief hoog en de slaapkwaliteit laag.



figuur 9 *tijdreeksen van de dagelijkse scores van hinder en slaapkwaliteit, vergeleken met de windsnelheid op ashoogte van de windturbines*

5.3

Correlatiematrix

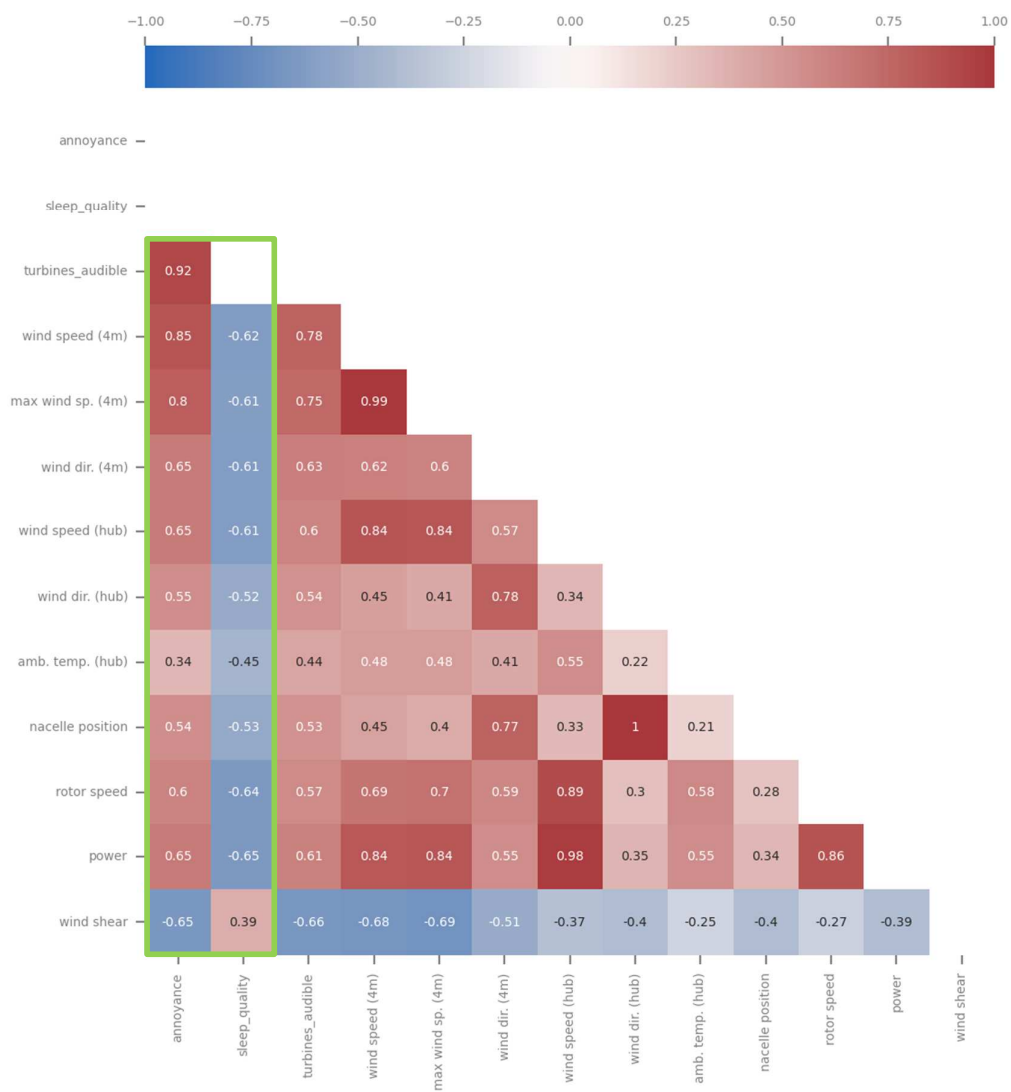
Om inzicht te krijgen in de relaties tussen de verschillende variabelen (geluid, perceptie, meteo en turbinedata) zijn correlatiematrices samengesteld. Een correlatiematrix kan worden gebruikt om aan te geven hoe sterk de relatie is tussen elke combinatie van variabelen die in de matrix voorkomen. Zo kunnen we zien welke variabelen met elkaar samenhangen en welke niet. De matrix toont bijvoorbeeld of de zelf gerapporteerde hinder verband houdt met een hoge A-gewogen geluidsbelasting. Als een hogere geluidsbelasting leidt tot meer hinder, is dat positief gecorreleerd. De waarde van de correlatiecoëfficiënt r ligt dan tussen 0 en 1. Als er sprake is van een negatieve correlatie (r tussen -1 en 0) neemt de ene variabele toe als de ander afneemt. Dat laatste is te verwachten bij de relatie tussen de variabelen geluidsbelasting en slaapkwaliteit. Als er geen verband is tussen de variabelen bedraagt $r = 0$.

Een hoge correlatiecoëfficiënt tussen twee variabelen betekent overigens niet automatisch dat een oorzaak-gevolg relatie (causaal verband) tussen de variabelen bestaat. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat er een andere variabele is die de relatie tussen de twee variabelen verklaart.

Analyse van het verband tussen hinder en de andere variabelen is gebaseerd op de dataset die is samengesteld voor de perioden van 21:30 tot 22:00 uur 's avonds. De verbanden tussen slaapkwaliteit en de andere variabelen is afgeleid van de set gegevens over de periode van 23:00 uur tot 03:00 uur. De andere verbanden zijn bepaald met de 10 minuten data.

Alle datasets zijn gefilterd. Perioden met neerslag zijn uitgesloten van analyse. Om verstoring van het effect van windgeruis zo veel mogelijk te voorkomen zijn datapunten met een hoge windsnelheid op $h=4$ groter eveneens niet meegenomen in de analyse.

De relaties tussen perceptie (zelf gerapporteerde hinder en slaapkwaliteit), meteorologische variabelen en windturbinedata zijn weergegeven in figuur 10. Hoe sterker het verband, hoe hoger de intensiteit van de kleur van de cel op het snijpunt van de twee variabelen. Rood staat voor een positief verband en blauw voor een negatief verband. De matrix bevat een aantal evidente verbanden. Zo zien we een zeer sterke relatie tussen de windrichting en de stand van de gondel. Dit is logisch omdat de kruimotor er voor zorgt dat de gondel steeds zo wordt gepositioneerd dat de rotor op de wind is gericht. In het kader van het onderzoek zijn we vooral geïnteresseerd in de relaties tussen de verschillende variabelen met hinder en slaapkwaliteit. Deze variabelen zijn groen omlijnd.

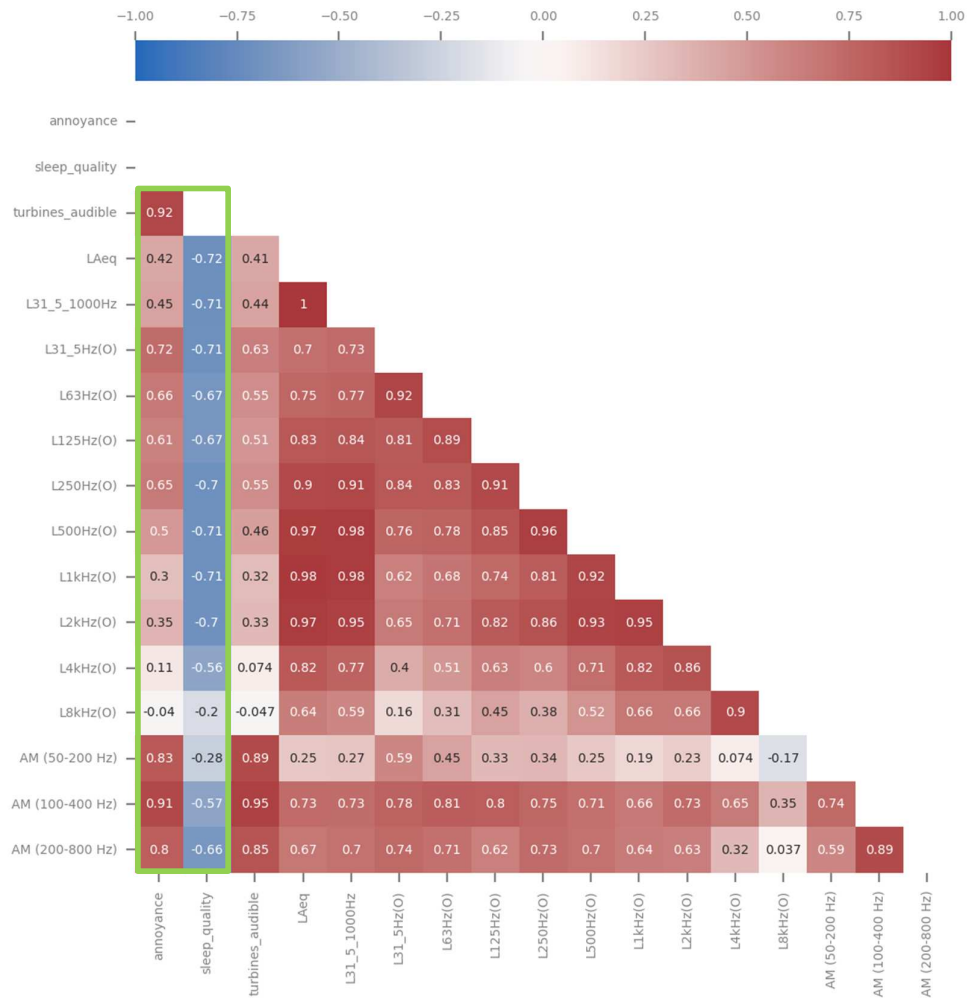


figuur 10 correlatiematrix van de variabelen over perceptie, meteo- en turbinegegevens

In de correlatiematrix valt onder meer het volgende op:

- De relatie tussen hinder en windsnelheid is positief gecorreleerd. Dit geldt voor de windsnelheid op ashoogte ($h=135$ m) en voor de windsnelheid op leefniveau ($h=4$ m). Het is opmerkelijk dat het verband met de windsnelheid op 4 meter hoogte sterker lijkt dan het verband met de windsnelheid op 135 meter hoogte.
- Er bestaat een positief verband tussen hinder enerzijds en windrichting anderzijds. Mogelijk wordt dit mede veroorzaakt doordat de sterkste winden overwegend uit een bepaalde richting komen. In dat geval zou ook een sterk verband worden verwacht tussen windsnelheid en positie van de gondel. Dat verband lijkt echter niet zo sterk.
- Hinder en wind shear zijn niet positief gecorreleerd. Dit is opvallend, want een hoge wind shear levert in verhouding tot de situatie op ashoogte een lage windsnelheid bij de bodem, ofwel weinig maskering door windgeruis.
- Slaapkwaliteit is negatief gecorreleerd aan windsnelheid, geleverd elektrisch vermogen en windrichting. De verbanden zijn echter duidelijk minder sterk dan de verbanden met hinder. Dat ligt voor de hand omdat een slechte slaapkwaliteit, zoals ook door de respondenten is aangegeven, ook andere factoren dan windturbinegeluid een rol kunnen spelen.

De relaties tussen perceptie (hinder en slaapkwaliteit) en de geluidsvariabelen zijn weergegeven in figuur 10. Alle geluidsgegevens hebben betrekking op de situatie bij het meetpunt Middelstraat 12. Deze meetlocatie ligt in het centrum van het woongebied van de respondenten en achten we vanwege de beschutte ligging het meest geschikt om de geluidsbelasting van het windpark te duiden.



figuur 11 correlatiematrix van de variabelen over perceptie, meteo- en turbinegegevens.

Uit figuur 11 blijkt onder meer het volgende:

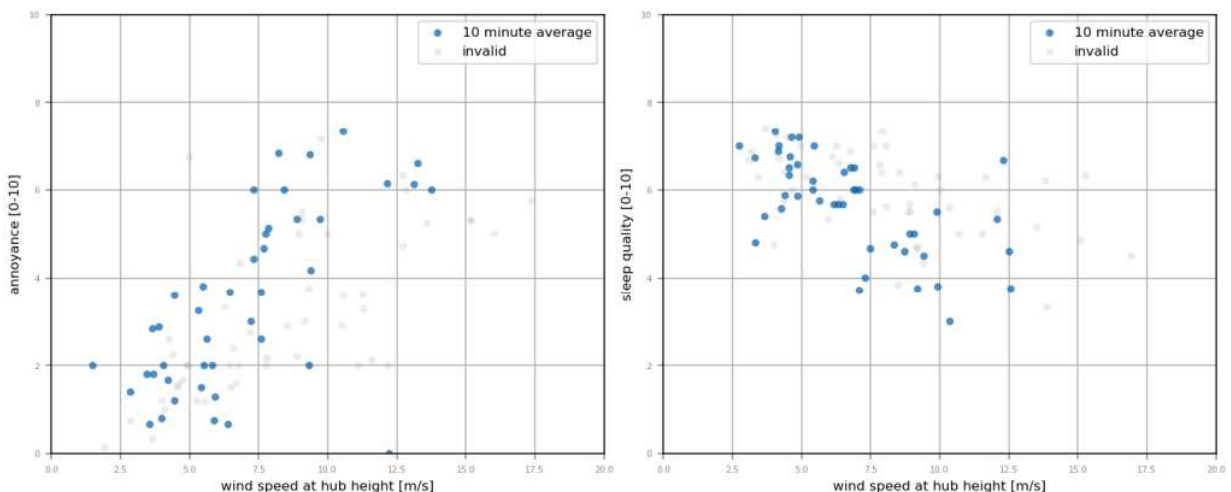
- Het verband tussen amplitude modulatie (AM) en hinder lijkt vrij sterk. Dit duidt er op dat dit fenomeen, zoals verwacht, een belangrijke factor is voor de hinderbeleving.
- Het verband tussen de vijf laagste 1/1 octaafbanden (31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz en 500 Hz) en hinder is veel sterker dan het verband tussen de vier hoogste octaafbanden (1, 2, 4 en 8 kHz). Dit is in lijn met de hypothese dat de laagste frequentiebanden bepalend zijn voor de hinderbeleving.

5.4 Scatter plots

De meest interessante relaties tussen variabelen die gevonden zijn in paragraaf 5.3, zijn inzichtelijk gemaakt in scatter plots. In een scatter plot worden de waarden van de ene variabele op de horizontale as gezet en de waarden van de andere variabele op de verticale as. Indien de variabelen afhankelijk zijn, is in de scatter plots een duidelijk patroon of trend zichtbaar, bijvoorbeeld een rechte lijn. Als de punten min of meer willekeurig over de grafiek zijn verspreid, is er waarschijnlijk geen sprake van een relatie.

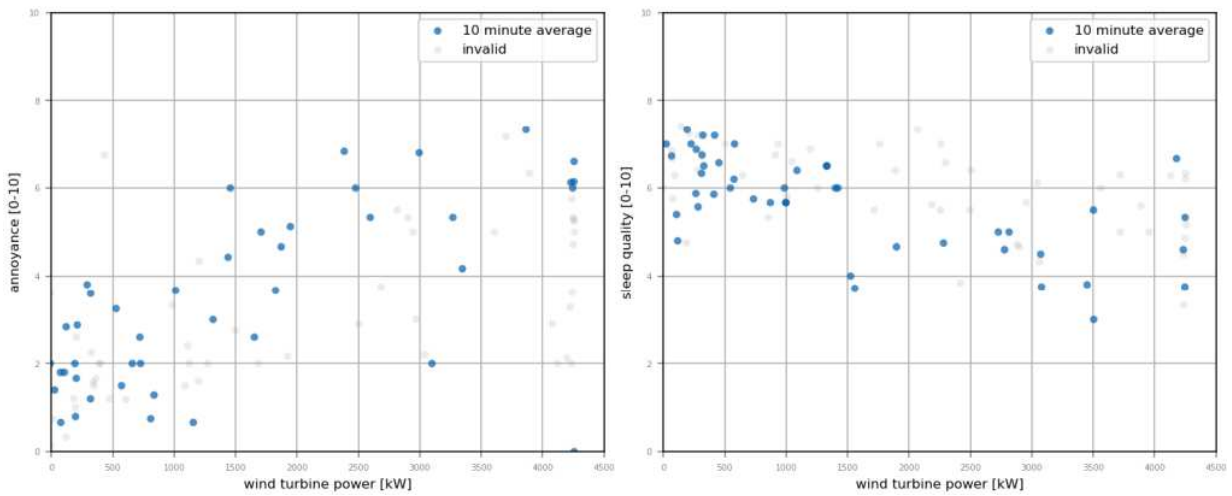
Met meervoudige regressie analyse kunnen de verbanden tussen de variabelen worden gekwantificeerd en is het mogelijk om te voorspellen wat de waarde van de afhankelijke variabele zal zijn op basis van de waarden van de onafhankelijke variabelen. Omdat de metingen bedoeld zijn om inzicht te geven in de relaties en niet om relaties te kwantificeren is geen regressie analyse uitgevoerd.

In figuur 12 tot en met figuur 19 zijn de relaties tussen de variabelen windsnelheid op ashoogte, windsnelheid op 4 meter hoogte, windrichting, wind shear, elektrisch vermogen, L_{Aeq} , L_{Aeq} (31.5-1000Hz) en amplitudemodulatie enerzijds en gemiddelde hinder en slaapkwaliteit anderzijds grafisch weergegeven. Voor de scatter plots met octaafbandwaarden verwijzen we naar Bijlage A.

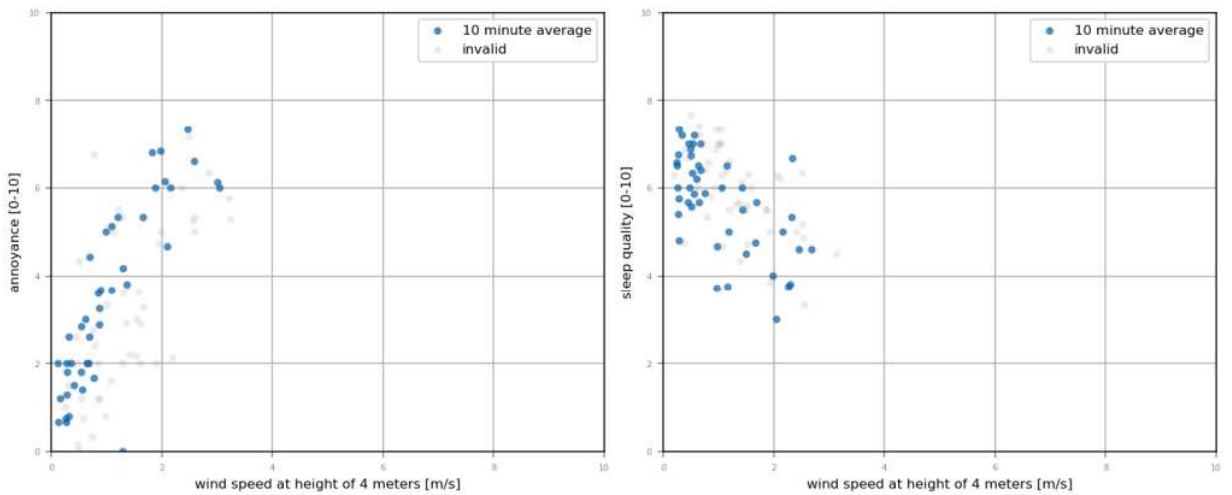


figuur 12

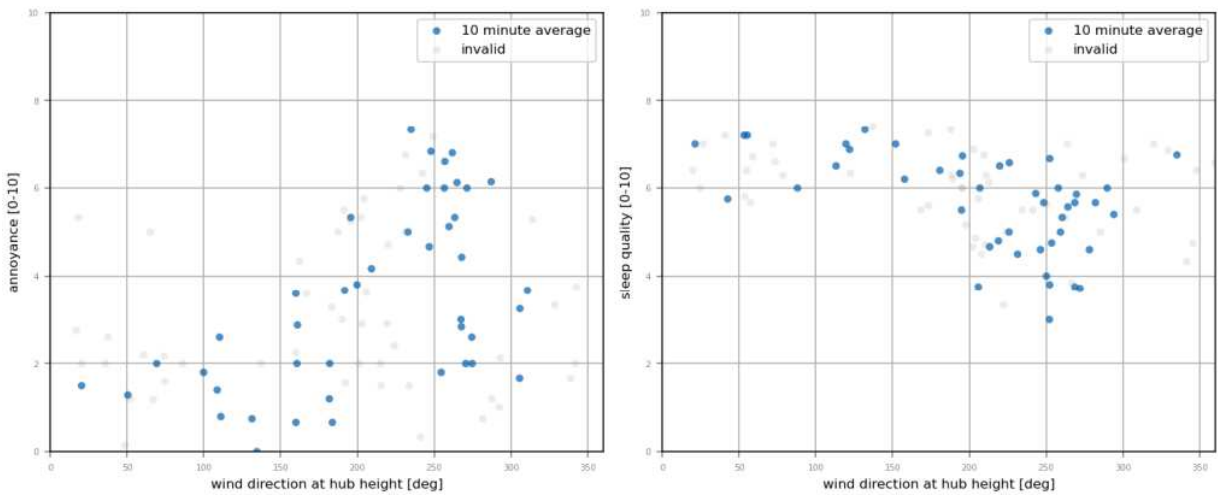
scatter plot: relatie tussen windsnelheid op ashoogte en hinder (links) en windsnelheid op ashoogte en slaapkwaliteit (rechts)



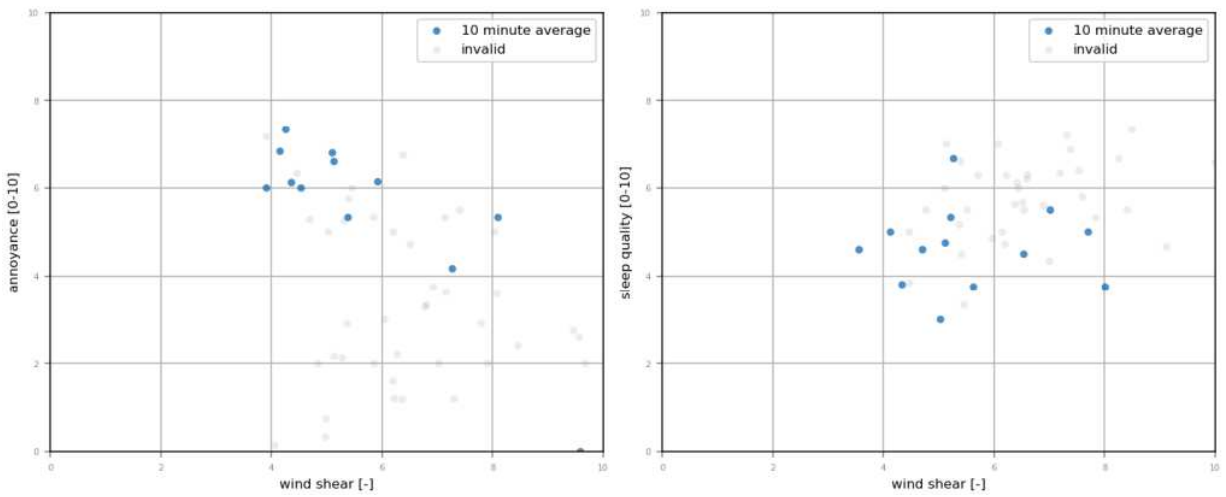
figuur 13 scatter plot: relatie tussen elektrisch vermogen en hinder (links) en elektrisch vermogen en slaapkwaliteit (rechts)



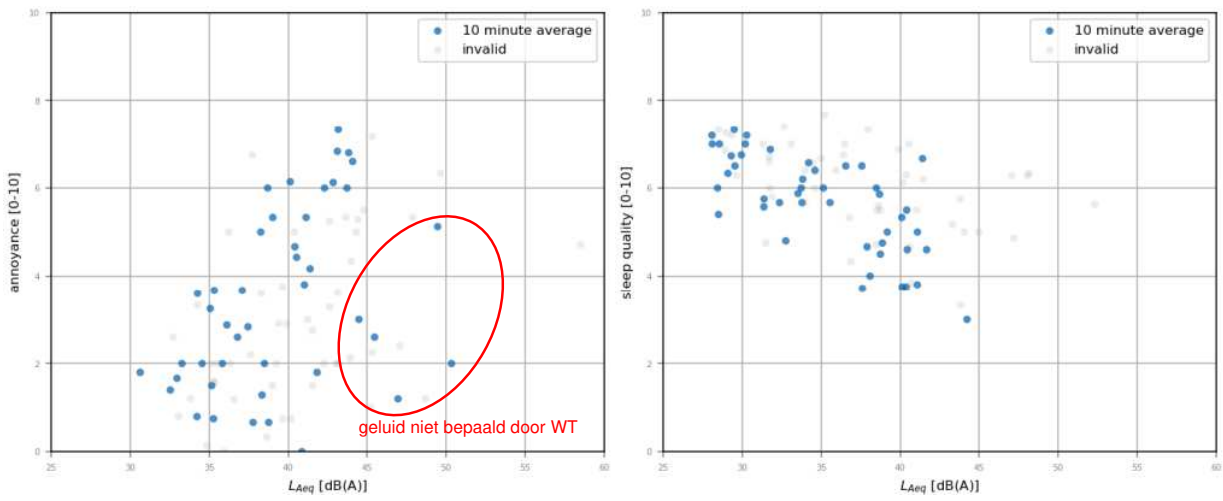
figuur 14 scatter plot: relatie tussen windsnelheid op 4 meter hoogte en hinder (links) en windsnelheid op 4 meter hoogte en slaapkwaliteit (rechts)



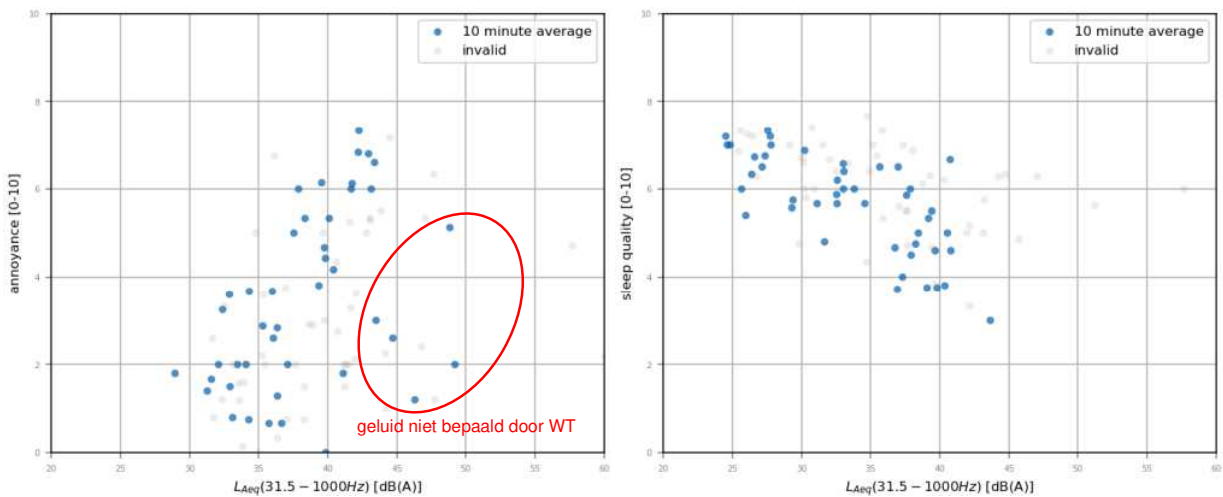
figuur 15 scatter plot: relatie tussen windrichting en hinder (links) en windrichting en slaapkwaliteit (rechts)



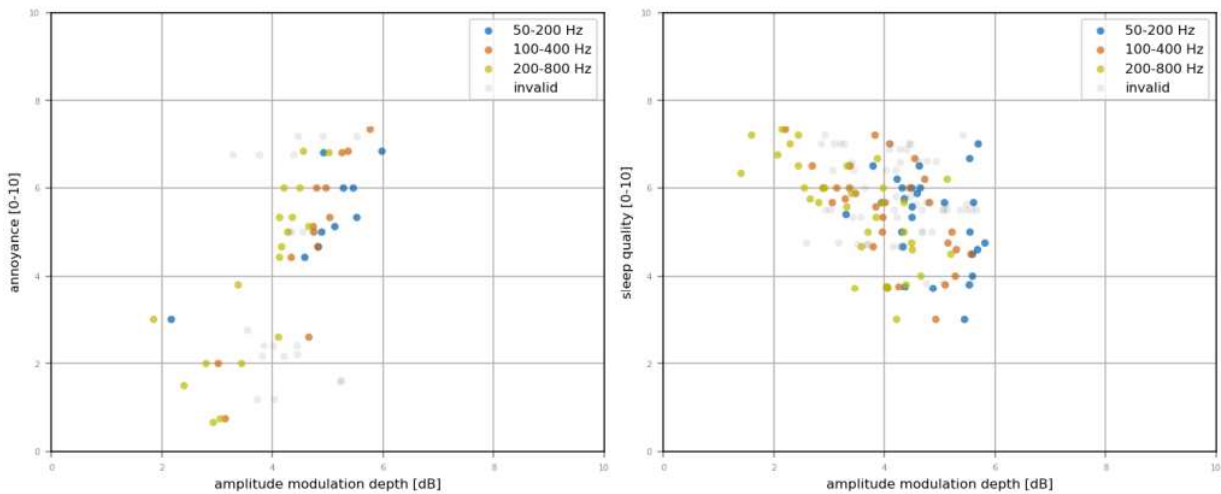
figuur 16 scatter plot: relatie tussen wind shear en hinder (links) en wind shear en slaapkwaliteit (rechts)



figuur 17 scatter plot: relatie tussen L_{Aeq} en hinder (links) en L_{Aeq} en slaapkwaliteit (rechts)



figuur 18 scatter plot: relatie tussen $L_{Aeq(31.5-1000Hz)}$ en hinder (links) en $L_{Aeq(31.5-1000Hz)}$ en slaapkwaliteit (rechts)



figuur 19 scatter plot: relatie tussen amplitudemodulatie en hinder (links) en amplitudemodulatie en slaapkwaliteit (rechts)

Hoewel de spreiding van de datapunten in de puntenwolken over het algemeen relatief groot is, zijn wel een aantal trends zichtbaar:

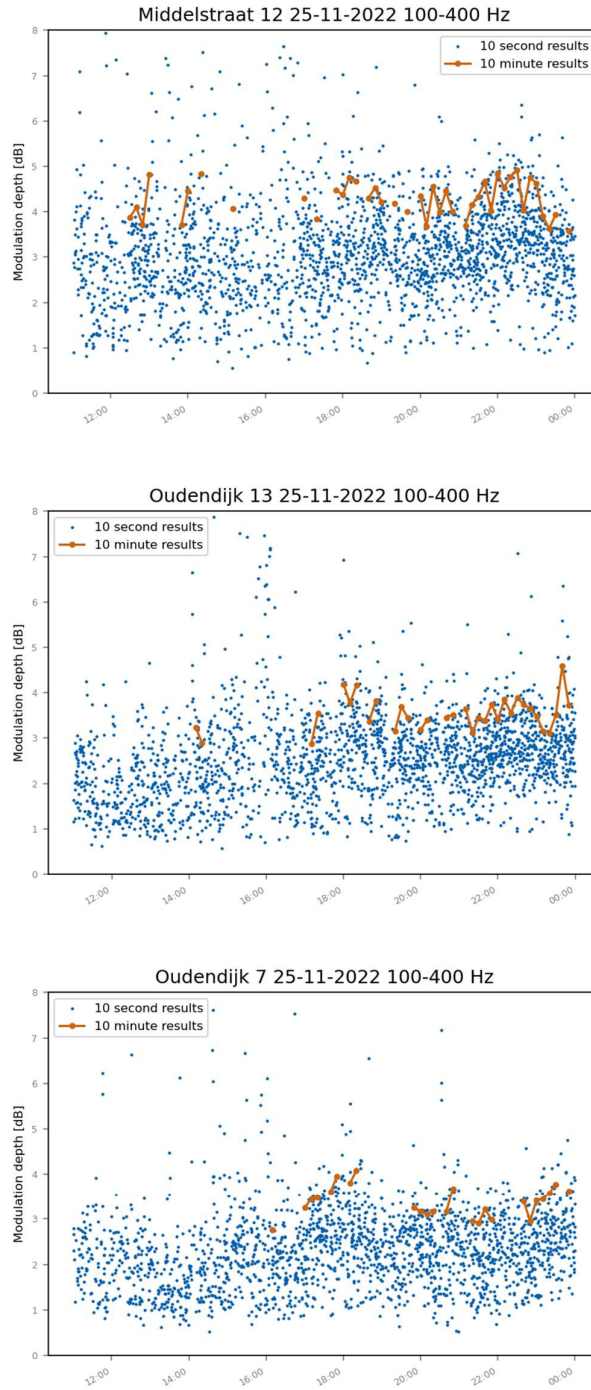
- figuur 12: Er is een relatief duidelijk positief verband tussen windsnelheid op ashoogte en hinder/slaapkwaliteit. Bij een windsnelheid van ongeveer 8 m/s bestaat al een gerede kans op een gemiddelde hinderscore van 6 of hoger. Bij die windsnelheid is de geluidsproductie van circa 3 dB lager dan wanneer de windturbines voluit draaien (zie tabel I). Een windsnelheid van 8 m/s lijkt ook een kantelpunt voor de zelf gerapporteerde slaapkwaliteit. Onder 8 m/s wordt gemiddeld een voldoende gescoord, boven 8 m/s gemiddeld een onvoldoende.
- figuur 13: De relatie tussen geleverd elektrisch vermogen en hinder/slaapkwaliteit komt overeen met het verband tussen windsnelheid op ashoogte en hinder/slaapkwaliteit. Dat is conform verwachting. Windsnelheid op ashoogte en geleverd elektrisch vermogen zijn immers sterk gecorreleerd. Het "kantelpunt" lijkt hier bij circa 2.000 kW te liggen.
- figuur 14: De punten in de scatter plots met de windsnelheid op 4 meter liggen minder verspreid dan in de plots met de windsnelheid op ashoogte. Hiervoor is geen verklaring gevonden.
- figuur 15: De scatter plots met windrichting en hinder en windrichting en slaapverstoring vertonen een piek respectievelijk dal bij ongeveer 250 graden (windrichting WZW). Bij deze windrichting staan de windturbines in het zog van de benedenwinds opgestelde windturbines. Regressie analyse kan uitwijzen of er een causaal verband bestaat of dat de winden uit die richting bij toeval sterker waren dan uit andere richtingen.
- figuur 16: De scatter plots met de variabele wind shear vertonen geen duidelijke verbanden. Dat is opvallend want een hoge waarde van de wind shear betekent
- figuur 17: De relaties met L_{Aeq} corresponderen met die met de windsnelheid en elektrisch vermogen. Bij de scatter plot die is gerelateerd aan hinder liggen de punten meer verspreid dan bij die met slaapkwaliteit. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de vraag over hinder is betrokken op de avond en over slaapkwaliteit op de nacht, waarin minder omgevingsgeluid aanwezig is. Bij een aantal datapunten in de grafiek over hinder is de geluidsbelasting zo hoog (>45 dB(A)) dat zeer waarschijnlijk sprake is van stoorgeluid. Deze punten zijn rood omcirkeld.
- figuur 18: De relaties met de geluidsniveaus zonder 2, 4 en 8 kHz octaafbanden vertonen geen duidelijk ander beeld dan die van de geluidsniveaus met het volledige spectrum (figuur 17).
- figuur 19: De verbanden tussen amplitudemodulatie enerzijds en hinder en slaapkwaliteit anderzijds lijken significant. De gemiddelde modulatie diepte kan oplopen tot 6 dB. Bij een modulatie diepte van 4 dB of kleiner is de gerapporteerde hinder duidelijk minder sterk.

5.5 Karakter van het geluid: amplitudemodulatie

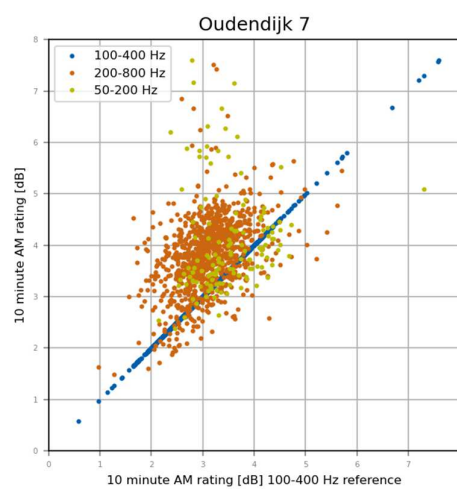
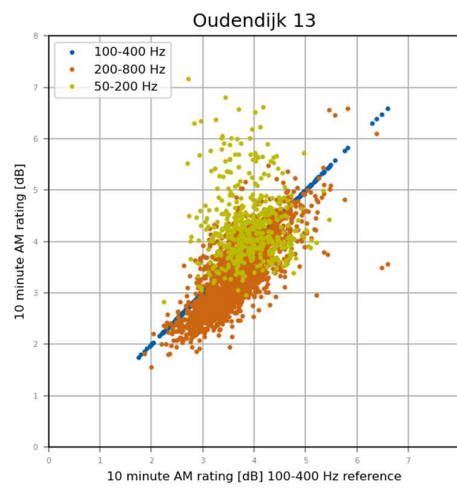
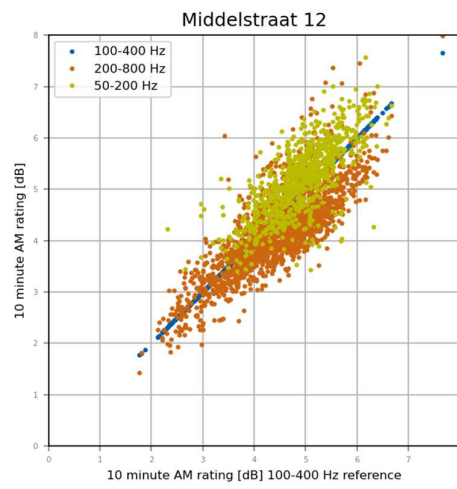
Uit figuur 19 blijkt dat het fenomeen amplitudemodulatie in perioden die door de respondenten als hinderlijk worden beoordeeld sterker is dan op minder hinderlijke momenten. Als toelichting beschouwen we de situatie op 25 november 2022. In figuur 20 is de berekende modulatie diepte voor die datum weergegeven met intervallen van 10 minuten. De oranje lijn geeft weer of er in een bepaalde periode volgens het criterium van de AMWG sprake is van AM vanwege windturbinegeluid. Uit de figuur blijkt dat de modulatie diepte in de avondperiode bij de Middelstraat 12 4 tot 5 dB bedraagt en bij de andere meetpunten 3 tot 4. Voor het grootste deel van de rest van de dag voldoet het geluid niet aan het criterium van de AMWG.

In figuur 21 is de modulatie diepte in de frequentiegebieden 50-200 Hz en 200-800 Hz voor de drie meetpunten uitgezet tegen de modulatie diepte in het frequentiegebied 100-400 Hz. De grafiek beslaat de gehele meetperiode. Uit deze figuur blijkt dat de modulatie diepte bij Middelstraat 12 gemiddeld iets groter is dan bij de andere meetpunten. De opvatting over geluid van windturbines is dat het effect van amplitudemodulatie afneemt met de afstand. Dat effect zien we hier dus niet terug. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat Middelstraat 12 beschut ligt en de andere meetpunten in het open terrein, waardoor daar meer stoorgeluid windgeruis aanwezig is hetgeen de modulatie diepte onderdrukt. Verder zien we in figuur 21 bij Oudeweg 7 relatief weinig datapunten in het frequentiegebied 50-200 Hz. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door de maskerende werking van de warmtepomp van de woning.

Een weergave van een willekeurige selectie van de gefilterde en gereconstrueerde tijdreeksen is verwerkt in figuur 22.

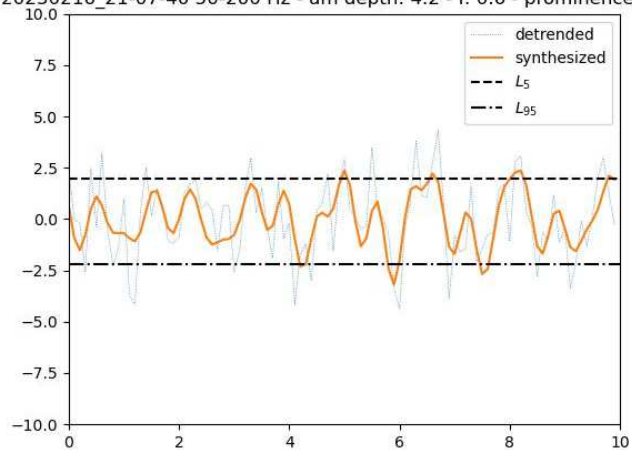


figuur 20 AM in het frequentiegebied 100-400 bij de drie meetpunten op 25 november 2022

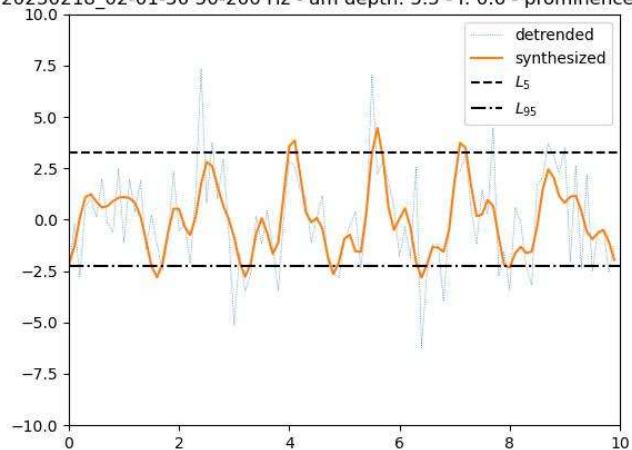


figuur 21 modulatiediepte 50-200 Hz en 200-800 Hz versus de modulatiediepte 100-400 Hz

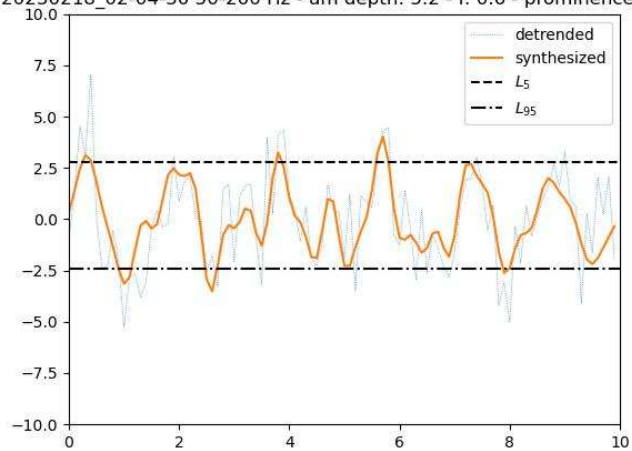
20230216_21-07-40 50-200 Hz - am depth: 4.2 - f: 0.6 - prominence: 11.6



20230218_02-01-50 50-200 Hz - am depth: 5.5 - f: 0.6 - prominence: 27.1



20230218_02-04-30 50-200 Hz - am depth: 5.2 - f: 0.6 - prominence: 16.7



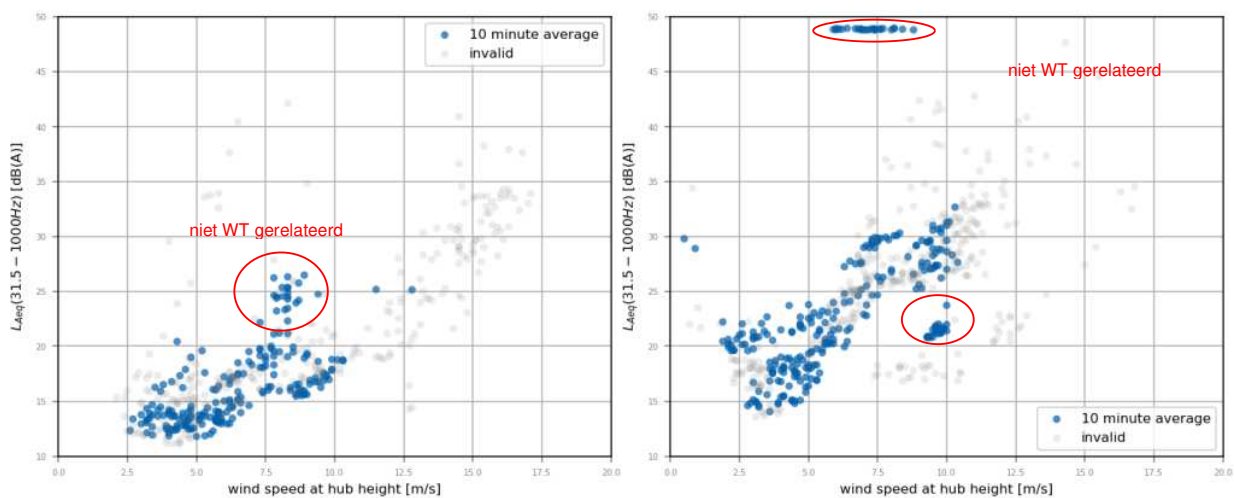
figuur 22

voorbeelden van gefilterde en gereconstrueerde tijdreeksen voor het bepalen van de modulatie diepte

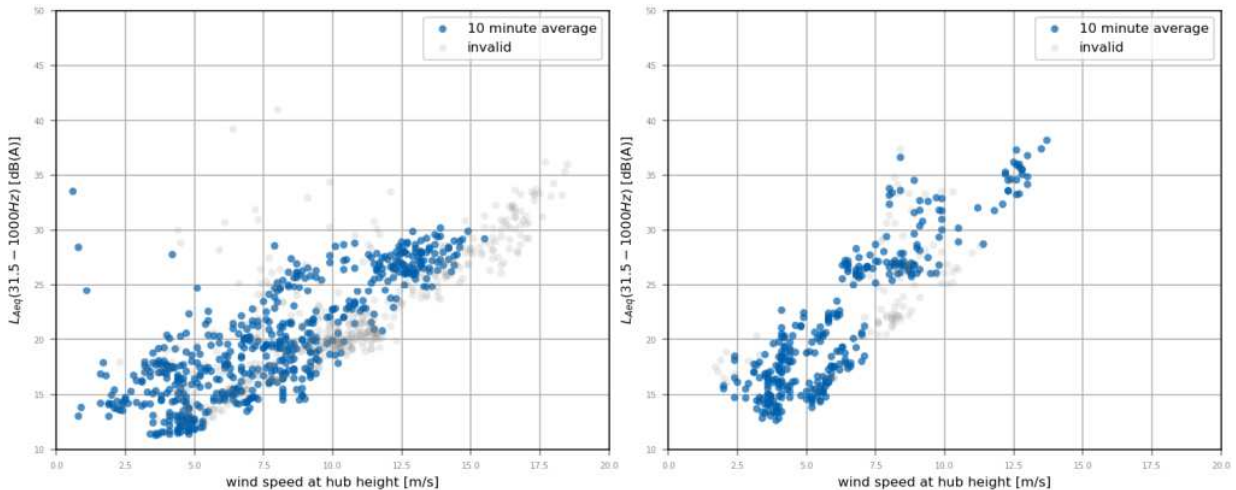
5.6 Binnenniveaus

In figuur 23 is het gemeten geluidsniveau in slaapkamer 1 uitgezet tegen de windsnelheid op ashoogte. Het linker deel van de figuur heeft betrekking op de situatie met gesloten ventilatieroosters; het rechter deel vertoont de omstandigheid met geopende roosters. In figuur 24 wordt dezelfde informatie weergegeven, maar dan voor slaapkamer 2 met gesloten raam (linker deel) en met raam op de kierstand (rechter deel).

Bij het vaststellen van de geluidsbelasting vanwege windturbines binnenshuis speelt een rol dat ook activiteiten en apparaten in de woning het geluid kunnen verstoren. Voor een aantal afwijkende en relevante groepen datapunten is door middel van frequentie-analyse aangetoond dat de gemeten geluidsniveaus niet afkomstig zijn van het windpark, maar van bronnen in de woning. Deze punten zijn omcirkeld.



figuur 23 *binnenniveau in slaapkamer 1 als functie van de windsnelheid op ashoogte met gesloten ventilatierooster (links) en met open ventilatierooster (rechts)*



figuur 24 *binnenniveau in slaapkamer 2 als functie van de windsnelheid op ashoogte met gesloten raam (links) en met raam op de kierstand (rechts)*

Voor slaapkamer 1 bedraagt de gevelisolatie voor windturbinegeluid ongeveer 23 dB. Dit is wat op grond van de samenstelling van de scheidingsconstructie kan worden verwacht. De beperkende factor hierbij zijn hierbij de dakramen. Als het ventilatierooster open staat is de gemeten isolatie slechts 13 dB. Hoewel de roosters niet geluid gedempt zijn, is niet duidelijk waarom het openen van deze roosters zo'n sterke verslechtering van de isolatie tot gevolg heeft.

De gevelisolatie voor windturbinegeluid van slaapkamer 2 bedraagt ongeveer 20 dB als de ramen gesloten zijn. Met het raam op de kierstand bedraagt de isolatie 16 dB.

5.7 Laagfrequent geluid

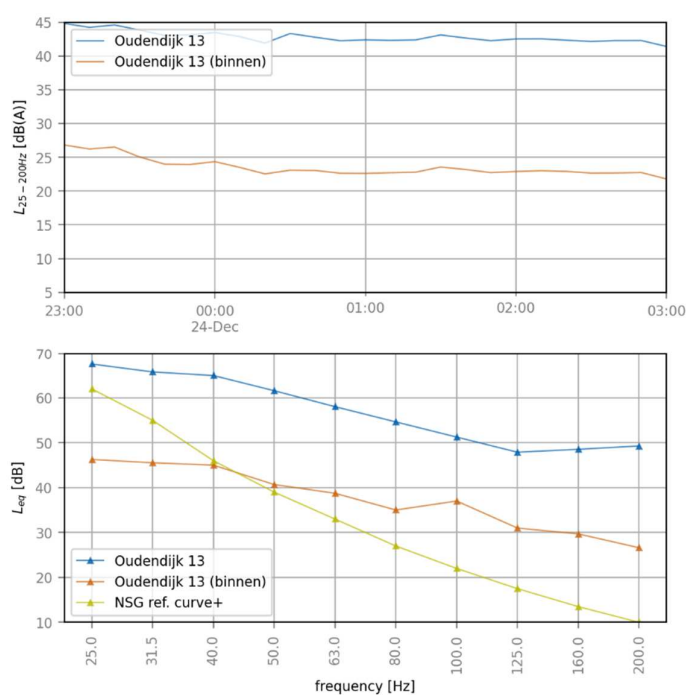
Hoewel er geen wettelijk kader bestaat met een bijbehorend normenstelsel voor laagfrequent geluid, zijn er wel diverse methodieken voorhanden om laagfrequent geluid te beoordelen. Eén van de methodes is die van de NSG. De NSG curve neemt 'hoorbaarheid' als maatstaf en wordt vaak gebruikt bij het objectiveren van klachten in bestaande situaties. De gedachtegang hierachter is dat als laagfrequent geluid voor een persoon waarneembaar is, dit direct als hinderlijk kan worden ervaren.

Daar waar breedbandig A-gewogen geluid op de gevel wordt beoordeeld, wordt laagfrequent geluid in de regel binnenshuis getoetst. Dat geldt ook voor toetsing aan de NSG curve.

Bij "normaal" hoorbaar geluid wordt een eengetalswaarde, betrokken op het hele relevante frequentiespectrum (het totale A-gewogen geluidsniveau), getoetst aan een grenswaarde. Beoordeling van laagfrequent geluid geschiedt echter voor iedere relevante tertsband afzonderlijk. Meestal worden de frequentiebanden tot 100 Hz aangemerkt als laagfrequent geluid. Voor dit onderzoek hanteren we de NSG+ curve, die uitgaat van frequenties tot 200 Hz. Zo wordt een belangrijk deel van het frequentiegebied waarin het proces van amplitudemodulatie zich afspeelt, meegenomen.

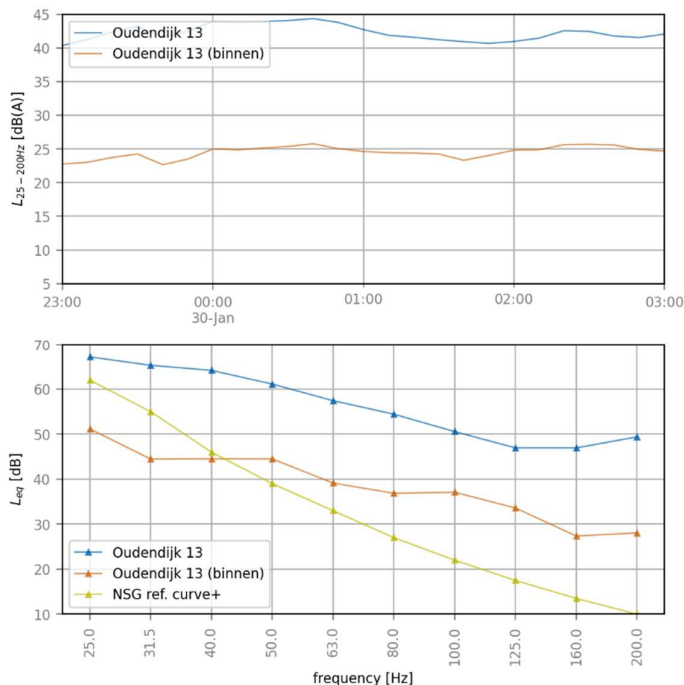
Beoordeling van laagfrequent geluid vindt in de regel plaats zonder toepassing van het A-filter. Hoewel dat wellicht verwarrend is, wijken we in dit rapport van dat gebruik niet af. Het is wel belangrijk om te realiseren dat de gepresenteerde waarden zonder A-filter zijn en de getalswaarden dus fors hoger zijn dan met A-filter.

Het spectrum van laagfrequent geluid in de slaapkamers is weergegeven in figuur 25 (slaapkamer 1) en figuur 26 (slaapkamer 2). Over beide nachten werd door de respondenten melding gemaakt van een minder goede nachtrust. De geluidsbelasting op de gevel was in beide situaties vergelijkbaar.



figuur 25

laagfrequent geluid in slaapkamer 1 met gesloten ventilatieroosters; nacht van 24 december 2022. Boven: verloop van het A-gewogen geluidsniveau op de gevel en in de slaapkamer; onder: gemiddelde laagfrequente lineaire spectrum op de gevel en in de slaapkamer, vergeleken met de NSG referentiecurve +; NB: piek bij 100 Hz is niet afkomstig van de windturbines



figuur 26 laagfrequent geluid in slaapkamer 2 met gesloten raam; nacht van 30 januari 2023. Boven: verloop van het A-gewogen geluidsniveau op de gevel en in de slaapkamer; onder: gemiddelde laagfrequente lineaire spectrum op de gevel en in de slaapkamer, vergeleken met de NSG referentiecure +

Uit de figuren blijkt dat een deel van de laagfrequente 1/3 octaafbanden boven de NSG+ curve ligt. Dit betekent dat die frequenties in een dergelijke situatie voor de meeste personen dus waarneembaar zijn. In principe geldt dat hoe verder het geluidsniveau boven de curve uitstijgt, hoe beter die frequentieband hoorbaar is. Het "hoorbare" frequentiegebied loopt in beide slaapkamers vanaf ongeveer 50 Hz. De laagste frequentiebanden zijn in deze situatie voor de meeste personen niet waarneembaar.

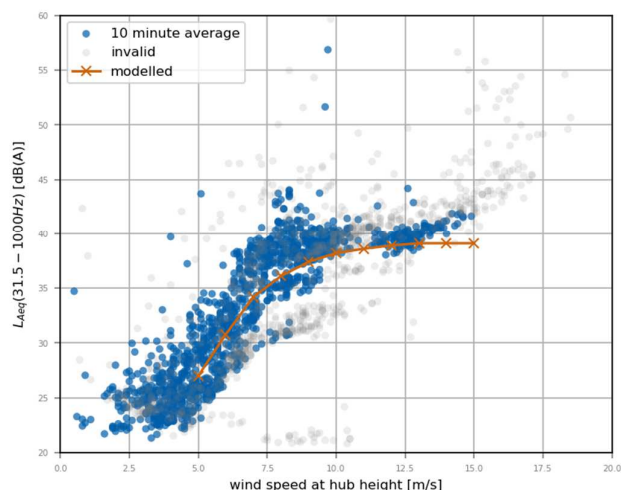
Overigens zijn beide slaapkamers qua laagfrequent geluid redelijk vergelijkbaar. Dat terwijl slaapkamer 1 onlangs aanvullend is geïsoleerd. We merken hierbij op dat het isoleren van een woning veel effectiever is voor hoge frequenties dan voor lage.

Bij een aantal windparken spelen problemen met tonaal laagfrequent geluid. Ook de windturbines van windpark Spui bevatten, zoals ieder mechanisch systeem, zuivere tonen. Uit eerdere metingen en het voortraject is echter gebleken dat het niet waarschijnlijk is dat tonaal laagfrequent geluid bij windpark Spui een knelpunt is. Daarom is dit aspect niet uitgebreid onderzocht.

5.8 Vergelijking meten en rekenen

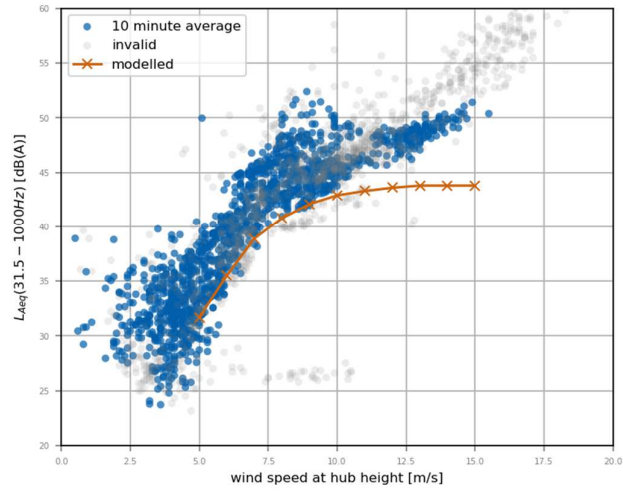
In deze paragraaf vergelijken we de geluidsniveaus die op de gevels gemeten zijn met de berekende waarden. Voor de berekende geluidsniveaus wordt verwezen naar tabel II. Om stoorgeluid zo veel mogelijk uit te sluiten zijn de gemeten en de berekende waarden betrokken op alleen de 1/1 octaafbanden van 31,5 Hz tot en met 1 kHz. Verder zijn de gemeten 10 minutenwaarden afkomstig uit de tijdvakken tussen 01:00 uur en 05:00 uur, de stilste periode van de nacht. Perioden met neerslag zijn uitgesloten. Er zijn alleen datapunten beschouwd waarbij de windsnelheid bij de bodem relatief laag was. Zodoende is de invloed van windgeruis op de gemeten niveaus zo klein mogelijk. Dit is getoetst op momenten waarop de windturbines stil stonden in de periode van onderhoud van het hoogspanningsnet en in verband met de regeling voor slagschaduw.

De gemeten waarden zijn uitgezet tegen de gemiddelde windsnelheid op ashoogte, vastgesteld met de anemometers van de windturbines. Het resultaat is voor de drie meetpunten weergegeven in figuur 27 tot en met figuur 29.

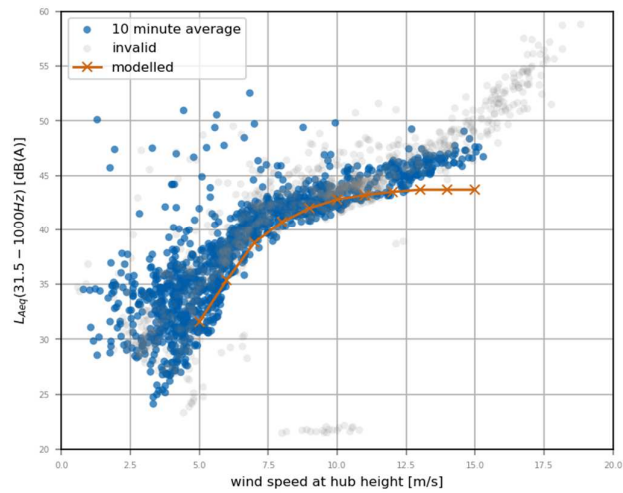


figuur 27

vergelijking tussen gemeten en berekende geluidsniveaus Middelstraat 12



figuur 28 vergelijking tussen gemeten en berekende geluidsniveaus Oudendijk 13



figuur 29 vergelijking tussen gemeten en berekende geluidsniveaus Oudendijk 7



In bovenstaand figuren is te zien dat veruit de meeste 10 minuten datapunten boven de curve van berekende waarden liggen. Hiervoor zijn een aantal verklaringen, zoals:

- De gemeten niveaus zijn beïnvloed door stoorgeluid. Dit geldt voor de “outliers” (dieren, vliegtuigen, etc.), maar ook voor datapunten en met lage geluidsbelasting (overig omgevingsgeluid). Daarnaast is ondanks sprake van enig windgeruis, ondanks uitsluiting van datapunten met hoge windsnelheid bij de bodem.
- De gemiddelde windsnelheid op ashoogte is afkomstig van de anemometers van de windturbines. Dit levert waarschijnlijk een onderschatting op van de werkelijke windsnelheid op ashoogte.
- De datapunten zijn vervat in 10-minuten bins. Bij fluctuerende windsterkte binnen die 10 minuten levert dat een gemiddeld hogere geluidsbelasting dan wanneer een kortere periode wordt genomen. Dit wordt veroorzaakt doordat geluidsniveaus logaritmisch worden gemiddeld.

Bovenstaande factoren meegewogen zijn we van oordeel dat de gemeten geluidsbelasting bij Middelstraat 12 en Oudendijk 7 binnen de nauwkeurigheidsmarge van het onderzoek vallen. Bij Oudendijk 13 is echter sprake van een verschil van ongeveer 5 dB dat niet direct kan worden verklaard door bovenstaande factoren. De meest logische verklaring is dat op dit punt meer windgeruis aanwezig is dan op de andere punten. Wat precies aan de hand is kan worden onderzocht door het uitvoeren van bemande metingen van het windturbinegeluid met ingeschakelde en uitgeschakelde windturbines. Dit zou diep in de nacht plaats moeten vinden bij een windsnelheid op ashoogte van 10-13 m/s en met een beperkte windsnelheid bij de bodem.

6 Samenvatting

De omgevingsdialoog van windpark Spui is een initiatief waar provincie, omwonenden en de exploitant aan deelnemen om te trachten de geluidsproblematiek rondom het windpark te verminderen. Als inbreng voor de dialoog heeft M+P in de periode november 2022 tot en met februari 2023 onbemande geluidsimmissiemetingen verricht in de omgeving van het windpark. De geluidsmetingen zijn in eerste instantie bedoeld om meer grip te krijgen op de vraag wat de kern van het probleem is en of er haalbare maatregelen zijn om het probleem te verlichten. Daarnaast kunnen de metingen worden gebruikt om te bezien of meetresultaten ruwweg overeenkomen met geluidsbelasting die conform de wettelijk verplichte rekenmethode voor windturbines wordt berekend. Gezien het gebrek aan vertrouwen in de rekenmodellen hechten omwonenden belang aan een dergelijke controle.

Het meetonderzoek omvat immissiemetingen op de gevel van drie woningen, geluidsmetingen achtereenvolgens in twee verschillende slaapkamers van één van deze woningen, meting van windsnelheid en -richting op alle drie locaties, meteogegevens van particuliere meteostations in de directe omgeving van het windpark en operationele windturbinedata afkomstig van de exploitant. Daarnaast maakt een enquête over hinder en slaapkwaliteit met 13 gehinderden van het windpark onderdeel uit van het onderzoek. De proefpersonen is dagelijks gevraagd hinder vanwege de windturbines en de slaapkwaliteit te beoordelen met een cijfer. De bedoeling hiervan is om betekenis te geven aan het gemeten geluid.

Uit het onderzoek blijkt een duidelijke relatie tussen zelf gerapporteerde hinder en slaapkwaliteit enerzijds en de parameters die van invloed zijn op de geluidsproductie van de windturbines anderzijds. Zo is een positief verband gevonden tussen windsnelheid op ashoogte en hinder. Bij een windsnelheid van ongeveer 8 m/s (productie van ongeveer 2.000 kW) bestaat al een gerede kans op een gemiddelde hinderscore van 6 over hoger. Het is dus niet zo dat hinder alleen optreedt als de windturbines maximaal draaien (4.200 kW). Een windsnelheid van 8 m/s lijkt ook een kantelpunt voor de slaapkwaliteit. Onder 8 m/s wordt gemiddeld een voldoende gescoord, boven 8 m/s gemiddeld een onvoldoende. Bij hele lage windsnelheden is de gemiddelde hinder beperkt. In het voortraject heeft een aantal omwonenden aangegeven bij die omstandigheden hinder te ondervinden van het kruien van de windturbines. Deze hinder wordt kennelijk niet breed gevoeld, maar blijft naar verwachting beperkt tot de bewoners die het dichtst bij de windturbines wonen.

De relaties met de gemeten geluidsniveaus corresponderen met die met de windsnelheid en elektrisch vermogen. De verbanden zijn wel iets minder sterk, omdat de geluidsniveaus niet alleen worden veroorzaakt door de windturbines. Dit geldt vooral voor de relatie met hinder (avond) en in mindere mate voor de relatie met slaapkwaliteit (nacht). Dit verschil wordt veroorzaakt doordat in de nacht beduidend minder verstorende activiteiten plaatsvinden dan in de avond.

Verder lijkt het onderzoek er op te duiden dat de hinder het sterkst en de slaapkwaliteit het slechtst is als de windrichting ongeveer 250 graden (WZW) bedraagt. Bij deze windrichting staan de windturbines precies in het zog van de benedenwinds opgestelde windturbines. In het voortraject heeft een aantal omwonenden al aangegeven dat die situatie hinderlijker is dan andere. Aanvullende analyses kunnen uitwijzen of er inderdaad een causaal verband bestaat of dat de winden uit die richting bij toeval sterker waren dan uit andere richtingen.

Over windturbinegeluid wordt vaak gedacht dat windgeruis, zoals bladgeritsel het geluid van windturbines kan maskeren. Voor deze aanname vinden we op basis van het onderzoek geen ondersteuning. Er is geen positieve relatie gevonden tussen wind shear en hinder en geen negatieve tussen wind shear en slaapkwaliteit. Dit betekent dat aanplant van hoge bomen om het geluid van windturbines te maskeren niet succesvol lijkt. Indien ze het zicht op de windturbines



ontnemen kunnen bomen echter wel een positief effect hebben op de hinderbeleving. Visuele en auditieve aspecten kunnen elkaar namelijk versterken.

Ten behoeve van het onderzoek is verder gekeken naar het effect van het herkenbare ritmische karakter van windturbinegeluid (amplitudemodulatie). Dit fenomeen is gekwantificeerd conform de methode van de AMWG. Het onderzoek toont aan dat de modulatie diepte, bepaald met de methode van de AMWG, groter is in perioden die door de respondenten als hinderlijk worden aangemerkt dan op minder hinderlijke momenten. Op hinderlijke momenten kan de modulatie diepte oplopen tot 6 dB.

Veel omwonenden ervaren geluidshinder in de slaapkamer, zo bleek uit het voortraject. Via het omgevingsfonds komt een deel van de omwonenden in aanmerking voor aanvullende geluidsisolatie om de hinder zodoende te verminderen. Als onderdeel van de meetcampagne is bij één woning het geluid in twee slaapkamers gemeten. Bij één van deze kamers waren juist voor aanvang van de metingen aanvullende geluidswerende maatregelen getroffen. De bewoners rapporteerden positieve bevindingen over de maatregelen. Bij de onlangs geïsoleerde slaapkamer bedroeg de gevelisolatie voor het spectrum windturbinegeluid ongeveer 23 dB. Dit geldt voor de situatie met gesloten ventilatieroosters. Met geopende ventilatieroosters, die zonder geluidsdemping zijn uitgevoerd, blijkt de isolatie dramatisch af te nemen. Een leerpunt is dat bij het ontwikkelen van maatregelen ook moet worden gekeken naar adequate ventilatie. Het is noodzakelijk om suskusten, of liever muurdempers aan te brengen.

Een ander aspect dat in de slaapkamers is onderzocht is de aanwezigheid van laagfrequent geluid. De metingen wijzen uit dat de niveaus van 50 tot 200 Hz duidelijk hoorbaar zijn. Dit frequentiegebied is één van de gebieden waarin amplitudemodulatie zich manifesteert. Bij gevoelige personen kan hoorbaarheid van laagfrequent geluid direct leiden tot hinder. Zeker als het een ritmisch, onrustig karakter heeft. Bij het ontwikkelen van geluidswerende maatregelen aan de woning moet ook goed worden gekeken naar het frequentiespectrum van windturbines. Het laagfrequente deel daarvan is daarbij van groot belang. Het is echter niet eenvoudig om extra gevelwering te bewerkstelligen voor lage frequenties. Zeker niet met moderne, lichte bouwconstructies.

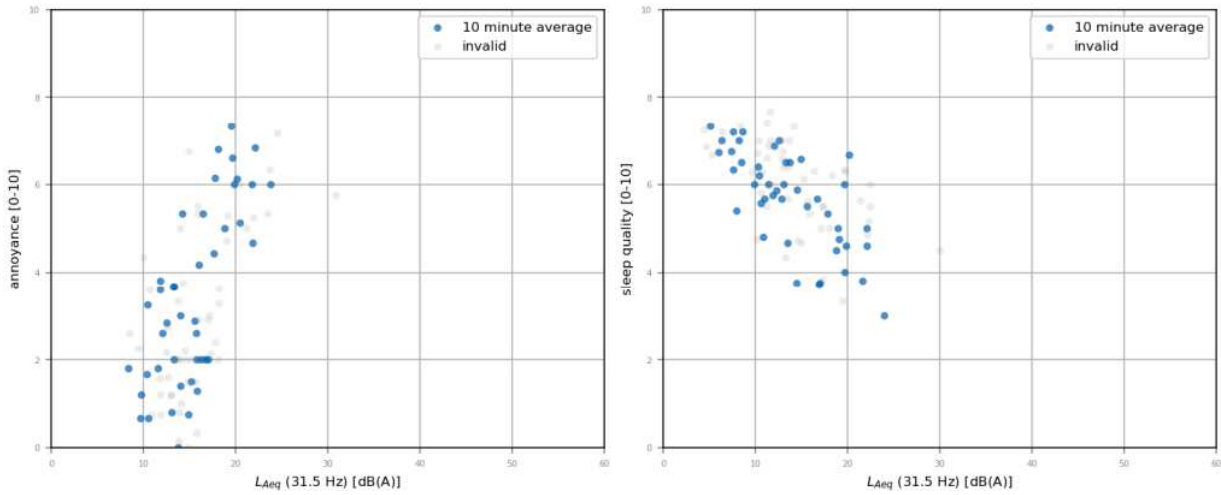
Tot slot zijn de gemeten geluidsniveaus op de drie meetpunten vergeleken met de waarden die conform de verplichte rekenmethode voor windturbines worden berekend. Hiervoor is uitsluitend gekeken naar de stille perioden (weinig stoorgeluid) in de nacht. Over het algemeen zijn de gemeten waarden hoger dan de berekende. Dit kan ten dele worden verklaard door de onnauwkeurig van de meting (onderschatting van stoorgeluid en windsnelheid). Maar het kan niet worden uitgesloten dat het rekenmodel de werkelijke geluidsbelasting met 1 à 2 dB onderschat. De verschillen zijn bij twee van de drie meetpunten echter niet heel groot. Bij één van de drie meetpunten was echter wel sprake van een serieus verschil van 5 dB. De oorzaak hiervan ligt mogelijk in het effect van windgeruis. Dat kan verder nog worden onderzocht.

Al met al hebben de metingen geen verrassende resultaten opgeleverd. Ze bevestigen grotendeels hetgeen we al weten over windturbinegeluid. In de omgeving van windpark Spui is naar ons oordeel geen sprake van een specifieke geluidsoverdracht of van windturbines die een onaangename geluid voortbrengen dan andere. Feit is wel dat de Hoeksche Waard zonder het geluid van windturbines een stil gebied is, waar relatief veel mensen dicht op het windpark wonen. De windturbines hebben een grote impact op het gebied.

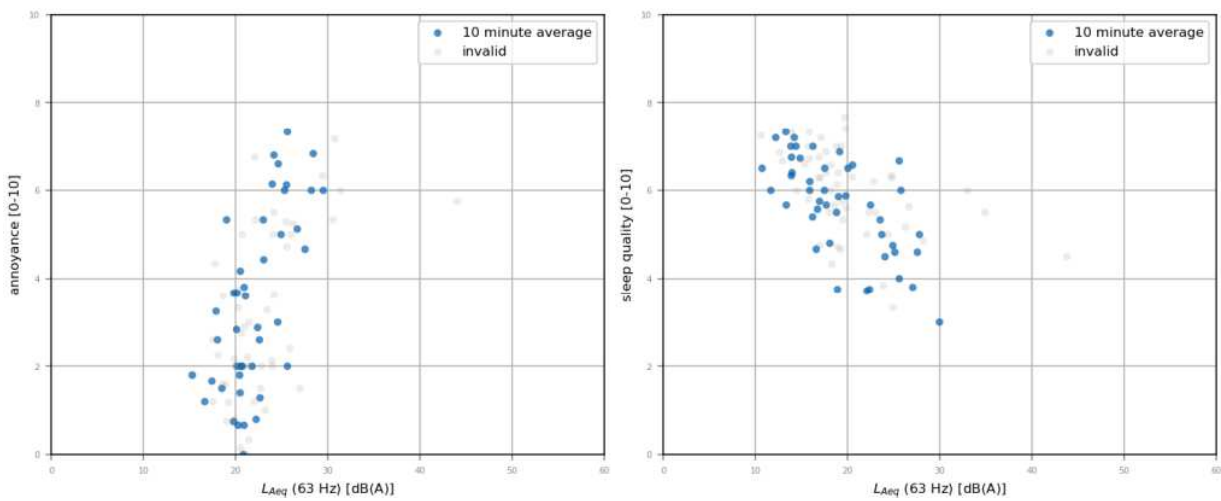
De metingen hebben veel data opgeleverd. De bijeenkomst op 10 mei 2023 kan worden benut om te bekijken of het wenselijk is om nog aanvullende analyses op de beschikbare data te verrichten.

Bijlage A

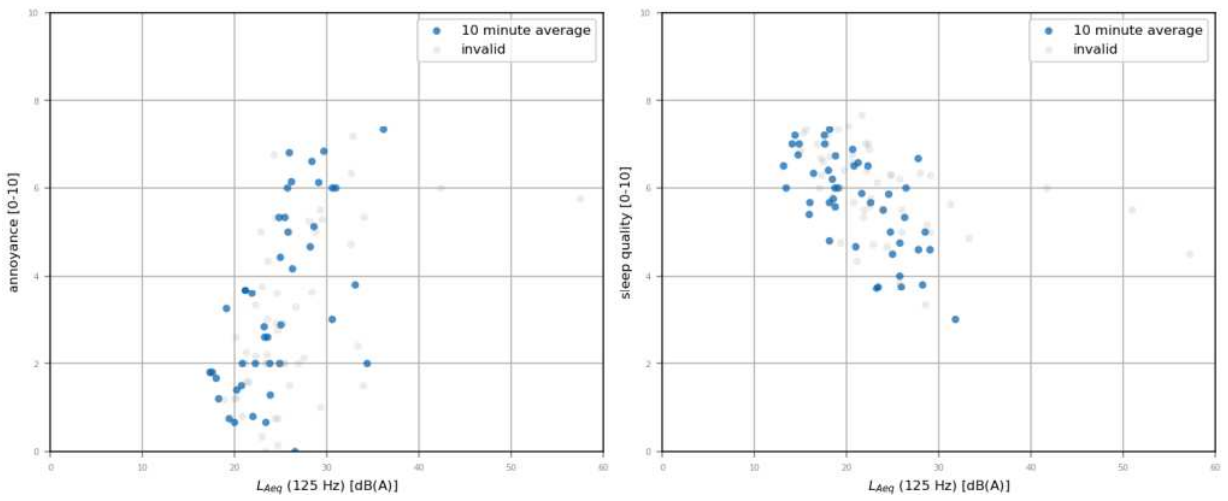
Scatter plots octaven



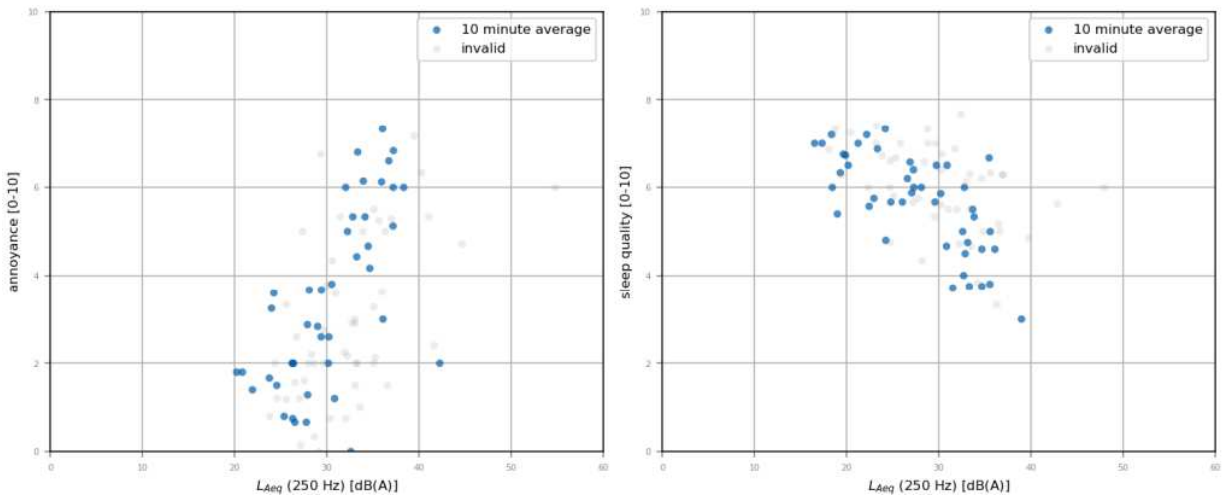
figuur 30 scatter plot: relatie tussen $L_{Aeq} (31.5 \text{ Hz})$ en hinder (links) en $L_{Aeq} (31.5 \text{ Hz})$ en slaapkwiteit (rechts)



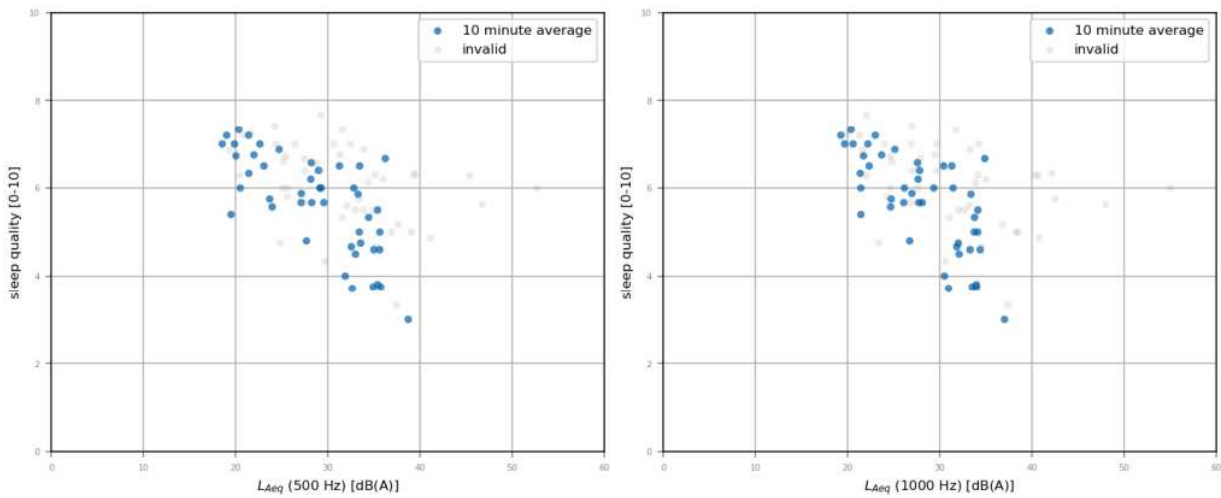
figuur 31 scatter plot: relatie tussen $L_{Aeq} (63 \text{ Hz})$ en hinder (links) en $L_{Aeq} (63 \text{ Hz})$ en slaapkwiteit (rechts)



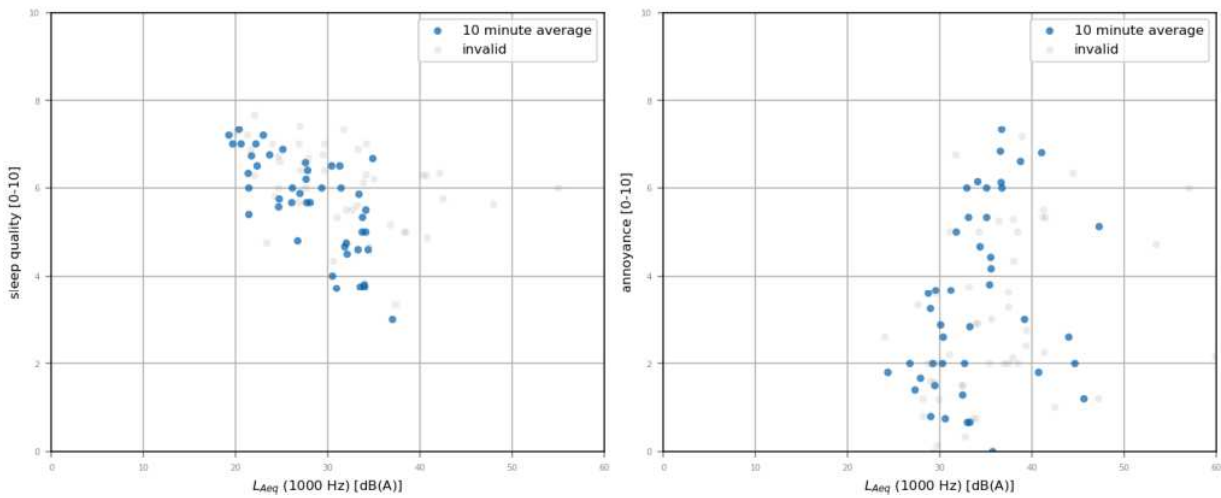
figuur 32 scatter plot: relatie tussen $L_{Aeq} (125 \text{ Hz})$ en hinder (links) en $L_{Aeq} (125 \text{ Hz})$ en slaapkwiteit (rechts)



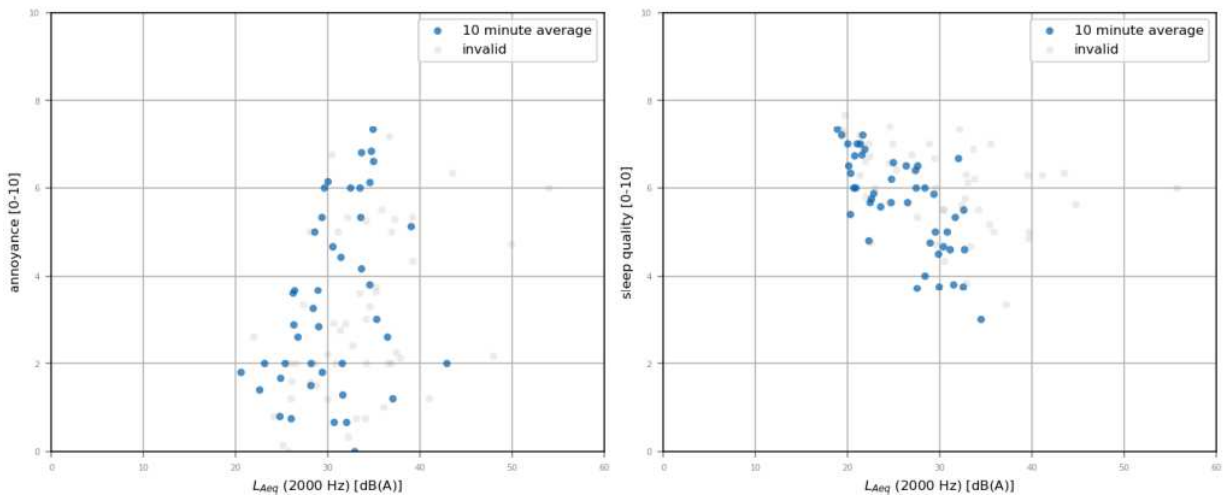
figuur 33 scatter plot: relatie tussen $L_{Aeq} (250 \text{ Hz})$ en hinder (links) en $L_{Aeq} (250 \text{ Hz})$ en slaapkwiteit (rechts)



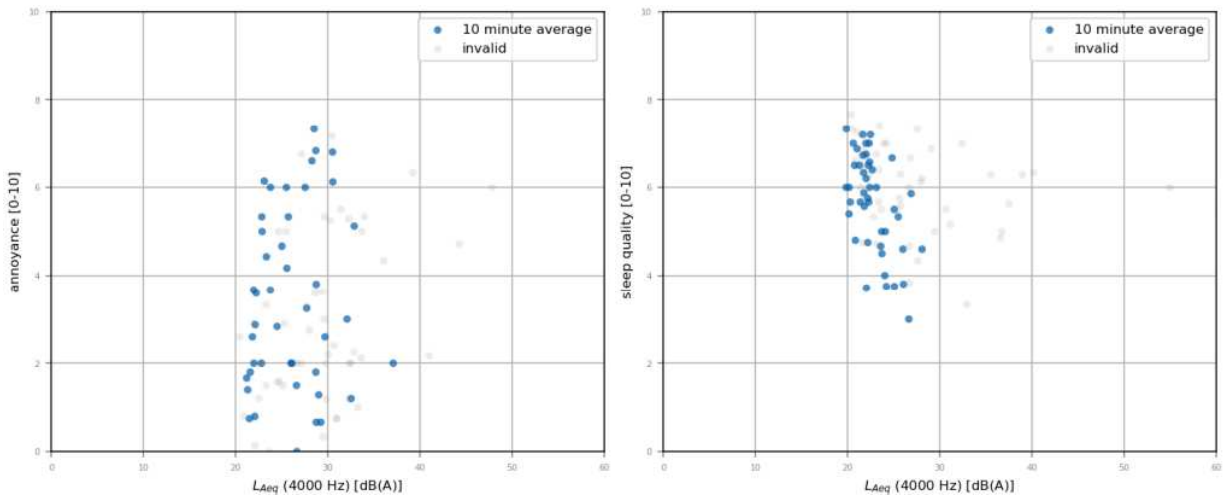
figuur 34 scatter plot: relatie tussen $L_{Aeq(500\text{ Hz})}$ en hinder (links) en $L_{Aeq(500\text{ Hz})}$ en slaapkwiteit (rechts)



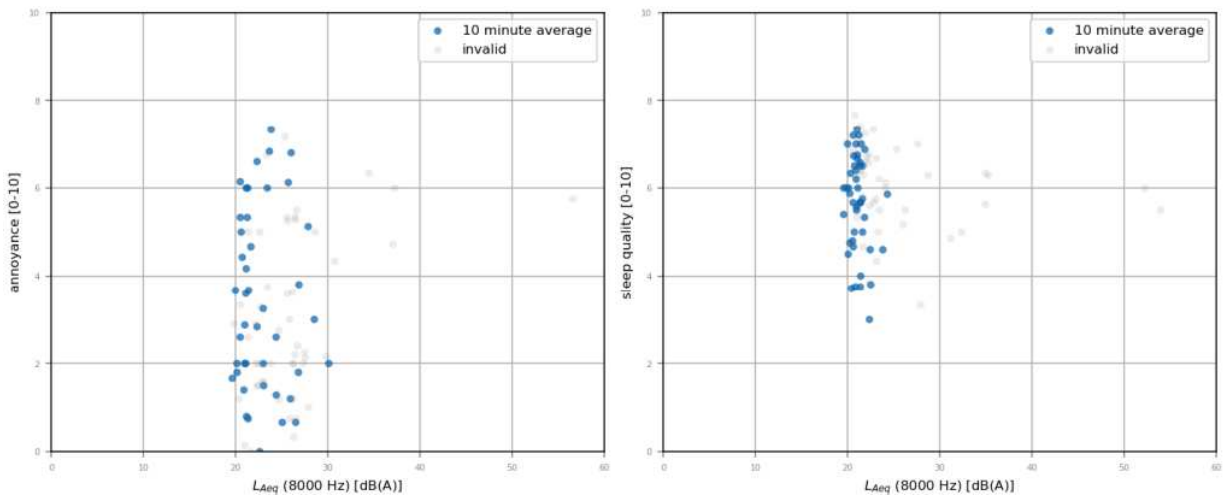
figuur 35 scatter plot: relatie tussen $L_{Aeq(1000\text{ Hz})}$ en hinder (links) en $L_{Aeq(1000\text{ Hz})}$ en slaapkwiteit (rechts)



figuur 36 scatter plot: relatie tussen $L_{Aeq}(2000\text{ Hz})$ en hinder (links) en $L_{Aeq}(2000\text{ Hz})$ en slaapkwiteit (rechts)



figuur 37 scatter plot: relatie tussen $L_{Aeq}(4000\text{ Hz})$ en hinder (links) en $L_{Aeq}(4000\text{ Hz})$ en slaapkwiteit (rechts)



figuur 38 scatter plot: relatie tussen $L_{Aeq}(8000\text{ Hz})$ en hinder (links) en $L_{Aeq}(8000\text{ Hz})$ en slaapwaliteit (rechts)