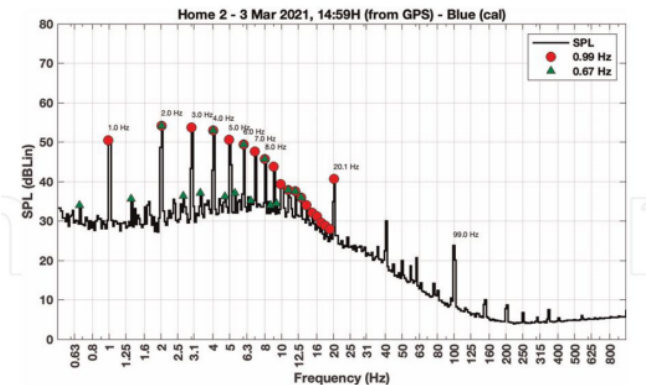


Impact door trillingen en geluid vanwege Industriële WindTurbines (IWT's)

Natuurkundige toelichting over de impact die IWT's hebben op de omgeving inclusief referenties



ir. Leo van der Stelt 2 juni 2025

Samenvatting

Door de huidige Industriële WindTurbines ontstaan zulke sterke trillings- en geluids-verschijnselen dat het huidige onderzoek aantoont dat 30% van de mensen binnen 2 km woonafstand ernstige hinder ondervindt en meer dan de helft te maken krijgt met ontoelaatbare aantasting van hun gezondheid.

Recente cijfers uit een breed onderzoek vanuit het RIVM laten zien dat in 2023 al meer dan 70.000 omwonenden in Nederland last hebben van ernstige slaapverstoring door de windturbines. Dat is 4 keer meer dan 3 jaar eerder. Dit, terwijl veel turbines tot nu toe nog relatief ver van woningen geplaatst zijn.

De *oorzaak* van het niet tijdig onderkennen van deze impact kan worden gevonden in onvoldoende inzicht in de natuurkundige verschijnselen rondom windturbines enerzijds en anderzijds de enorme groene lobby om zo snel mogelijk, via enorme schaalvergroting en zonder goed onderzoek, zo veel mogelijk opbrengst te halen.

Naast het goed hoorbare rechtstreekse lawaai rondom de wieken ontstaan zowel laagfrequente trillingen in de enorme generator boven in de gondel als ook nachtelijk infrageluid en laagfrequent geluid vanwege de vaak voorkomende zij-instroom van de wieken. Met het infrageluid door de passage van de mast door de wieken wordt zelfs helemaal geen rekening gehouden. De bijbehorende passeerfrequentie ligt vaak onder 1 Hz en is de primaire basis voor de amplitudemodulatie die gaat optreden. De infrageluidsgolven kunnen door resonanties in woningen ook plotselinge sterke effecten met hogere frequenties veroorzaken. Eigenfrequenties van constructiedelen van zowel de turbine als de woning plus mogelijk obstakels in de omgeving spelen daarbij een grote rol. In het geheel vormen de trillingsverschijnselen door cumulatie veel sterkere verschijnselen dan die door de gebruikelijke meetprocedure in decibel met het A-filter gemeten wordt of door de rekenmethode ISO-9613 bepaald wordt. Het betekent dat laagfrequent geluid gedeeltelijk en infrageluid geheel weggefilterd wordt. Velen gaan slechts

af op het hoorbare geruis, terwijl op afstand juist de laagfrequente- en infrageluids-effecten gaan domineren. Ten onrechte is vanuit het verre verleden geconcludeerd dat infrageluid goed met het G-filter gemeten kan worden en dat het bij windturbines geen rol zal spelen.

Bovendien waren de gebruikelijke rekenmodellen om infrageluid en laagfrequent geluid om te rekenen naar het goed hoorbare geluid in dB(A), niet valide. Alleen ongefilterd meten kan leiden tot de noodzakelijke inzichten.

Het RIVM, dat vanuit wetenschappelijk oogpunt in Nederland moet waken voor de gezondheid van mensen zorgt op belangrijke punten voor desinformatie. Ze hebben tot op heden geen praktijkonderzoek gedaan en filteren wereldwijde onderzoeken zodanig dat zij denken te kunnen blijven ontkennen dat infrageluid en laagfrequent geluid een belangrijke rol spelen. Met actuele goede onderzoeken doen zij hoegenaamd niets. Zij erkennen wel dat er sprake is van *amplitudemodulatie* en dat dit daardoor meer hinder veroorzaakt dan verkeerslawaaï, maar zeggen ook dat het aandeel laagfrequent geluid en infrageluid vergelijkbaar is met alledaagse bronnen als verkeer. Dit is in zichzelf al tegenstrijdig. In hun onderbouwing komt het meten met filters niet voor en wordt er helemaal niet uitgegaan van de basis met de passeerfrequentie ten gevolge van de wieken die de mast passeren. Het gevaarlijke resonantieverschijnsel komt zelfs in geen enkele onderbouwing voor. En ook op de vaak wisselende en complexe impact van nachtelijke voortplanting van geluid wordt niet ingegaan.

De voorgestelde Lden norm van 45 dB(A) zal voor Nederland desastreus blijken te zijn. Uit internationaal onderzoek blijkt dat bij gebruik van zorgvuldige omrekening meer dan 35 dB(A) door de turbines al leidt tot enorme toename van ernstige hinder en dientengevolge tot onacceptabele impact.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1. Inleiding	2
2. Primaire trillingsbronnen vanwege een windturbine	4
3. Over emissie, filters en amplitudemodulatie	6
4. Secundaire trillingsbronnen vanwege een turbine	9
5. Schaalvergroting en het door het RIVM geschetste kader	11
6. Clusters van windturbines, immissie en rekenmodellen	12
7. De geluidvoortplanting en overdracht	15
8. Lineair meten en statistisch meten	16

1. Inleiding

De belangrijkste twee conclusies die er momenteel op basis van actuele en zorgvuldige onderzoeken gemaakt kunnen worden, zijn:

- 1) *Draaiende windturbines veroorzaken zodanig veel trillingen en geluid (lawaaï) in een spectrum van infrageluid (onhoorbaar), laagfrequent geluid en middengehoor geluid (relatief hoogfrequent geluid) dat wel 30 % van de omwonenden binnen 2 km woonafstand van de omhullende van een turbine cluster ernstige hinder zal ondervinden.*

2) *Meer dan de helft daarvan zal daardoor op onwenselijke wijze te maken krijgen met slaapstoornissen en ernstige aantasting van de gezondheid.*

Het gaat in dit essay om de gevolgen van belangrijke gezondheidsbedreigende verschijnselen die in verband gebracht moeten worden met de invloed van de windturbines via trillingen en dus ook via geluid of lawaai. Deze trillingen zullen zich via de lucht of door de bodem en mogelijk door wanden of andere vaste stoffen voortplanten en zodoende effecten hebben op mens en dier. Het gaat hierbij altijd om trillingen die via moleculen of atomen doorgegeven worden en niet om elektromagnetische trillingen. Trillingen via de bodem kunnen onvermoede verschijnselen veroorzaken. Mogelijk veel eerder op bepaalde dieren of planten, maar komen wegens nog veelal onduidelijke impact hier verder nauwelijks aan de orde.

Anders gezegd, het gaat hier steeds om geluidsgolven en/of infra-geluidsgolven die zich op allerlei manieren via lucht en obstakels kunnen voortplanten en een bepaalde uitwerking zullen hebben op de leefomgeving.

In principe gaat het steeds om *ongewenst geluid*; daarom is het in feite duidelijker om van *lawaai* (noise) te spreken.

Het RIVM samen met de met hen verbonden GGD schieten helaas tot nu toe ernstig in tekort in het aangeven van de noodzakelijke expertise op dit gebied. Zij doen meermalen uitspraken die wetenschappelijk niet te verantwoorden zijn en een verkeerde werkelijkheid suggereren!¹ Op hun laatste factsheet die vanuit de aangegeven webpagina te downloaden is², zijn er meerdere essentiële feiten die niet kloppen. Als schrijver van dit essay heb ik meerdere voorlichtingsbijeenkomsten van de GGD meegemaakt met tenenkrommende uitspraken op het hier behandelde thema.

Aangegeven is dat er op 16 oktober 2023 enkele wijzigingen in hun factsheet hebben plaatsgevonden, maar ook duidelijk is dat er op de gepubliceerde versie van januari 2025 nog iets gewijzigd is. Expliciet is wel vermeld dat de gehele tekst dateert uit 2021. Relevante informatie van later datum is dus verder niet meer meegenomen. Algemene en meer uitgebreide kritiek op dit onderwerp door de uitingen van het RIVM is opgenomen in de volgende kamerbrief "*Herziening (interim) norm windturbines*" van Leonard Baart de la Faille van 27 mei 2025³ met als bijlage "*Misleidende voorlichting gezondheidseffecten windturbines door RIVM/GGD*"⁴.

Verderop in dit document wordt ingegaan op een aantal belangrijke dubieuze beweringen van het RIVM rondom het hier behandelde thema.

Algemeen bekeken moet men ook in ogenschouw nemen dat een aantal uitspraken van het RIVM zodanig geformuleerd zijn dat mensen er makkelijk een verkeerde versimpeling van kunnen maken. Voorbeeld is de relatie tussen windturbinegeluid en slaapverstoring bij

¹ <https://www.rivm.nl/documenten/windturbines-en-gezondheid>

² "C:\Users\Eigenaar\Downloads\Factsheet gezondheidseffecten van windturbinegeluid .pdf"

³

https://www.researchgate.net/publication/392131246_Kamerbrief_Herziening_interim_norm_windturbines

⁴ https://www.researchgate.net/publication/391270892_Misleidende_voorlichting_RIVM-GGD

omwonenden. Dit is volgens het RIVM niet wetenschappelijk aangetoond. Velen laten dan het woord wetenschappelijk weg en doen uitspraken alsof er helemaal geen sprake is van slaapverstoring bij omwonenden. Het tegendeel is echter waar. Dat zegt het RIVM zelf ook, maar dan op andere plekken en weer niet heel erg expliciet. Het RIVM vindt het dus nog niet wetenschappelijk aangetoond, volgt de eigen opvattingen en negeert daarbij ook de betekenis van recente literatuur. Het wetenschappelijk aantonen langs statistische weg is dan ook zeer moeilijk vanwege de vele aanwezige, vaak totaal verschillende factoren. Des te meer reden om de natuurkundige benadering te volgen met behulp van metingen die objectief geregistreerd zijn of nog kunnen worden.

Het zijn bijna altijd de vele voorstanders van het plaatsen van windturbines, beleidsmakers en initiatiefnemers die belangrijke en soms gedeeltelijk zinnige RIVM-uitspraken versimpelen tot pluspunten die niet kloppen maar wel goed in de beleidsintenties passen. Dit gebeurt dan zodanig dat deze hun eigen ambities mogelijk maken. De RIVM spreekt dit in beginsel nergens tegen. Zij volgen immers overheidsbeleid en de zogenaamde 'groene deur'; het vermeende groene label dat critici, bij voorbaat en onterecht, monddood maakt. Omdat in het beleid van de overheid op dit gebied evident verkeerde uitspraken gedaan worden en het RIVM dit laat gaan, of zich hier zelfs naar voegt, kan gesteld worden dat er van hun kant sprake is van een *ernstige omissie*.

2. Primaire trillingsbronnen vanwege een windturbine

De draaiende IWT's, zoals wij die kennen, produceren op verschillende wijzen trillingen die wij als mensen en een groot aantal diersoorten kunnen waarnemen. Belangrijk is daarbij om onderscheid te maken in voor mensen gewoon hoorbaar geluid boven 125 Hz, in laagfrequent geluid tussen 20 Hz en 125 Hz en in infrageluid onder de 20 Hz. In principe volgt infrageluid daarmee de gehoordrempel van mensen. Het is daarom niet hoorbaar als geluid. Deze indeling is volgens de definitie die door het RIVM gegeven wordt.

Aan één windturbine onderscheiden we de volgende bronnen:

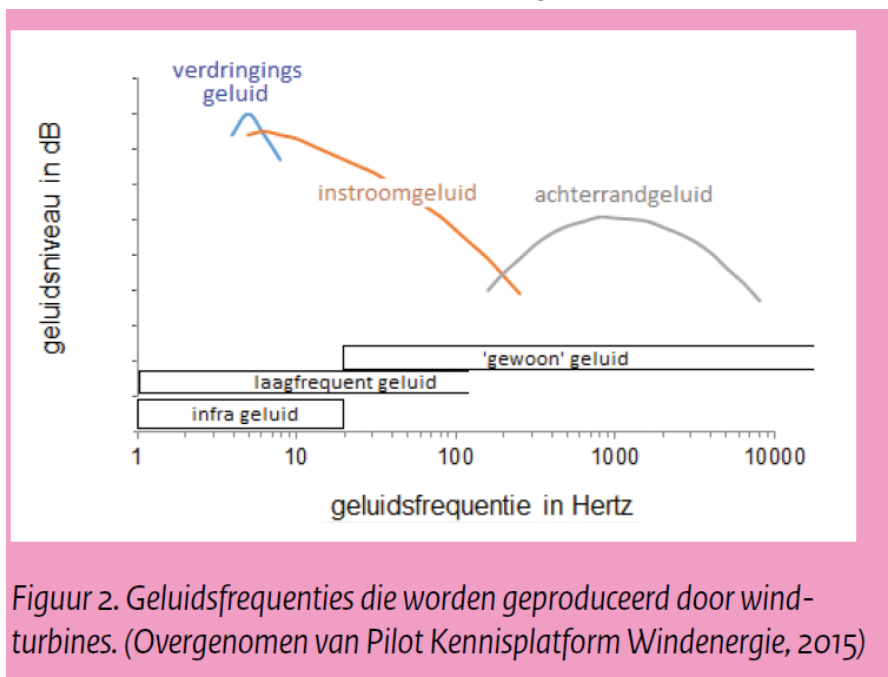
A. De generator in de gondel

We beginnen met de generator en mogelijk een tandwielkast boven in de gondel. Voor een belangrijk deel komen daar *laagfrequente trillingen* vandaan. Die zijn dus hoorbaar want de frequentie ligt doorgaans tussen 20 Hz en 125 Hz.

B. Het geluid rondom de wieken

Dan is er het geluid rondom de draaiende wieken, met name die in de buurt van de tip ofwel van de uiteinden. Daar zijn de snelheden ten opzichte van de wind die er langs waait, het grootst. Vaak is dergelijk geluid te herkennen als geruis. Het heeft te maken met het zogeheten *achterrandgeluid* van wieken met frequenties globaal tussen 400 Hz en 4000 Hz. Dit ligt dus in het midden-gehoorgebied. In vergelijking met de andere belangrijke trilling-situaties kunnen we dat ook hoogfrequent noemen. Een ander deel heeft te maken met *instroomgeluid* en dit is zowel infrageluid, als laagfrequent geluid, als gewoon hoorbaar geluid met frequenties tot ongeveer 200 Hz.

Zie in dit verband de bijgevoegde figuur, uit de factsheet van het RIVM, met de tekst: “Figuur 2 Geluidsfrequenties die worden geproduceerd door windturbines. (Overgenomen van Pilot Kennisplatform Windenergie 2015)”.



Onze kritiek op deze figuur is niet alleen dat deze stamt uit 2015 en het daarmee geen moderne inzichten volgt, maar ook dat het gebied van het laagfrequent geluid anders is weergegeven dan volgens de definitie van het RIVM, waardoor er al veel vervelende misverstanden zijn ontstaan. En ook, en niet in de laatste plaats, dat infrageluid aangegeven is vanaf 1 Hz terwijl de passeerfrequentie van de mast door de wieken vaak onder de 1 Hz ligt en deze samenhangt met het hoorbare ritme van het geluid van de turbine.

C. Het infrageluid via de lucht

Deze wordt dus primair veroorzaakt door het passeren van de mast door een wiek. Deze *passeerfrequentie* ligt bij moderne windturbines normaalgesproken tussen 0,5 Hz en 1,2 Hz. Door de mast achter de wieken ontstaat in één keer over de volle lengte van de wiek een enorme ongekende drukvariatie, afwijkend van de normale drukverhoging aan de voorzijde van de wiek, de onderdruk aan de achterzijde en de wervelingen die dan bij het draaien van de wieken zullen volgen. Wat er gebeurt is, dat de standaard instromende lucht naar de wiek toe, aan de achterzijde en als gevolg van de onderdruk, door de mast wordt gehinderd en dit de plotselinge grote drukvariatie doet ontstaan die zich dan als een grote drukgolf uitbreidt. De frequentie is zodanig laag dat het onder infrageluid valt, want het is op zichzelf niet hoorbaar voor mensen.

Maar het is bij voldoende sterkte wel waarneembaar!

En naarmate de wieken en mast groter worden, zullen steeds meer mensen op een bepaalde afstand van de wieken dit infrageluid kunnen waarnemen.

Bovendien is het dus ook zo dat vanuit infrageluid en het al aangegeven verdringingsgeluid ook weer laagfrequent geluid kan ontstaan. Het verdringingsgeluid dat in de hierboven gegeven figuur is afgebeeld begint dus bij ongeveer 4 Hz en gaat tot ongeveer 8 Hz. Dus niet rondom de passeerfrequentie van 0,5 Hz tot ongeveer 1,2 Hz.

Infrageluid wordt makkelijk als irrelevant afgedaan, omdat men in plaats daarvan vaak direct over laagfrequent geluid gaat praten alsof er alleen boven 20 Hz belangrijke verschijnselen zijn.

We stuiten in dit verband op de volgende, niet onderbouwde en niet te onderbouwen, uitspraak in de factsheet: *“Infrageluid van windturbines is niet sterker dan infrageluid van andere bronnen, zoals wegverkeer en wind (van den Berg en van Kamp, 2020/2021)”* Hiermee wordt dus een narratief (een uitgesproken beschreven denkkader) gecreëerd die infrageluid als onbelangrijk wegzet.

3. Over emissie, filters en amplitudemodulatie

Logisch is het om in eerste instantie te kijken naar de hoeveelheid geluid of trillingen die bij de bron uitgezonden wordt. Dat is dus aan de *emissie* kant.

Tot nu toe wordt daarbij het geluidsniveau in beschouwingen bijna altijd in dB(A) gegeven. Dus de sterkte wordt dan aangeduid in dB(A), ofwel in deciBell gemeten met het A-filter. Met het A-filter wordt het gedeelte van het geluid in het midden gehoorgebied naar voren gehaald.

Anders gezegd, geluid buiten dat gebied wordt verzwakt. Dit gebeurt onder andere bij laagfrequent geluid, terwijl het al besproken infrageluid zelfs helemaal niet wordt meegewogen!

In de meeste beleidsmatige besprekingen over turbine geluid is het zo vanzelfsprekend om op deze wijze te werken, dat de waarden die in dit verband in overlegsituaties in dB aangegeven worden, *in feite automatisch die in dB(A) zijn*. Ondanks dat werken in dB in feite betekent, dat ongefilterd (ook wel lineair of als dB(Z)) wordt gemeten.

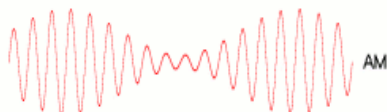
Deze geschetste gang van zaken zegt veel over de ontwikkeling van het meten en bepalen van de mate van geluidsoverlast. Het ging in de vorige eeuw vrijwel altijd alleen over verkeerslawaaï, burenlawaai, vliegtuiglawaai en dergelijke.

Infrageluid en vaak laagfrequent geluid werd toen niet erg belangrijk gevonden. Heel anders dus dan bij de windturbines die zich pas in de laatste 25 jaar tot echte bouwwerken van betekenis hebben ontwikkeld. Dit, terwijl bepaalde, nu nog steeds belangrijke, modellen vanuit de vorige eeuw nog steeds als dominant naar voren worden geschoven (door het ministerie en de windturbine branche) en er toen, met afstand, geen op turbines lijkende trillingsbronnen waren.

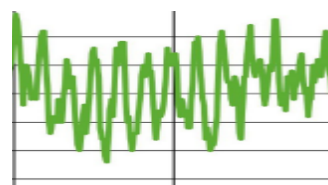
Bekend is dat laagfrequent geluid en infrageluid veel verder reiken dan het best hoorbare midden geluid en dat ze bovendien makkelijk om obstakels heenbuigen. Deze trillingen hebben veel meer energie, dus ook intensiteit (energiestroom-dichtheid) en amplitude (de maximale luchtdruk-uitwijking uit de evenwichtsstand). De trillingen dempen niet snel uit met het toenemen van de afstand in tegenstelling tot die bij de hogere frequenties.

Wanneer het speciaal om laagfrequent geluid gaat wordt dit vanuit de vorige eeuw wel gemeten met het C-filter. En als het om infrageluid gaat wordt nu nog steeds het G-filter aangegeven als een mogelijke belangrijke factor. Verderop in dit stuk komen de filters nog expliciet aan de orde. In de praktijk zal er in de nabije omgeving van een turbine dus altijd een combinatie zijn van de drie hierboven genoemde bronnen. Er is dus steeds sprake van *stapeling*. Voor objectieve meting op belangrijke afstanden van één turbine moeten we op een geschikte manier de som, ofwel de *cumulatie*, nemen van deze drie soorten. We krijgen daardoor *amplitudemodulatie* (AM). Het gaat om samengestelde trillingen waarbij de maximale uitwijking (amplitude) van de luchtmoleculen uit hun evenwichtstoestand niet alleen voortdurend varieert in relatie tot de fluctuatie van de bronnen, maar ook belangrijk is dat er een patroon ontstaat die gekoppeld is aan de passeerfrequentie.

In zijn meest eenvoudige vorm ziet AM er als volgt uit:



en in de praktijk wordt het meer dit:



Er is sprake van een periode of ritme dat gekenmerkt wordt door de Amplitude Modulatie Frequentie (AMF). Al veel langer dan windturbines bestaan is dit verschijnsel bekend vanuit de elektrotechniek. De AMF en de eerder genoemde passeerfrequentie zijn in feite dezelfde; het hangt immers samen met de cyclus van de drie wieken en de zich herhalende patronen, ofwel van de periodiciteit. Het bekende kenmerk daarvan wordt door omstanders snel herkend vanwege het duidelijk hoorbare gedeelte.

Dit laatste wordt in gematigde vorm en in directe zin meestal aangeduid als het woosh-geluid.

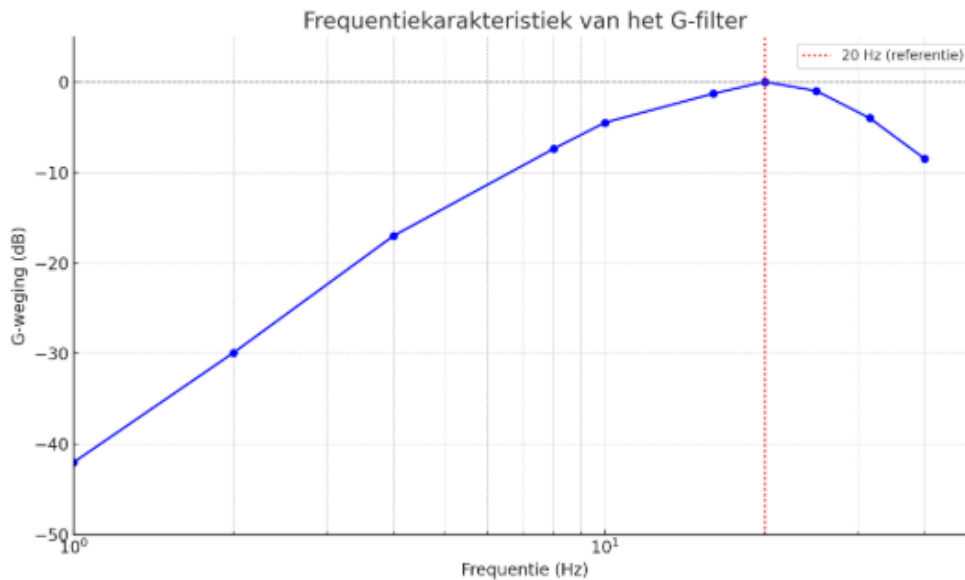
Opvallend is dat het RIVM in hun in januari 2025 gepubliceerde factsheet wel spreekt over amplitude modulatie (AM), maar volledig voorbijgaat aan het feit dat de passeerfrequentie in de buurt van 1 Hz ligt en dat dit de basis vormt voor de amplitudemodulatie.

Zij benoemen dit alleen als een belangrijk kenmerk: *“Kenmerkend voor windturbinegeluid is het zwiepende, zoevende en stampende karakter. Dit noemen we de amplitudemodulatie.”*

En in de toelichtende tekst: *“Eén van de kenmerkende eigenschappen van windturbinegeluid is ‘amplitudemodulatie’ ofwel het zwiepende, zoevende of stampende karakter dat omwonenden beschrijven. Bij amplitudemodulatie varieert de sterkte van het geluid met het tempo waarmee een wiek de mast passeert”.*

Hoewel het onderscheid met verkeerslawaaï en dergelijke, hiermee in feite benadrukt wordt, gaat het volledig voorbij aan de ontstaanswijze en aan het voor het begrip noodzakelijke natuurkundige inzicht. Belangrijke factoren worden hiermee verdoezeld. Zo is het eerder genoemde G-filter in het geheel niet geschikt is om de basisfrequentie van dit infrageluid te meten. Als er in relatie tot RIVM/GGD wel naar infrageluid verwezen wordt, wordt gezegd dat infrageluid geen rol speelt.

Het G-filter is gedefinieerd in ISO 7196 en stamt uit 1995⁵. De volgende karakteristiek is hier aan gekoppeld:



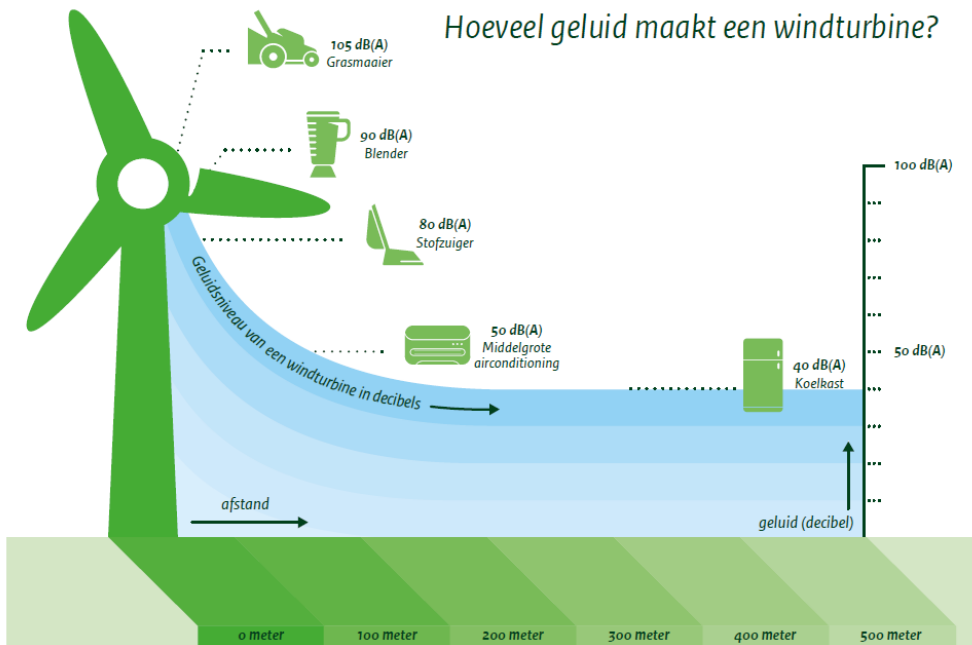
Het is bedoeld voor infrageluid tussen 1 en 20 Hz. Het frequentiebereik loopt in deze figuur dan ook vanaf 1 Hz tot 40 Hz. Bij 7 Hz is de verzwakking 10 dB, bij 3 Hz meer dan 20 dB en bij 1 Hz meer dan 40 dB.

De passeerfrequentie ligt bij windturbines ligt immers doorgaans onder de 1 Hz.

Het RIVM schiet hierin dus ernstig tekort.

En ook hun uitleg over de hoeveelheid geluid die een turbine maakt, aan de hand van de volgende figuur, is alleen in dB(A) en miskent dus de andere vormen die belangrijk zijn.

⁵ Acoustics — Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements



Figuur 1. Schematische weergave windturbinegeluid in vergelijking met andere bronnen.* (Op basis van RVO, 2016 met toestemming)

* Deze figuur geeft een schematische weergave, in werkelijkheid kunnen de geluidsniveaus en afstanden per situatie verschillen en zal het geluidsniveau na 300 meter nog verder afnemen.

Deze figuur is volgens eigen zeggen een schematische weergave met de informatie dat in werkelijkheid het geluidsniveau na 300 meter nog verder zal afnemen. Ja enkel in dB(A) kan dat, maar het miskent dus de effecten van infrageluid en laagfrequent geluid. Er zijn ook enkel vergelijkingen met goed hoorbare apparaten die we kennen van lawaai dat normaal alleen tijdelijk aanwezig is. Verder wordt er mee uitgesproken dat 40 dB(A) met de vergelijking met een koelkast een acceptabele grenswaarde is en via de toelichtende tekst dat er op afstanden boven de 300 m niet veel meer aan de hand is.

4. Secundaire trillingsbronnen vanwege een turbine

D. Zij-instroom van lucht op de wieken

Bij elke turbine zal er ook regelmatig zij-instroom van lucht op de wieken ontstaan. Dit gebeurt elke keer wanneer de windrichting wijzigt, wanneer windsterktes per hoogte verschillen (dit komt vooral 's nachts voor) of als de wieken vanwege vereiste sturing in of uit de wind gedraaid gaan worden. Er wordt wel gesproken van het onder bron C. al genoemde *verdringingsgeluid* met frequenties, volgens de factsheet van het RIVM, van 1 - 20 Hz en volgens de door hen in dezelfde factsheet gegeven figuur, van 4 - 8 Hz.

Het RIVM zegt letterlijk: *“Het gehoor is echter erg ongevoelig bij deze zeer lage frequenties. Ook bijvoorbeeld storm, branding van de zee of stadsverkeer produceren infrageluid, en ook daarvan horen we het ‘normale’ geluid en (meestal) niet het infrageluid.”*

Dit is dus een duidelijk bewijs van het niet goed onderkennen van de betekenis van het infrageluid en de verschijnselen rondom de diverse trillingsbronnen die ook de hoeveelheid laagfrequent geluid en de impact ervan zwaar onderschatten.

Vergelijkingen die in de factsheet gedaan worden met storm, branding van de zee of stadsverkeer zijn vergezocht.

De impact van lawaai vindt vooral 's nachts plaats wanneer de turbines alsmäär doordraaien en vrijwel alle verkeer geminimaliseerd is.

Stormen zijn er slechts af en toe. En de plaatsen waar de branding van de zee goed te horen is, zijn voor mensen die op zoek zijn naar een woonlocatie vooraf goed bekend.

Tenslotte moet onder deze noemer met nadruk gewezen worden op het gegeven dat verdringingsgeluid vanwege de zij-instroom op de wieken ook wegens de toenemende schaalvergroting steeds meer rechtstreekse laagfrequente en goed hoorbare effecten zal veroorzaken. De variatie in de instroom hoek tussen wind en wiek geeft een enorme boost aan laagfrequent geluid 's nachts en is ook nog eens onvoorspelbaar. Des te meer reden om windturbine-lawaai niet te vergelijken met stadsverkeer en dergelijke.

E. Eigenfrequenties van constructieonderdelen in de turbine

Met name in de zowel mast, als het fundament en in de wieken kunnen er plaatselijk op vervelende wijze harde trillingen ontstaan die te maken hebben met *eigenfrequenties* van onderdelen.

Deze trillingen kunnen doorgegeven worden aan de lucht in de omgeving of aan de bodem via de voet van de turbine.

Heel bekend is in de (werktuig)bouwkunde dat elke samenhangende deelconstructie zijn eigen specifieke frequentie heeft. Als je een klap geeft op een deelconstructie of via bepaalde systematische duwtjes ontstaan er trillingen met die eigenfrequentie. Denk aan een schommel of stemvork en dergelijke.

We praten dan over *resonantie*. Dit gebeurt met name als de regelmaat van de bron overeenkomt met één of meerdere *gehele trillingen*. We letten in dat geval ook op de gehele veelvouden van de eigenfrequentie, de *harmonischen*, omdat ook daar veel hardere trillingen kunnen ontstaan dan die van de oorspronkelijke frequentie. Het resonantieverschijnsel dat kan en bij gevarieerde obstakels als woningen zal optreden gaat gepaard met een grote amplitudetoeename van trillingen en dus met een grote sterkte.

F. Resonanties in en om de woningen

Meetrillen ofwel resoneren in en rondom constructiedelen van woningen in de omgeving is wel het meest onderschatte of weggelaten verschijnsel. Meestal zijn er delen van woningen met eigenfrequenties tussen 3 en 25 Hz. met uitschieters tot 30 Hz (dubbel glas) en zelfs 100 Hz (enkel glas) en onder 3 Hz zware gebouwen waaronder hoogbouw.

Bekend is dat infrageluid en laagfrequent geluid niet alleen verder reiken vanuit de bron, maar dat zij ook veel beter door materialen heen dringen of om obstakels heen buigen dan de hogere frequenties. Dus in pandig en in de luwte achter obstakels of schermen zijn ze nog relatief sterk aanwezig. Zo kunnen deze trillingen via zowel open als gesloten ramen binnendringen en kan een kamer ook als *klankkast* gaan fungeren. Golven gaan dan ook daar terugkaatsen en op elkaar inwerken en daardoor bepaalde tonen

genereren of plaatsen creëren met zowel kleine als grote amplitudes dicht bij elkaar. Omwonenden en huisdieren proberen soms in huis plekken te vinden met de minste hinder.

Er blijkt uit toegepaste analyses van de mogelijke in huis aanwezige frequenties, dat er duidelijke resonanties worden gezien.

Tot zover over één enkele turbine.

5. Schaalvergroting en het door het RIVM geschetste kader

In dit verband wijzen we hier nadrukkelijk op *één van de meest wezenlijke factoren* waardoor tot op heden allerlei onvoorziene situaties hebben kunnen ontstaan.

Dat is namelijk vanwege de *snelle en vrijwel onnavolgbare schaalvergroting* van de turbines!

Het is dan zo dat in de ontwikkeling bepaalde gedachtepatronen en modellen steeds een grote rol spelen. Zowel in de technische ontwikkeling als in het noodzakelijke onderzoek naar de effecten op de leefomgeving. Die modellen zijn onontbeerlijk in de ontwikkeling, maar kunnen aanvankelijk enorm tekortschieten. Onderzoek doen en prototypes ontwikkelen zijn van het grootste belang. Technische faalmechanismen moeten natuurlijk rechtstreeks vermeden worden. En in de effecten op de leefomgeving moeten relevante aspecten afzonderlijk en in samenhang met andere factoren die kunnen optreden zorgvuldig onderzocht worden.

De uitdaging voor overheden in overleg met fabrikanten is om de effecten op de leefomgeving rondom de schaalvergroting beter te begrijpen en goed te onderzoeken!

In dat verband hoort het *grondwettelijk geborgde voorzorgsprincipe leidend te zijn*.

Onbegrijpelijk is dat het RIVM in hun huidige factsheet en de GGD in voorlichting naast de beperkte weergave van AM ook nog het volgende stellen: *“Het aandeel laagfrequent geluid en infrageluid van windturbinegeluid is vergelijkbaar met dat van andere alledaagse bronnen, zoals verkeer”*.

Het is gewoonweg niet waar! Verkeer kent niet of nauwelijks de factor infrageluid en het gaat voorbij aan al het laagfrequente geluid vanwege het verdringingsgeluid en vanwege mogelijke resonanties juist vanwege AM. Bovendien is het strijdig met het gegeven dat het RIVM wel degelijk amplitudemodulatie noemt als een kenmerk van windturbinegeluid. Iets wat verkeer en de meeste andere lawaaibronnen niet kennen. Men baseert zich dan vooral op berekende waarden op basis van uitgangspunten die al lang niet meer kloppen.

Inmiddels is ook duidelijk uit een scala aan verschijnselen en uit actueel internationaal onderzoek, dat er al veel lessen geleerd zijn. Het gaat hier om oorspronkelijk ingeslagen weg, met het zo snel mogelijk realiseren van nog niet onderzochte turbines, met hoogtes die nog niet eens ontwikkeld zijn. Voor de twijfelaars en voorstanders daarvan is er alle reden om een pas op de plaats te maken en eenmaal gedane aankondigingen en toezeggingen te heroverwegen.

We noemen in concrete zin de relatie tot (ernstige) hinder, tot vervuiling, tot de relatief veel voorkomende calamiteiten en tot noodzakelijke reparaties en onderhoud.

Dat windturbines op zee nu te duur zijn heeft ook alles te maken met de schaalvergroting, het noodzakelijke onderhoud en de vereiste reparaties.

In algemene zin noemen we het door velen gehanteerde principe van '*de groene deur*'. Dit mag niet leiden tot kritiekloos volgen van de oorspronkelijke motiveringen. Nog steeds is vaak het mantra dat de nieuwe normen niet of nauwelijks zullen afwijken van de conceptnormen in de huidige lopende MER-procedure en dat de afstandsnorm twee keer de tiphoogte gaat worden. Dit laatste is al niet gebaseerd op de conceptnorm en ook niet op het richtsnoer van de landelijke overheid. Het is bovendien met afstand de slechtste normering in West-Europa.

6. Clusters van windturbines, immissie en rekenmodellen

Tegenwoordig is er meestal in de praktijk en in relatie tot trillingen en geluid steeds sprake van *een groep of cluster van windturbines*. Bij voorkeur spreken we niet van windparken, want het woord windpark doet geen recht aan wat het in feite is. Een park wordt primair gevormd door levend groen en is ingericht ter ontspanning.

Behalve dat turbines in een cluster elkaars geluidsproductie beïnvloeden en daardoor regelmatig extra amplitudemodulatie veroorzaken, letten we met name op de plaatselijke effecten in de omgeving van het cluster.

Afhankelijk van plaats, atmosferische condities, windrichting en afstand zullen er per plaats dus meerdere turbines met de genoemde bronsoorten invloed hebben.

Het kan zijn dat 1 bepaalde turbine dominante effecten heeft en de andere daarbij in het niet vallen, maar het kan ook zomaar zijn dat er 2 of 3 of zelfs nog meer turbines bij elkaar, dus *cumulatief*, een niet te verwaarlozen rol spelen.

Tot op heden wil men vaak laten geloven dat een afstandsnorm van twee keer de tiphoogte een veilige norm zou kunnen zijn. In dat geval gaat het in de tegenwoordige discussies meestal om afstanden van circa 500 m van één enkele turbine. En dan zal bijna altijd de afstand tot de dichtstbijzijnde dominant zijn. Dat wordt heel anders op basis van de realistische stellingname van het begin van dit document. Bij 2 km afstand zullen er zeker ook andere windturbines uit het cluster aanzienlijke invloed hebben.



Het resultaat is een enorm gevarieerd trillingen of golfpatroon:

Aan de immissiekant bereiken samengestelde en amplitudegemoduleerde trillingsgolven de gevels of daken van woningen. Op wat grotere afstand zal het geruis, dat hoogfrequent is, in verhouding tot de laagfrequente- en infrageluidsgolven van ondergeschikt belang zijn.

Dus laagfrequente- en infrageluidsgolven zullen in belangrijke mate het uiteindelijke geluidsdrukniveau (SPL-Sound Pressure Level in dB) bepalen. Die hebben grote amplitudes, bevatten de meeste energie en buigen ook nog eens makkelijk om obstakels heen. Dit soort

golven dringt makkelijk door allerlei materialen en het kan ook nog eens constructiedelen via resonantie in trilling brengen. In dat verband is het al eerder genoemde verschijnsel van eigenfrequenties belangrijk. Nu dus bij de woningen van omwonenden!

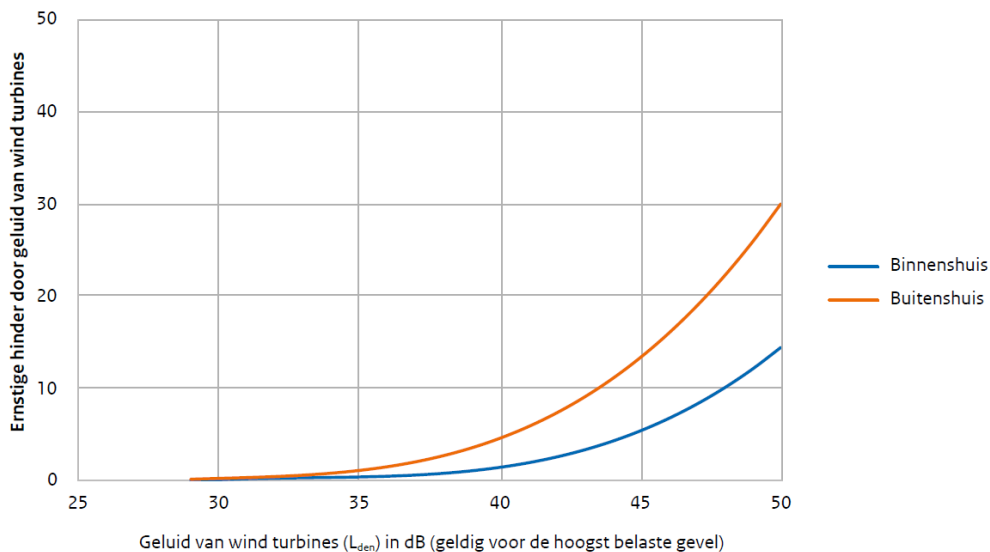
Allemaal redenen waarom alleen de sterkte meten op de gevel van woningen ernstig tekortschiet.

Bekend is ook dat situaties die te maken hebben met emissie en immissie doorgerekend worden naar zowel geluidsdrukniveau in dB(A) als ervaren ernstige hinder bij personen in de woning. Dit gebeurt onder andere via de ISO-9613 methode, de in Nederland gehanteerde akoestische rekenmethode volgens een methodiek uit de jaren 90. Deze methode is desondanks vastgelegd in het Activiteitenbesluit uit 2011, maar dus niet gevalideerd voor de windturbines die er nu staan.

En dat is met nog veel meer *modellen en rekenprocedures* die tot nu toe vanuit de overheid gebruikt worden en de genoemde essentiële manco's hebben. Ze mogen gewoonweg niet gebruikt worden.

We noemen verder hier In concrete zin:

- De jaargemiddelde L_{den} norm, die alleen al door het gebruikmaken van een jaargemiddelde het handhaven onmogelijk maakt. Het werkt slechts op basis van dB(A), en ontkent de impact van laagfrequent geluid en infrageluid. Bovendien is het gebaseerd op dosis-effectrelaties tussen geluid in dB(A) en ernstige hinder bij omwonenden, zie hieronder de figuur 4 uit de factsheet van het RIVM. De figuur dateert uit 2008 en hanteert ook weer de effecten op basis van ISO-9613.

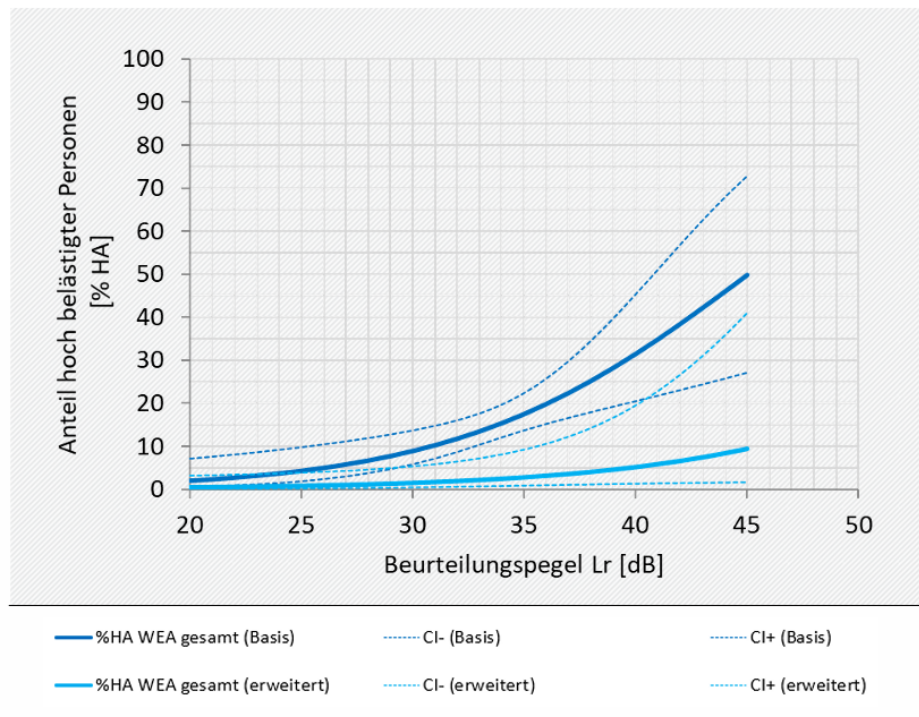


Figuur 4. Relatie tussen geluid van windturbines L_{den} (op de gevel, buitenshuis) en het percentage ernstig gehinderden binnenshuis en buitenshuis door windturbines (Janssen et al., 2008, overgenomen uit Welkers et al., 2020).

- Gezien alle factoren die op basis van de huidige onderzoeken blijken, kunnen we een goede normering in het gewogen gemiddelde L_{den} tot op dit moment uitsluiten. Berekening van een immissie- L_{den} van enige waarde is onmogelijk.

- De voorgestelde concept milieunormen met de gegeven onderbouwing van bureau Peutz, op basis van de Vercammen curve en NSG-curve voor laagfrequent geluid, deugen niet. Deze curves en hun betekenis bestonden al aan het einde van vorige eeuw. Zij zijn *niet gevalideerd* voor het turbinelawaai in het algemeen en zeker niet die van de huidige generaties.
- Dosis-effectrelaties van een modern onderzoek als die van de Umweltbundesamt van Schmitter et al.⁶⁷, uit 2022, geven heel andere uitkomsten dan in de vorige figuur

Figure 6: Percentage of persons who are highly annoyed (% HA) by wind turbine noise, total



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

Anteil hoch belästigter Personen [%HA] = Percentage of highly annoyed persons [%HA]; Beurteilungspegel Lr [dB] = Noise rating level Lr [dB]; %HA WEA gesamt(Basis) = %HA WT total (basic); %HA WEA gesamt(erweitert) = %HA WT total

Let op Lr is het door hen berekende geluidsniveau volgens de Lden benadering. De dikke donkerblauwe lijn geeft bij 35 dB ongeveer 16 % ernstig gehinderden tegen ongeveer 2 % buitenshuis in de figuur van het RIVM.

- Er is in de afgelopen 15 jaar geen infrageluid bron vergelijkbaar met die van de grote windturbines. Daardoor zijn de effecten daarvan altijd maar tot op zekere hoogte vergelijkbaar met praktische en laboratoriumonderzoeken van eerdere datum. Het gebruik van het G-filter voor infrageluid hoort daar nadrukkelijk ook bij.

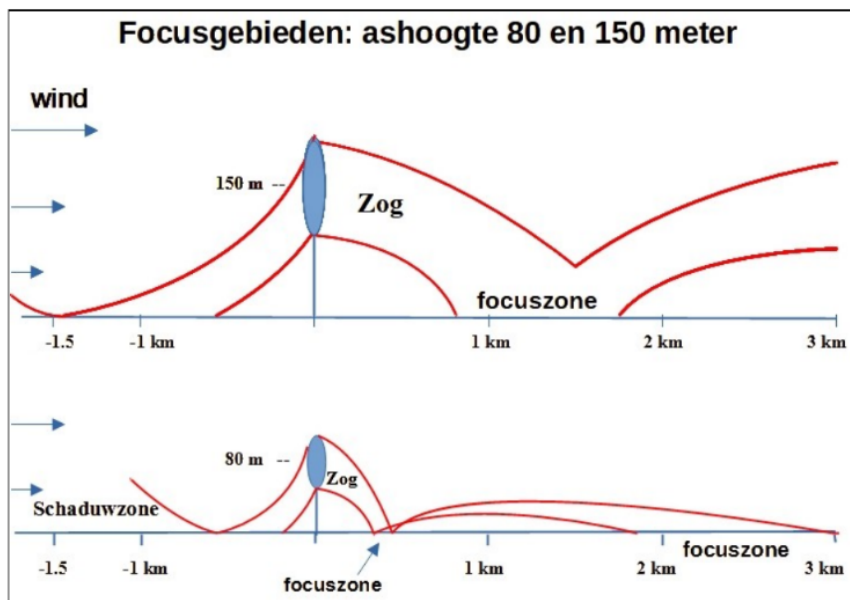
⁶ https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/54/012/54012793.pdf?r=1

⁷ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/noise-effects-of-the-use-of-land-based-wind-energy>

7. De geluidvoortplanting en overdracht

In de *overdracht* van lawaai van turbines naar slaapkamers van woningen zijn nog enkele andere factoren van het grootste belang. Zie met name het rapport van Baart de la Faille ⁸

- Turbines draaien dag en nacht door. En 's nachts gebeuren in dit verband de belangrijke zaken. Het is veel stiller want omgevingslawaai is dan beperkt en het geluid valt veel meer op. Daarnaast is het normaal gesproken vereist dat de meeste mensen dan zullen rusten en slapen.
- De trillingen vallen dan des te meer op. We kennen bijna allemaal wel de druppelende kraan die je in bed soms kan horen en die voor nogal wat mensen gekmakend is. Het is dan niet de sterkte in dB die bepalend is, maar het ritmische van het geluid dat alsmaar doorgaat. Bij windturbines kunnen we dit vergelijken met constante AM.
- De verspreiding van geluid rondom een windturbine is zeer richtingsgevoelig met per richting en per zone grote verschillen. Met name in de windrichting mee, achter de turbine. Geluid wordt door windsnelheidsverschillen snel of langzaam meegenomen, dit is zeer plaatsafhankelijk, buigt af naar de grond en kan voor grote verschillen in geluidniveau zorgen. Dan kan er ook meer geluid op grotere afstand optreden dan op bepaalde plaatsen dichterbij. Zie ook de focuszones in de figuur hieronder. Er is inmiddels wetenschappelijk brede consensus dat, vooral bij meteorologisch stabiele omstandigheden die vooral in de zomer heel frequent s'nachts optreden, er grote afwijkingen van het conventionele akoestisch rekenmodel ontstaan.



Figuur 2: Principeschets focusgebieden bij neutrale atmosfeer voor lage en hoge windturbines. Locatie van focusgebieden is sterk afhankelijk van nachtelijke windmaxima (NWM), windkracht en turbulentie.

Het Activiteitenbesluit gebaseerd op ISO-9613 houdt met al deze effecten geen rekening. Focusgebieden met hoge geluidniveaus en ernstige hinder worden daarom niet onderkend.

NB: Afbuiging is vertekend door verticale schaalvergroting

- De atmosferische omstandigheden zijn 's nachts heel anders dan overdag. Daardoor gaat de voortplanting ook heel anders en afhankelijk van de specifieke omstandigheden kan dit in bepaalde richtingen ook veel verder gaan.
- Om dezelfde reden zal zelfs de productie van lawaai regelmatig in een rustige stabiele atmosfeer, door verschillende snelheden in luchtlagen en door grote fluctuaties van windsnelheden, extra hoog worden.
- Door wisselende windsnelheden en daardoor wisselende draaisnelheden zullen er op onvoorspelbare momenten, mede door resonanties, andere frequenties en geluidsniveaus in huizen optreden, waardoor de amplitudemodulatie dan weer sterker en dan weer zwakker is. Dit geeft extra hinderlijke effecten.
- Steeds moet rekening gehouden worden met de invalshoek van de lucht op de wieken. In principe is dat de lijn van de bron naar de woning. Door de enorme hoogte van de turbine zal de basishoogte van de bron enorm variëren, waardoor ook meer het dak dan de gevel primair bereikt gaat worden. In dit kader kunnen obstakels in de omgeving zorgen voor buiging en daardoor ook andere invalshoeken.

8. Lineair meten en statistisch meten

Al aangegeven is dat het ritmische karakter van het lawaai van windturbines met de bijbehorende amplitudemodulatie een bijzonder eigen verschijnsel is. Daarom vraagt het om een wezenlijk andere benadering.

Op basis van het bovenstaande kan ook gesteld worden dat een betrouwbare berekening van wenselijke en beschermende geluidsniveaus in dB(A) niet mogelijk is. Daarom zijn dosis-effectrelaties enkel en alleen op basis van dB(A)-meting zowel als -berekening ongeschikt en zullen er in de plaats daarvan of een aanzienlijk aantal aanvullende eisen gesteld moeten worden.

Ongefilterd meten, ofwel lineair meten, ook wel weergegeven in dB(Z), is daarbij voorwaardelijk voor toetsing van de effecten teneinde alle belangrijke factoren mee te kunnen wegen.

Amplitudemodulatie moet beter in kaart gebracht worden. Wat doen de pieken of amplituden in de trillingen? En wat doet het geluidsniveau (SPL) over een relatief korte periode? Ook: wat doet het effect van modulatie diepte (de mate van amplitude variatie in de trillingen) in relatie tot intensiteit (energiestroom dichtheid)?

Er moet nog veel meer onderzocht worden.

Men dient zich te realiseren dat de snelheid van de draaiende wieken voortdurend aan verandering onderhevig is, net als de atmosferische omstandigheden. Daardoor moet men voorzichtig zijn met het werken met relatief simpele aannames. Toetsing door onafhankelijke onderzoekers en instanties is essentieel.

Het ontbreken van vertrouwen in de overheid en van draagvlak voor invoering van de turbines speelt een grote rol. Gevaar en angst verhogen het waarnemingsniveau van mens en dier. Het zal extra impact hebben op ervaren ernstige hinder en slapeloosheid! Draagvlak was aanvankelijk de voorwaarde, werd er vanuit de politiek geroepen. Critici werden weggezet als klimaatontkenners. Maar het huidige wegmoffelen van het ontbreken van het draagvlak en het vervangen daarvan door de ongrijpbare financiële participatie is een veeg teken.

Meting met alleen het A-filter schiet dus ernstig tekort. De relatie met amplitudemodulatie en de bijbehorende effecten wordt er niet zuiver door aangegeven. En ook alleen laagfrequent geluid met het bijbehorende C-filter zegt nog niets als het niet specifiek gebruikt wordt voor nader onderzoek. Om over infrageluid en de bijbehorende verschijnselen nog maar te zwijgen. Vanuit de vorige eeuw kwam dus het G-filter naar voren in relatie tot infrageluid. Behalve dat dit 30 jaar geleden is afgesproken, toen er van de laatste generaties windturbines in het geheel nog geen sprake was, moet hier opnieuw benadrukt worden dat het G-filter de geluidsdrukniveaus in de buurt van de bladpasseerfrequentie, dus tussen 0,5 en 1,2 Hz, voor het overgrote deel wegfilt. We kunnen dat bijvoorbeeld zien in de volgende figuur⁹:

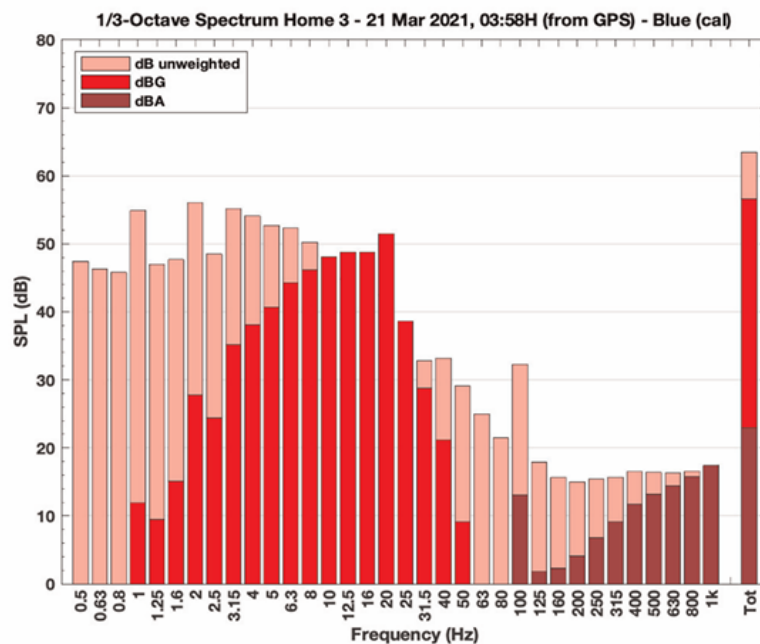


Figure 2.

Comparison of acoustical data acquired with unweighted, G-weighted, and A-weighted systems (10-minute average). Note that between 10 and 25 Hz the G-weighting sound pressure levels are defined to be higher than the unweighted values. (See Section 2 below for detailed methodological capture of this data in Home 2).

en daarnaast moeten we, als aangegeven, steeds rekening houden met de harmonischen die uit dezelfde bron voortkomen. In de figuur hieronder springen die bij 20 Hz en 40 Hz er wel uit.

⁹ Uit Open Access books:

Infrasound Exposure: High-Resolution Measurements Near Wind Power Plants

Huub Bakker, Mariana Alves-Pereira, Richard Mann, Rachel Summers and Philip Dickinson

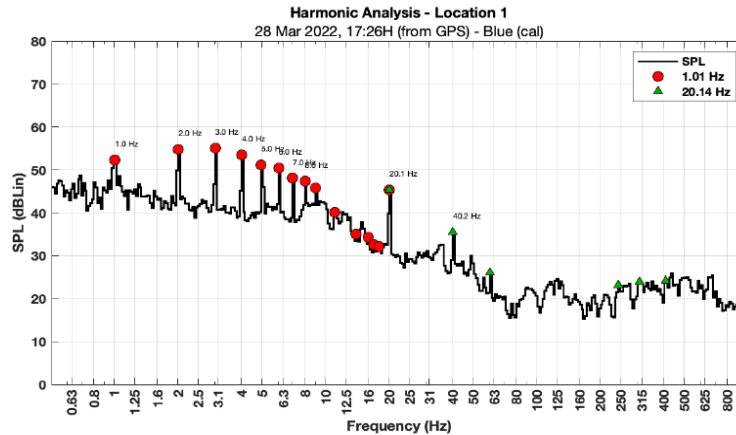


Figure 3. Ten-minute segment recorded at Location ONE, Rural Sheep Farm, Scotland, starting at 17:26H (28 Mar 2022, Wsp = 1.9 m/s (7 km/h), Wdir = NW, microphone in Office). IARO Analysis in 1/36th octave bands, sound pressure levels in unweighted dB, and 1-second time averages.⁹⁶

Een andere vorm van zinvol meten is die via de statistische benadering.

Het volgende wordt vermeld voor het bredere perspectief. Benadrukt wordt daarbij dat het RIVM in een recente publicatie van 28 februari jl. hier cijfers van veel latere datum geeft dan in de factsheet 'Gezondheidseffecten van windturbinegeluid'. Die was nog wel in januari 2025 wat aangepast, maar dus niet wat betreft de meeste behandelde informatie. Die reikt immers tot begin 2021.

De cijfers zijn afkomstig van het "Onderzoek Beleving Woonomgeving (OBW) Hinder en slaapverstoring in 2023". Uit die cijfers kan afgeleid worden dat nu al ruim 70.000 mensen *ernstige slaapverstoring door windturbines* aangeven.¹¹ Dat is 4 keer meer dan 3 jaar eerder.

Dit is op zichzelf al reden om uit voorzorg te gaan handelen. Maar als je belangrijke recente literatuur neemt waarin meer is gedaan dan alleen meten in dB(A) en de relatie is gelegd met ernstige hinder bij omwonenden dan blijkt dus dat er boven 35 dB(A) op gevels van huizen al een ontoelaatbare hoeveelheid ernstige hinder bij omwonenden gaat optreden.

Kortom, door een groot onbegrip van de belangrijke verschijnselen en door de getoonde halsstarrige houding is Nederland al jarenlang op weg naar een catastrofe voor heel veel Nederlanders vanwege het plaatsen van IWT's. Voor een verdere ontwrichting van de onderlinge verhoudingen in de samenleving moet ernstig gevreesd worden.

¹¹ <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7327319668942139392/>