

## MEMO

### Gezondheidseffecten van windturbinegeluid: een update

Vragen over gezondheidseffecten spelen een prominente rol in lokale discussies over de plannen voor uitbreiding van het windpark in Nederland, Zwitserland en elders. Het Zwitserse Federale Milieubureau vroeg het RIVM de literatuur verschenen tussen 2017 en medio 2020 op een rij te zetten, over het effect van geluid van windturbines op de gezondheid van omwonenden.

Het RIVM en Mundonovo sound research verzamelden de wetenschappelijke literatuur over het effect van windturbines op ervaren hinder, slaapverstoring, hart- en vaatziekten en de stofwisseling. Ook werd bekeken wat bekend is over hinder door de visuele aspecten van windturbines en andere niet-akoestische factoren, zoals het lokale besluitvormingsproces.

Uit de literatuurstudie blijkt dat hinder optreedt als gevolg van geluid: hoe sterker het geluid (in dB) van windturbines, hoe groter de hinder ervan. Uit de literatuur bleek niet dat het zogeheten 'laagfrequent geluid' \* (lage tonen) van windturbines voor extra hinder zorgt tot die gerelateerd aan "gewoon" geluid. Voor andere gezondheidseffecten zijn de resultaten van wetenschappelijk onderzoek niet eenduidig: deze effecten hangen niet duidelijk samen met het geluidniveau, maar soms wel met de ervaren hinder. Deze resultaten onderbouwen de eerdere conclusies van een vergelijkbare opdracht drie jaar geleden. \*\*

De literatuur liet duidelijk zien dat omwonenden minder hinder hebben van de windturbines als ze betrokken werden bij de plaatsing ervan. Door mee te kunnen denken over de plaatsing en de balans tussen kosten en baten, ervaren omwonenden minder hinder. Het is daarom belangrijk zorgen van omwonenden serieus te nemen en hen te betrekken bij het planningsproces en de plaatsing van windturbines.

*Om een volledig beeld te geven van bovenstaande samenvatting kan het volledige document doorgenomen worden. Om de leesbaarheid van dit Engelstalige wetenschappelijke artikel te verhogen hebben we de conclusies laten vertalen naar het Nederlands. Deze vindt u verderop in deze memo*

### Onderzoek naar gezondheidsklachten ten gevolge van Windmolens in Nederland

De GGD Groningen voert vierjaarlijks de GGD Gezondheidsmonitor uit. Dit is een landelijke vragenlijst die door een afspiegeling van de bevolking wordt ingevuld. De vragen in de Gezondheidsmonitor gaan o.a. over de ervaren gezondheid, lifestyle, invloed van de leefomgeving etc. Een paar vragen gaan over hinder door windturbines. Hierdoor krijgt de GGD een indicatie van de hoeveelheid gehinderden door windturbines in bepaalde regio's van de provincie, en kan dit vergelijken met andere regio's. De GGD Gezondheidsmonitor heeft een groot bereik en kan een aanknopingspunt zijn voor verder onderzoek, bijvoorbeeld door het opnemen van extra vragen. De verwachting is dat in de zomer van 2021 de resultaten van de recentste GGD Gezondheidsmonitor bekend zijn.

Verder komt er in het voorjaar van 2021 een RIVM factsheet over windturbines en gezondheid. Later dit jaar komt er nog een briefrapport van het RIVM over risicoperceptie bij omwonenden van windturbines.

- \* Voor een uitleg van laagfrequent geluid zie het RIVM rapport:  
<https://www.rivm.nl/sites/default/files/2020-09/Factsheet%20laagfrequent%20geluid.pdf>
- \*\* Er zijn verschillende jaren waarin RIVM rapporten/publicaties heeft uitgebracht.  
In 2017: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40857-017-0115-6>  
In 2013: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/200000001.pdf>

## Uitgebreide conclusies

De hieronder staande conclusies komen uit het RIVM rapport:

### ***Health effects related to wind turbine sound: an update***

RIVM report 2020-0150

I. van Kamp | G.P. van den Berg

<https://www.rivm.nl/publicaties/health-effects-related-to-wind-turbine-sound-update>

### **5.1 Conclusies uit hoofdstuk 3**

De conclusies over de gezondheidseffecten van windturbinegeluid zijn sinds onze review uit 2017 niet fundamenteel gewijzigd. In het algemeen is er een verband gevonden tussen het geluidsniveau van windturbines en de ondervonden hinder. Verder lijkt een verband met slaapverstoring aannemelijk, hoewel een rechtstreekse relatie nog onzeker is vanwege het beperkte aantal onderzoeken en de soms tegenstrijdige bevindingen. Over het algemeen is er sterker bewijs voor zelfgerapporteerde slaapeffecten dan voor objectieve slaapindicatoren.

De *evidence reviews* met betrekking tot hinder, slaap, cardiovasculaire en metabolische effecten en cognitie en geestelijke gezondheid voor de WHO (Guski et al, 2017) (Basner & McGuire, 2018) (van Kempen et al, 2018) (Clark & Paunovic, 2018) omvatten ook windturbinegeluid. Samen met enkele reviews en updates van hoge kwaliteit is er nu een meer solide basis voor de eerder getrokken conclusies. Het aantal en de grootte van de onderzoeken alsmede de kwaliteit van de bewijzen met betrekking tot hinder en slaapverstoring rechtvaardigen dat er een meta-analyse wordt uitgevoerd. Hierbij wordt aanbevolen om onderscheid te maken tussen objectieve en subjectieve slaapindicatoren. Voor verschillende klinische resultaten en resultaten met betrekking tot geestelijke gezondheid neemt de hoeveelheid bewijs ook toe, maar het aantal onderzoeken is nog te beperkt om een dergelijke meta-analyse uit te voeren.

Sinds 2017 zijn er verschillende onderzoeken gepubliceerd over het verband tussen windturbinegeluid en cardiovasculaire effecten zoals ischemische hartziekten (aandoeningen van het hart als gevolg van vernauwingen van de kransslagaderen), beroertes, en het gebruik van medicatie tegen hoge bloeddruk. Er werden geen significante effecten gevonden. Een uitzondering hierop is de zogenaamde Danish Nurse Cohort Study (een onderzoek onder Deense verpleegkundigen), waarbij volgens de auteurs 'veelzeggende aanwijzingen' ('suggestive evidence') zijn gevonden voor een verband tussen langdurige blootstelling aan windturbinegeluid en boezemfibrilleren bij vrouwelijke verpleegkundigen. Mogelijk is het fibrilleren een gevolg van (chronische) hinder, hoewel er in hetzelfde cohort geen verband werd gevonden met beroertes of ischemische hartziekten.

Naar aanleiding van de review over resultaten op het gebied van hinder, slaapverstoring, cardiovasculaire en metabole gezondheid (Van Kamp et al, 2020a) zijn twee onderzoeken uitgevoerd naar het verband tussen windturbinegeluid en de incidentie van diabetes. Uit geen van beide onderzoeken bleek een verband tussen windturbinegeluid en zelfgerapporteerde of gediagnosticeerde diabetes. Ook is er geen bewijs voor een verband tussen windturbinegeluid en obesitas.

Op het gebied van geestelijke gezondheid en levenskwaliteit bestaat onvoldoende bewijs voor een direct verband met windturbinegeluid. Er zijn geen onderzoeken uitgevoerd naar cognitieve effecten in relatie tot windturbinegeluid. Voor laag geboortegewicht of kanker zijn geen significante verbanden gevonden met windturbinegeluid.

Ondanks de beperkte hoeveelheid bewijs is er een blootstelling-effectrelatie (EER) opgesteld voor windturbinegeluid in de richtlijnen van de WHO (WHO Guidelines, WHO, 2018). De bijbehorende grenswaarden waren voorwaardelijk. In de huidige richtlijnen "Environmental Noise Guidelines for the European Region" wordt een maximaal geluidsniveau van 45dB (Lden) aanbevolen voor windturbines. Dit is gebaseerd op een prevalentie van 10% die zeer veel hinder ervaart (omschreven als 'highly annoyed') (WHO, 2018). Verder merkt de Wereldgezondheidsorganisatie op dat blootstelling aan geluid door omgevingsbronnen zoals een windturbine beperkt kan worden met behulp van eenvoudige maatregelen, zoals het isoleren van ramen of het

aanleggen van geluidschermen (WHO, 2018). Dankzij meta-analyse op basis van het bewijs sinds 2014 kan een betere EER voor hinder en voor slaap worden geformuleerd.

De algemene EER voor hinder van windturbinegeluid omvat alle aspecten die van invloed zijn op ondervonden hinder, en geeft dus het gemiddelde weer over alle lokale situaties. Daarom kan de EER slechts een indicatie geven van het verwachte hinderniveau van een lokale situatie. Uit één onderzoek blijkt dat deze EER ook gebruikt kan worden voor de meer recente grotere turbines (3 tot 5 MW). In een poging om een samengestelde hindermaatstaf te ontwikkelen waarin de ondervonden hinder wordt samengevoegd met andere factoren dan geluid, hebben Michaud et al (2018b) aangetoond hoe complex de hinder als gevolg van windturbines is. Freiberg et al (2019) bevelen aan dat onderzoeken rekening houden met deze complexe hinder-routes als resultaatparameter - die wordt beïnvloed door verschillende moderatorvariabelen - of als mediatorvariabele voor andere gezondheidsresultaten. Een samengestelde maatstaf bestaande uit meerdere soorten blootstellingen aan windturbines biedt een veelbelovende koers voor de toekomst.

Zonder de pretentie volledig te zijn, zien we dat gevoeligheid voor geluid, houding ten opzichte van windturbines, visuele aspecten en economische voordelen opnieuw de belangrijkste mediators en moderators blijken.

In epidemiologische studies en experimenten werd opnieuw het typerende karakter van windturbinegeluid benoemd als een van de belangrijkste problemen. Vooral de ritmische aard van het geluid (technisch: amplitudemodulatie, of AM) wordt ervaren als hinderlijk en beschreven als zwiepend of suizend. In woongebieden is het geluidsniveau van windturbines bescheiden in vergelijking met andere bronnen zoals wegverkeer of industrielaawaai. Bij hetzelfde geluidsniveau wordt het geluid van windturbines echter als hinderlijker ervaren dan geluid van andere bronnen. Dit wordt bevestigd door recente onderzoeken (bijv. Klæboe, 2016). Uit akoestische analyses in een nieuw onderzoek is gebleken dat amplitude-gemoduleerd geluid een van de belangrijkste oorzaken is van de klachten. In het algemeen wordt de conclusie nog steeds ondersteund dat de ervaren hinder toeneemt naarmate de amplitudemodulatie toeneemt, maar AM is geen eenduidige oorzakelijke factor. Uit verschillende nieuwe experimenten bleek dat de respons (in termen van ondervonden hinder) in grote mate voorspeld kan worden op basis van de AM in combinatie met visuele aspecten. Het is de moeite waard het gecombineerde effect van beide aspecten verder te onderzoeken in grote groepen en buiten het laboratorium.

In bepaalde studies werd het effect van landschapsevaluatie en andere visuele aspecten onderzocht. Er wordt aangenomen dat chronische hinder door deze fysieke factoren en door geluid verwant is met stress, en er is afdoende bewijs dat stress een negatief effect op de gezondheid en het welbevinden van mensen kan hebben. Er is echter geen bewijs voor een direct verband tussen visuele aspecten van windturbines en gezondheidseffecten. In verschillende onderzoeken zijn de bepalende factoren van acceptatie uitgebreid geëvalueerd. Hieruit bleken participatie in het besluitvormingsproces, co-eigenaarschap (letterlijk en symbolisch), en gebruik van lokale energie belangrijke aantrekkingsfactoren te zijn.

De algehele conclusie is dat mensen eerder bereid zijn windturbines in hun omgeving te accepteren wanneer ze kunnen meedoen aan de besluitvorming, de turbines het eigendom zijn van een groep omwonenden, wanneer de opgewekte energie niet wordt geëxporteerd maar in de omgeving wordt gebruikt, en wanneer er in het algemeen een mate van controle wordt ervaren. Dit sluit aan bij de conclusies over de rol van deze factoren bij het afzwakken van de nadelige effecten van andere bronnen, zoals vliegtuiggeluid (Ansensio et al, 2017) (Lercher et al, 2017) (Haubrich, 2020). Gezondheid speelt vaak een rol in de discussies rond windparken, maar het ingebrachte bewijs over gezondheidseffecten is vaak tegenstrijdig.

## **5.2 Conclusies uit hoofdstuk 4**

De uitkomsten van onze eerdere review worden grotendeels bevestigd door recente onderzoeken: de perceptie van infrageluid en laagfrequent geluid komt in het algemeen overeen met wat we weten uit de literatuur, en er is geen indicatie dat infrageluid dat ver beneden de gehoordrempel ligt enig effect op mensen kan hebben.

Met uitzondering van één onderzoek blijkt uit alle onderzoeken die sinds 2017 zijn gepubliceerd dat infrageluid en laagfrequent geluid worden verwerkt in de auditieve cortex, of gehoorschors, waar ook normaal geluid

wordt verwerkt. Bovendien komen gehoordrempels die gebaseerd zijn op hersenactiviteit overeen met de gehoordrempels die zijn gebaseerd op 'klassieke' psychoakoestiek. De hersenstudies tonen ook aan dat de geluidssterkte van infrageluid en zeer laagfrequent geluid in vergelijking met normaal geluid zeer snel toeneemt, wat we ook weer weten dankzij de 'klassieke' psychoakoestiek. Een nieuw inzicht is dat individueel ervaren geluidssterkte beter correleert met hersenactiviteit dan met het niveau van het geluid. Mogelijk houdt dit verband met geluidsgevoeligheid, waarbij een zeer gevoelig iemand een bepaald geluidsniveau als luider ervaart dan een minder gevoelig persoon.

Eén onderzoek (Weichenberger et al, 2017) suggereert dat er een verband is tussen een onhoorbaar infrageluid van 12 Hz verband en hersenactiviteit. Het is niet duidelijk welke effecten deze hersenactiviteit in de rest van de hersenen of het lichaam kan hebben. De auteurs nemen een grote sprong door te speculeren dat dit verband kan houden met zowel fysiologische als psychologische gezondheidseffecten. Wij zijn van mening dat we eerst zeker moeten weten dat dit werkelijk een effect is van onhoorbaar geluid. De stimulus was slechts 2 dB onder de gehoorrens en dankzij de langdurige blootstelling lag deze mogelijk zo dicht bij hoorbaarheid dat de hersenen geprikkeld werden. De auteurs suggereren dat de deelnemers "voortdurend probeerden te raden of er werkelijk stimulatie plaatsvond of niet wanneer infrageluid vlak onder de gehoorrens werd aangeboden" (Weichenberger et al, 2017). Dit 'raden' vond niet plaats (geen gelijktijdige hersenactiviteit) wanneer er geen geluid werd aangeboden. De auteurs suggereren dat de gelijktijdige hersenactiviteit verklaard zou kunnen worden indien de buitenste haarcellen inderdaad reageren op onhoorbaar geluid, zoals wordt genoemd door Salt & Hullar (2010). Een alternatieve verklaring is mogelijk dat de hersenactiviteit aanwezig was doordat het geluid, dat dicht bij de gehoordrempel lag, nog net - mogelijk met tussenpozen - hoorbaar was. Als dit zo is, is het door de zeer lage hoorbaarheid mogelijk moeilijk voor de hersenen om het geluid te herkennen of beoordelen, wat een verklaring zou kunnen zijn voor de activiteit in de amygdala en de cortex cingularis anterior (ACC) die wordt vermeld door Weichenberger et al (2017). Het is bekend dat deze hersengebieden betrokken zijn bij het verwerken van geluid (gyrus temporalis superior, of de bovenste slaapwinding) en de perceptie van tinnitus (ACC) (Vanneste & De Ridder, 2012). De ACC omvat gebieden die betrokken zijn bij affectieve processen, zoals de amygdala (Stevens et al, 2011). Wat de verklaring ook is, de hersenactiviteit vond plaats rond de hoorbaarheidsdrempel en niet wanneer het geluidsniveau verder van de drempel lag, wat wel nodig zou zijn om een effect te kunnen zien van windpark-infrageluid. Wij komen tot de conclusie dat het noodzakelijk is om hersenactivering door infrageluid op niveaus die vergelijkbaar zijn met geluidsniveau in de nabijheid van windturbines/windparken te bestuderen met behulp van meer realistische geluiden, voordat er geconcludeerd kan worden dat onhoorbaar infrageluid effect op omwonenden kan hebben.

Indien er normaal geluid aanwezig is, is het mogelijk moeilijker om zacht infrageluid op te merken dan in situaties waarin alleen het zachte infrageluid aanwezig is. Andersom lijkt de aanwezigheid van infrageluid geen effect te hebben op de drempel waarboven normaal geluid wordt opgemerkt. Infrageluid kan echter wel van invloed zijn op de perceptie van normaal geluid: een toon van 63 of 125 Hz in combinatie met infrageluid van 8 Hz is voor onze oren gelijk aan een toon van 63/125 Hz met een variatie in de sterkte met een frequentie van 8 Hz. Er is meer onderzoek nodig om vast te stellen of deze interacties tussen normaal geluid en infrageluid voorkomen binnen een breder frequentiebereik, en niet slechts bij de kunstmatige geluiden die worden gebruikt in een testomgeving. Als dat het geval blijkt, betekent dat: 1) de drempel waarboven het menselijk oor infrageluid van windturbines kan detecteren verhoogd kan worden vanwege de aanwezigheid van normaal windturbinegeluid, en 2) dat de infrageluid-piek op de frequentie waarop de bladen passeren (en bijbehorende tonen) in principe kan worden ervaren als een modulatie van het normale geluid dat wordt veroorzaakt door de windturbine of de omgeving. In de praktijk is de ervaren 'toegevoegde modulatie' waarschijnlijk minder duidelijk dan de modulatie van het windturbinegeluid dat al aanwezig is in omstandigheden waar de infrageluid-piek aanwezig is.

De recente onderzoeken naar de mogelijke effecten van hoorbaar infrageluid en laagfrequent geluid zouden de eerdere bevindingen moeten bevestigen. Wanneer personen, waaronder ook personen die klagen over windturbine-infrageluid, worden blootgesteld aan windturbinegeluid inclusief infrageluid, kan de verhoogde ervaren hinder mogelijk worden veroorzaakt door het totale geluidsniveau van de windturbine en de amplitudemodulatie en niet door het infrageluid. Ook had windturbine-infrageluid geen effect op fysiologische meetwaarden voor stress, zoals veranderingen in hartslag of hartslagvariabiliteit, of huidgeleiding. Zacht of onhoorbaar infrageluid of zeer laagfrequent geluid leidt niet tot een reactie van het evenwichtsorgaan, in elk geval niet van het deel dat verticale versnelling registreert. Bij blootstelling aan infrageluid of zeer laagfrequent geluid op geluidsniveaus die vlakbij of hoger dan de gehoordrempel liggen, wordt er een trilling in het lichaam of hoofd gevoeld. Op gelijk of hoger niveau wordt het geluid beoordeeld als minder prettig, ofwel vanwege de

luidheid, de extra trillingen, of beide. Ook bleek een laagfrequent geluid als minder prettig ervaren te worden wanneer het geluid bij het ene oor enigszins afwijkt van het geluid bij het andere oor. Voor laagfrequent geluid is de kans dat dit voorkomt binnenshuis groter dan buiten. Tot slot bleek dat trillingen die werden gemeten in woningen op relatief grote afstand van een windpark (2.4 tot 5 km) van laag niveau waren, en waarschijnlijk geen negatieve effecten veroorzaakten. De trilling van een raam hield verband met het luchtgeluid van het windpark. Van de trillingen van een vloer of bedombouw was het waarschijnlijker dat die werden veroorzaakt door wind rond het huis.

Dit leidt tot de conclusie dat laagfrequent geluid onderdeel is van het totale geluid van windturbines en dezelfde effecten heeft als audiogeluid: het kan hinder veroorzaken en van invloed zijn op slaap of in slaap vallen, en als het chronisch is, kan dit leiden tot verdere gezondheidseffecten. Dit geldt ook voor andere geluidsbronnen, zoals weg-, spoor- of luchtverkeer. Door de lage demping wordt laagfrequent geluid relatief belangrijker op grotere afstand en binnen woningen. Infrageluid wordt nog minder gedempt, maar wanneer dit afkomstig is van windturbines op een gebruikelijke afstand van woonhuizen, is dit te zwak om door mensen te worden opgemerkt.

### **5.3 Eindconclusie**

De hoeveelheid windturbinegeluid is bescheiden in vergelijking met andere bronnen zoals transport (weg-, spoor- en luchtverkeer) of industrie. Uit onderzoeken blijkt dat het geluidsniveau in de praktijk meestal minder dan 45 dBA bedraagt. Bij hetzelfde geluidsniveau wordt het geluid van windturbines echter als hinderlijker ervaren dan geluid van andere bronnen.

Op basis van de huidige kennis over de effecten van windturbinegeluid kunnen we concluderen dat wonen in de nabijheid van een windturbine of het horen van windturbinegeluid kan leiden tot chronische hinder bij bewoners. Er is geen consistent bewijs voor andere gezondheidseffecten zoals slaapverstoring, slapeloosheid, of effecten voor de geestelijke gezondheid. Het nieuwe bewijs bevestigt eerdere conclusies over de invloed van de laagfrequente component van windturbinegeluid en infrageluid van windturbines: er is geen indicatie dat dit een ander effect op bewoners heeft dan gewoon geluid, of dat infrageluid onder de gehoorgrens enig effect kan hebben. Wanneer mensen worden blootgesteld aan windturbinegeluid (van alle frequenties) zijn het niveau en de amplitudemodulatie\* van windturbinegeluid de hoofdoorzaak van verhoogde hinder, niet het laagfrequente geluid of infrageluid.

Er is bewijs dat slaapverstoring eerder verband houdt met de ervaren hinder dan met windturbinegeluid boven een bepaald niveau. Ook blijkt uit nieuw bewijs een verband tussen de volledige ervaren hinder en gezondheidsklachten, maar we kunnen geen conclusies trekken over de richting van dit verband: hebben mensen die veel hinder ondervinden van windturbinegeluid meer gezondheidsklachten, of ervaren mensen met gezondheidsklachten meer hinder van windturbinegeluid. Desalniettemin kan chronische ervaren hinder op zichzelf leiden tot het gevoel dat de kwaliteit van de woonomgeving is afgenomen of in de toekomst zal afnemen. Dit kan een negatieve impact hebben op het welzijn en de gezondheid van mensen die in de nabijheid van windturbines wonen. Het gematigde effect van windturbinegeluid op hinder en het scala aan factoren dat de hinderniveaus voorspelt, duidt erop dat het zinvol is ook andere aspecten die in verband worden gebracht met ondervonden hinder in ogenschouw te nemen bij het terugbrengen van de impact van windturbinegeluid. De invloed van deze factoren is niet noodzakelijkerwijs uniek voor windturbines. Belangrijke factoren zijn o.a. gevoeligheid voor geluid, houding ten opzichte van windturbines, gezondheidsoverwegingen, visuele aspecten en aspecten met betrekking tot de procedure die voorafging aan de bouw van het windpark. De rol van factoren als participatie in het planningsproces, procedurele rechtvaardigheid, het gevoel dat alles eerlijk is verlopen, en een goede balans tussen de kosten en baten van windturbines wordt nog sterker bevestigd door het huidige bewijs. Samengevat: de gezondheidsklachten houden voornamelijk verband met een scala aan niet-akoestische factoren en minder met het feitelijke blootstellingsniveau.

\* Amplitudemodulati is de naam voor de ritmische aard van het geluid van windmolens. Dit wordt vaak ervaren als hinderlijk en beschreven als zwiepend of suizend.