

Anna van Buerenplein 1  
2595 DA Den Haag  
Postbus 96800  
2509 JE Den Haag

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 85 51  
F +31 88 866 30 10

## TNO-rapport

TNO 2017 R10365

# Notitie windturbinegeluid en gezondheid

Datum	15 maart 2017
Auteur(s)	Dr. Sabine A. Janssen
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	13
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Afdeling Milieu, Gemeente 's-Hertogenbosch
Projectnaam	Advies windturbinegeluid en gezondheid
Projectnummer	060.27824

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2017 TNO

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Achtergrond</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Gezondheidseffecten van windturbinegeluid</b> .....	<b>4</b>
2.1	Gezondheidseffecten van geluid (algemeen) .....	4
2.2	Hinder .....	4
2.3	Slaapverstoring .....	4
2.4	Gezondheidsklachten en psychologische stress .....	5
2.5	Windturbinesyndroom en vibro-akoestische ziekte? .....	5
<b>3</b>	<b>Invloed van kenmerken van windturbinegeluid</b> .....	<b>6</b>
3.1	Laagfrequent geluid en infrageluid .....	6
3.2	Amplitudemodulatie .....	6
3.3	Nachtelijk geluid en achtergrondgeluid .....	6
3.4	Visuele kenmerken .....	6
<b>4</b>	<b>Bescherming door normstelling van overheid</b> .....	<b>7</b>
4.1	Wetgeving voor windturbinegeluid in Nederland .....	7
4.2	Bescherming tegen windturbinegeluid .....	7
4.3	Bescherming tegen slagschaduw .....	7
<b>5</b>	<b>Inschatting van de situatie in 's-Hertogenbosch</b> .....	<b>8</b>
5.1	Situatiebeschrijving .....	8
5.2	Verwachte effecten .....	8
5.3	De invloed van achtergrondgeluid .....	8
<b>6</b>	<b>Conclusies</b> .....	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Referenties</b> .....	<b>11</b>

# 1 Achtergrond

De gemeente 's-Hertogenbosch heeft de ruimtelijke procedure gestart om 4 windmolens mogelijk te maken, waarvan 3 op bedrijventerrein De Rietvelden en 1 nabij de A59. Belanghebbenden hebben de mogelijkheid gekregen om inspraakreacties te geven. Vooral vanuit de woongebieden – die vanaf zo'n 600 meter van het beoogde windpark liggen – zijn bezwaren gekomen.

Eén van de aspecten die wordt genoemd in de bezwaren is gezondheid. De gemeente toetst aan wettelijke eisen die in het Activiteitenbesluit worden gesteld aan geluid, slagschaduw en risico, welke dienen ter bescherming van omwonenden tegen hinder en gezondheidseffecten. Het gevoel bij omwonenden heerst echter dat hierbij niet alle aspecten van windturbines die mogelijk betrekking hebben op gezondheid worden meegenomen. Er is vooral veel bezorgdheid over laagfrequent geluid in relatie tot gezondheid.

Naar aanleiding van de bezwaren van omwonenden heeft de gemeenteraad het college van B en W in een motie verzocht om een onderzoek uit te voeren naar de gezondheidseffecten door (laagfrequent) geluid van het type hoge windmolens dat in 's-Hertogenbosch beoogd wordt. Dit verzoek wordt beantwoordt door TNO een advies uit te laten brengen op basis van bestaand onderzoek.

In deze notitie wordt de huidige stand van kennis over gezondheidseffecten van windturbinegeluid waarover wetenschappelijke consensus bestaat beknopt in kaart gebracht op basis van een aantal recente overzichtsstudies, inclusief een eerder kennisoverzicht door het RIVM<sup>1</sup>. Daarnaast worden recente studies naar mogelijke gezondheidseffecten (hinder, slaapverstoring, mentale gezondheid, etc.) van windturbinegeluid en van laagfrequent geluid (dit laatste voor zover relevant voor de verwachte effecten van windturbinegeluid) betrokken. Ook wordt de onderbouwing van (en mate van bescherming door) de normeringen van het Rijk toegelicht. Tenslotte wordt op basis van de kennis over effecten van windturbinegeluid een globale inschatting gemaakt van de situatie in 's-Hertogenbosch.

## 2 Gezondheidseffecten van windturbinegeluid

### 2.1 Gezondheidseffecten van geluid (algemeen)

Hoewel de meeste mensen bij gezondheidseffecten van geluid in eerste instantie zullen denken aan gehoorschade, wijst veel onderzoek uit dat omgevingsgeluid ook invloed kan hebben op het welzijn en de gezondheid in bredere zin<sup>2</sup>. Het meest voorkomende effect is geluidhinder, waarmee bedoeld wordt op verstoring door geluid zoals die over langere tijd ervaren wordt in de thuissituatie. Hinder kan deels voortkomen uit slaapverstoring (een ander veel voorkomend effect van geluid), en kan gepaard gaan met stress. Deze slaapverstoring en lichamelijke stressreacties hebben mogelijk op de lange termijn ook een effect op de lichamelijke gezondheid, hoewel het directe bewijs hiervoor ontbreekt. Wel laten epidemiologische studies zien dat in groepen die aan hoge niveaus van wegverkeersgeluid worden blootgesteld de kans op hart- en vaatziekten (licht) verhoogd is.

### 2.2 Hinder

Gehoorschade is niet relevant in de context van effecten van windturbinegeluid, aangezien de geluidniveaus daarvoor veel te laag zijn. Wel rapporteert een deel van de omwonenden dat zij hinder ondervinden van windturbinegeluid. Hierbij wordt vaak het zwiepende, zovende en soms stampende geluid van de wieken als meest hinderlijk genoemd, maar ook het veranderde uitzicht en het waarnemen van de beweging van de wieken spelen mee in de hinder die men rapporteert. Op basis van de drie op dat moment beschikbare studies heeft TNO dosis-responsrelaties afgeleid die aangeven bij welke geluidniveaus welke mate van hinder te verwachten is<sup>3</sup>. Opvallend is dat hinder van windturbinegeluid al optreedt bij veel lagere geluidniveaus dan hinder van andere (over het algemeen veel luidere) bronnen zoals wegverkeer, treinen en vliegtuigen. Hoewel er nog twijfels zijn over de robuustheid van de precieze relatie tussen windturbinegeluid en hinder, vooral vanwege de grote invloed van de context en persoonlijke kenmerken, is er wel consensus over het bestaan van een verband tussen de mate van blootstelling aan windturbinegeluid en de kans op hinder<sup>1,4,5,6,7,8</sup>. Het epidemiologisch bewijs voor dit verband wordt desondanks gezien als van matige kwaliteit vanwege de kans op bias<sup>a</sup> en de mogelijkheid dat de effecten deels voortkomen uit visuele effecten.

### 2.3 Slaapverstoring

In twee van de drie onderzoeken die als basis dienden voor de dosis-responsrelatie voor hinder werd tevens een klein maar statistisch significant verband gevonden tussen het geluidniveau en ervaren slaapverstoring<sup>9</sup>. Daarnaast is in enkele studies een verband gevonden tussen afstand tot windturbines en ervaren slaapkwaliteit, en zijn in weer andere studies aanwijzingen gevonden dat veel mensen die in de buurt van windturbines wonen aangeven een verstoorde slaap te hebben, hoewel meestal geen controlegroep zonder blootstelling aan windturbinegeluid was betrokken en ook geen rekening werd gehouden met eventuele andere invloeden op de slaap<sup>6</sup>. Daarom wordt het epidemiologisch bewijs voor een verband tussen windturbinegeluid en ervaren slaapverstoring gezien als van lage kwaliteit<sup>1,4,5,6,7,8</sup>.

---

<sup>a</sup> Met kans op bias wordt in de epidemiologie bedoeld op de mogelijkheid dat de bevindingen gekleurd zijn, bijvoorbeeld vanwege een laag en selectief deelnemerspercentage, of de cross-sectionele (dwarsdoorsnede) opzet van een studie, waardoor nooit helemaal is uit te sluiten dat andere factoren het gevonden verband geheel of gedeeltelijk veroorzaken.

## 2.4 Gezondheidsklachten en psychologische stress

Er zijn geen consistente aanwijzingen gevonden voor een relatie tussen blootstelling aan geluid van windturbines of afstand tot windturbines en door omwonenden gerapporteerde gezondheidsklachten (bijv. hoofdpijn, gehoorschade, hoge bloeddruk) of psychologische stress (bijv. vermoeidheid, spanning of concentratieverlies). Hoewel een enkele studie wel een lichte samenhang vond tussen geluidniveaus en bepaalde klachten (namelijk diabetes en tinnitus)<sup>9</sup>, werd dit in andere studies niet gevonden en is dit door de onderzoekers zelf bestempeld als toevalsbevinding<sup>b</sup>. In een aantal andere studies bleken omwonenden van windturbines weliswaar angst, stress en concentratieproblemen te rapporteren, maar hierbij werd geen controlegroep zonder blootstelling aan windturbinegeluid betrokken. Studies die de ervaren kwaliteit van leven van omwonenden van windturbines vergeleken met die van mensen die op grotere afstand wonen vonden geen consistente resultaten, met soms slechtere en soms betere kwaliteit van leven in de omgeving van windturbines<sup>10,11</sup>. Overzichtsstudies concluderen dat de beschikbare beperkte gegevens niet wijzen in de richting van een verband tussen windturbinegeluid en gerapporteerde gezondheidsklachten of stress<sup>1,4,5,6,7,8,12</sup>.

Wel rapporteren omwonenden die geluidhinder zeggen te ondervinden van windturbines ook meer symptomen van stress, voelen zij zich minder uitgerust in de ochtend en beoordelen zij hun leefomgeving als minder geschikt om tot rust te komen en op krachten te komen<sup>13,14,15</sup>. Dit suggereert dat er een invloed is van windturbinegeluid via geluidhinder op stress-gerelateerde klachten, al is dit verband dus niet direct aangetoond. Bovendien wordt de richting van het verband hiermee nog niet duidelijk: het is goed mogelijk dat mensen die aan veel stress worden blootgesteld gevoeliger zijn voor geluid en hier eerder hinder van ondervinden.

## 2.5 Windturbinesyndroom en vibro-akoestische ziekte?

Op basis van een interviewstudie waarin een verscheidenheid aan niet specifieke gezondheidsklachten werd gerapporteerd door een beperkt aantal omwonenden van windturbines is de term 'windturbinesyndroom' geïntroduceerd<sup>16</sup>. Hoewel vaak aangehaald in publieke discussies rondom windturbines, toont de studie niet aan dat de klachten samenhangen met blootstelling aan windturbinegeluid. Bovendien is er aanzienlijke kans op bias: bewoners met klachten werden extra aangemoedigd om deel te nemen en een aantal deelnemers had al klachten voor de plaatsing van windturbines. Als alternatieve verklaring voor gerapporteerde klachten is geopperd dat normaliter als gevolg van stress voorkomende klachten door de bewoners mogelijk onbewust worden toegeschreven aan het windturbinegeluid, of dat klachten voortkomen uit negatieve verwachtingen of zorgen rondom windturbines (het zogenaamde nocebo effect<sup>c</sup>)<sup>7,8,17</sup>. De consensus in wetenschappelijke literatuur is dat er geen bewijs is voor het bestaan van het windturbinesyndroom<sup>1,5,6,7,8</sup>.

Een andere term die in verband is gebracht met klachten door windturbinegeluid is vibro-akoestische ziekte<sup>18</sup>. Dit is echter een omstreden aandoening<sup>19</sup> waarvoor de enige aanwijzingen komen van dierproeven en onderzoek met beroepsmatig aan zeer hoge geluidniveaus blootgestelde vliegtuigtechnici. Er zijn geen aanwijzingen (en het wordt ook zeer onwaarschijnlijk geacht) dat de veel lagere geluidniveaus van windturbines vergelijkbare effecten teweeg kunnen brengen<sup>1,4,19,20,21</sup>.

<sup>b</sup> Hoe meer testen men uitvoert hoe groter de kans is op het vinden van een significant verband.

<sup>c</sup> Dit is de tegenhanger van het beter bekende placebo effect, het fenomeen dat positieve verwachtingen kunnen leiden tot gunstige effecten van een behandeling of interventie.

## 3 Invloed van kenmerken van windturbinegeluid

### 3.1 Laagfrequent geluid en infrageluid

Geluid komt voor in verschillende frequenties, waarbij frequenties boven de 100 Hz (tot ongeveer 20.000 Hz) worden aangeduid met gewoon geluid, en frequenties onder de 100 Hz als laagfrequent geluid. Laagfrequent geluid kan grote afstanden overbruggen en wordt vaak waargenomen als brommend, dreunend of zoemend. De gehoordrempels liggen een stuk hoger dan voor gewoon geluid, maar als het toch hoorbaar is zijn er aanwijzingen dat het kan leiden tot verhoogde hinder<sup>22</sup>. Hoewel de dominante niveaus van windturbinegeluid in het middenfrequente gebied liggen (tussen ongeveer 100 tot 1000 Hz)<sup>21</sup>, heeft het tevens een laagfrequent aandeel dat hoorbaar kan zijn op afstanden van meer dan 400 m (typisch voor woningen). Aangezien recente grotere types windturbines (2.3-3.6 Megawatt) meer laagfrequent geluid produceren dan kleine windturbines ( $\leq 2$  Megawatt), is er een kans dat met het toenemende laagfrequente aandeel ook de hinder door windturbines toeneemt<sup>22</sup>. De verwachte toename in laagfrequent geluid is echter gering en leidt bij toegestane niveaus van windturbinegeluid niet tot overstijgen van laagfrequente niveaus zoals die gewoonlijk in wegverkeersgeluid voorkomen<sup>20</sup>. Het relatief hoge aandeel laagfrequent geluid is wel één van de mogelijke verklaringen voor de bevinding dat windturbinegeluid als hinderlijker wordt beoordeeld dan bijvoorbeeld wegverkeersgeluid van hetzelfde geluidniveau. Naast laagfrequent geluid produceren windturbines ook infrageluid ( $< 20$  Hz), waarvoor de gehoordrempel echter zo hoog ligt dat het voor omwonenden niet waarneembaar is, laat staan dat het de hinder verhoogt<sup>20</sup>. Er zijn aanwijzingen dat infrageluid het evenwichtsorgaan kan beïnvloeden, maar de niveaus van infrageluid door windturbines worden niet hoog genoeg geacht om dit teweeg te brengen<sup>4,5,8,23</sup>.

### 3.2 Amplitudemodulatie

Omwonenden beschrijven vooral het zwiepende of zoevende geluid veroorzaakt door de wieken als hinderlijk. Dit ritmische geluid, bestaande uit regelmatige geluidpiekjes bovenop een constante ruis, is een andere genoemde verklaring voor de extra hinderlijkheid van windturbinegeluid ten opzichte van bijvoorbeeld wegverkeersgeluid van hetzelfde geluidniveau<sup>1,20,21</sup>. Hoewel deze variatie in geluidsterkte (amplitudemodulatie) in de wettelijke geluidmaten niet meegenomen wordt, houdt men via een strengere norm rekening met de extra hinder (zie 4.2).

### 3.3 Nachtelijk geluid en achtergrondgeluid

Een ander verschil met de meeste overige geluidbronnen is dat windturbinegeluid gedurende de nacht niet minder wordt (mogelijk zelfs iets luider) en bovendien meer opvalt door de afwezigheid van ander geluid<sup>21</sup>. Verder worden windturbines vaak gebouwd in relatief landelijk gebied met lage niveaus van achtergrondgeluid<sup>20</sup>.

### 3.4 Visuele kenmerken

Naast kenmerken van het geluid spelen ook visuele kenmerken een rol bij de extra hinder van windturbinegeluid. Bewoners die de windturbines kunnen zien vanuit hun woning hebben bij hetzelfde geluidniveau meer kans op hinder dan zij die de windturbines niet zien<sup>3,20,21</sup>. Mogelijk trekt het geluid dan meer aandacht door het waarnemen van de beweging ofwel de slagschaduw/lichtschittering van de wieken.

## 4 Bescherming door normstelling van overheid

### 4.1 Wetgeving voor windturbinegeluid in Nederland

In het Activiteitenbesluit is een wettelijke grenswaarde opgenomen voor het jaargemiddelde geluidniveau van windturbines aan de gevel. Per etmaal is dit 47 dB ( $L_{den}$ , het 'day-evening-night level' waarbij geluid in de avond en nacht zwaarder meetelt) en voor de nacht apart is dit 41 dB ( $L_{night}$ , van 23.00 tot 7.00 uur). Deze grenswaarden zijn gebaseerd op de dosis-responsrelaties voor hinder<sup>3</sup>, waarbij een  $L_{den}$  van 47 dB (omgerekend naar  $L_{night}$  is dat 41 dB) overeenkomt met een kans op ernstige hinder van ongeveer 8-9%. Dit hinderpercentage is in dezelfde orde van grootte als dat behorend bij de grenswaarde voor wegverkeersgeluid ( $L_{den} = 58$  dB). Ook Denemarken en Duitsland hanteren normen voor windturbinegeluid, die niet rechtstreeks vergelijkbaar zijn met die in Nederland, maar in ieder geval de Deense grenswaarde is qua mate van bescherming equivalent aan de Nederlandse<sup>24</sup>. Daarnaast hanteren landen diverse minimumafstanden tot woningen/gebouwen. Hoewel bedoeld ter bescherming, zijn deze afstanden niet direct gebaseerd op bekende relaties met gezondheid of veiligheid, maar vooral op beschikbare ruimte<sup>1</sup>.

### 4.2 Bescherming tegen windturbinegeluid

De grenswaarde beschermt dus tegen (ernstige) hinder, en indirect ook tegen slaapverstoring, in vergelijkbare mate als de grenswaarde voor wegverkeersgeluid. De bescherming tegen geluidhinder en slaapverstoring beperkt tevens eventuele stress-gerelateerde klachten die hieruit voort zouden kunnen komen. Door middel van de lagere grenswaarde voor windturbinegeluid wordt rekening gehouden met de bevinding dat windturbinegeluid als hinderlijker wordt ervaren dan wegverkeersgeluid. Zoals beschreven zijn hiervoor meerdere verklaringen mogelijk, waaronder het aandeel laagfrequent geluid of de amplitudemodulatie van windturbinegeluid. Hoewel deze kenmerken niet expliciet meegenomen worden in de jaargemiddelde wettelijke geluidmaten, wordt via de lagere grenswaarde wel bescherming geboden tegen de extra hinder die zij mogelijk tot gevolg hebben. Daarnaast zorgt de grenswaarde ook voor een limiet aan de te verwachten niveaus van laagfrequent geluid door windturbinegeluid. Zoals al genoemd worden bij toegestane niveaus van windturbinegeluid de laagfrequente niveaus zoals die gewoonlijk in bijvoorbeeld wegverkeersgeluid voorkomen naar verwachting niet overschreden<sup>20</sup>. Bovendien bleek uit metingen in woningen vanaf 300 m van een windpark (windturbines met een vermogen van 1.5 MW en 2.3 MW) dat bestaande grenswaarden voor laagfrequent geluid in de woning niet overschreden werden<sup>25</sup>.

### 4.3 Bescherming tegen slagschaduw

Naast het geluid van windturbines kan ook de bewegende slagschaduw van de draaiende wieken hinder veroorzaken, afhankelijk van de flikkerfrequentie, het contrast en de tijdsduur van blootstelling. Ter bescherming tegen hinder is in het Activiteitenbesluit vastgelegd hoe vaak en hoe lang per dag de slagschaduw van een windturbine een raam van een woning mag raken. Windturbines zijn bijna altijd verplicht voorzien van een automatische stilstandvoorziening, die de windturbine uitschakelt gedurende de tijd dat er slagschaduw op een woning optreedt. Hierdoor wordt slagschaduw in woningen sterk beperkt (hoewel het optreden zeventien dagen per jaar geoorloofd is gedurende meer dan twintig minuten per dag).

## 5 Inschatting van de situatie in 's-Hertogenbosch

### 5.1 Situatiebeschrijving

De gemeente 's-Hertogenbosch beoogt vier windmolens te plaatsen, waarvan drie op bedrijventerrein De Rietvelden en één nabij de A59. Het betreft grote windturbines, met een ashoogte van (maximaal) 125 m en een wiekdiameter van (maximaal) 122 meter en een vermogen van 2 tot 3 MW per windturbine.

In de Projectbeschrijving is uitgegaan van een hogere geluidbelasting van een aantal woningen dan de normen in het Activiteitenbesluit. De gemeente heeft echter mondeling laten weten dat er in het definitieve plan geen hogere geluidwaarde zal worden toegestaan. Voor deze notitie is daarom uitgegaan van een situatie waarin voldaan wordt aan de normen die het Rijk stelt in het Activiteitenbesluit.

Na het toepassen van geluidreducerende maatregelen wordt de wettelijke grenswaarde voor  $L_{den}$  van 47 dB bij geen van de woningen buiten het industrieterrein overschreden (de hoogste berekende  $L_{den}$  waarden zonder geluidreducerende maatregelen zijn tussen 48 en 50 dB, met geluidreducerende maatregelen wordt dit teruggebracht naar 47 dB). Enkele woonobjecten die dicht in de buurt van de beoogde windturbines staan bevinden zich binnen de geluidszone van het industrieterrein (maar niet op het industrieterrein zelf), waar het reeds aanwezige achtergrondniveau relatief hoog is (56 tot 71 dB) ten gevolge van gecumuleerd geluid van de snelweg en industrie. De woningen die het dichtst bij de windturbines staan bevinden zich op het industrieterrein en vallen buiten de wettelijke geluidsnormen<sup>d</sup>.

### 5.2 Verwachte effecten

Voor woningen die voldoen aan de grenswaarde van 47 dB is de kans op ernstige hinder lager of gelijk aan 8-9%. Deze kans neemt af naarmate men verder van de windturbine woont en de geluidbelasting lager is, en zou toenemen wanneer de 47 dB norm overschreden wordt (tot 14% bij 50 dB). Aangezien het grote windturbines betreft, kan het aandeel laagfrequent geluid iets hoger zijn dan het geval zou zijn bij kleinere windturbines, maar de verwachte invloed hiervan op de hinder is gering<sup>20,21</sup>. Een grotere invloed op hinder is te verwachten van het kunnen zien van de windturbines vanuit de woning: meer hinder wordt verwacht voor woningen waar dit het geval is. Daarnaast speelt de individuele gevoeligheid voor geluid een grote rol bij hinder<sup>3,26</sup>. Voor slaapverstoring zijn geen bijbehorende kansen te geven vanwege het ontbreken van een dosis-effectrelatie. Wel biedt de grenswaarde voor  $L_{den}$  van 47 dB (en de bijbehorende nachtelijke grenswaarde  $L_{night}$  van 41 dB) ook bescherming tegen hinder (en slaapverstoring) door nachtelijk geluid.

### 5.3 De invloed van achtergrondgeluid

Achtergrondgeluid kan in principe leiden tot maskering van het windturbinegeluid. Uit Nederlandse data<sup>21</sup> bleek echter dat alleen bij veel luider wegverkeersgeluid (tenminste 20 dB hoger) men geen hinder meer had van het windturbinegeluid, en

---

<sup>d</sup> Informatie afkomstig uit Projectbeschrijving Windpark Rietvelden – Treurenburg en aanvullende mondelinge communicatie met gemeente 's-Hertogenbosch



dan nog alleen als het windturbinegeluid niet hoger was dan 40 dB  $L_{den}$ . Een reden voor de matige maskering kan zijn dat de tijdspatronen van de geluidbronnen verschillen: windturbinegeluid wordt in tegenstelling tot verkeersgeluid gedurende de nacht niet minder (mogelijk zelfs iets luider) en ook op kleinere tijdschaal verschillen de geluiden (passages van auto's versus het regelmatig fluctuerende geluid van de wieken)<sup>27</sup>. Aangezien de wettelijke geluidmaten gemiddelde geluidniveaus betreffen, is het dus niet zomaar aan te nemen dat hoge achtergrondniveaus windturbinegeluid maskeren. Meten van het achtergrondniveau zou kunnen helpen bij de inschatting of en in welke mate (en hoe vaak) het windturbinegeluid luider is dan het bestaande geluid. In het geval meerdere geluidbronnen hoorbaar zijn, zou de methode van cumulatie gebruikt kunnen worden: daarbij wordt het geluidniveau van elke bron eerst omgerekend naar een even hinderlijk geluidniveau van wegverkeer en vervolgens kan het totale geluidniveau met de bijbehorende hinder bepaald worden (zie bijlage 3 van <sup>1</sup>).

## 6 Conclusies

In deze notitie is de huidige kennis op het gebied van gezondheidseffecten van windturbinegeluid beknopt weergegeven, evenals de mate van bescherming die de normstelling uit het Activiteitenbesluit biedt. Uit meerdere overzichtsstudies blijkt:

- Er zijn geen aanwijzingen voor een direct verband tussen *windturbinegeluid* en gerapporteerde gezondheidsklachten of psychologische stress, wel voor een mogelijk verband tussen *geluidhinder van windturbines* en symptomen van stress.

- Er is matige kwaliteit epidemiologisch bewijs voor een verband tussen de mate van blootstelling aan windturbinegeluid en de kans op hinder (matig vanwege de kans op bias en de mogelijkheid dat de effecten deels voortkomen uit visuele effecten). Dit betekent dat er consensus is over het bestaan van een verband, maar dat nog verder onderzocht wordt of de relatie in alle gevallen overeind blijft.

- Er is lage kwaliteit epidemiologisch bewijs voor een zwak verband tussen windturbinegeluid en ervaren slaapverstoring (laag vanwege de kans op bias, het geringe aantal studies en het ontbreken van een dosis-effectrelatie). Dit betekent dat er wel aanwijzingen zijn dat windturbinegeluid gepaard kan gaan met een verstoorde slaap, maar dat het verband niet sterk is en niet goed is aangetoond.

Hinder van windturbinegeluid treedt op bij veel lagere geluidniveaus dan hinder van andere (over het algemeen veel luidere) bronnen zoals wegverkeer, treinen en vliegtuigen. Mogelijke verklaring hiervoor zijn de kenmerken van windturbinegeluid, namelijk het relatief grote laagfrequente aandeel van het geluid, de regelmatige variatie (amplitudemodulatie) van het geluid, of het gegeven dat windturbinegeluid vaak 's nachts of in gebieden met lage achtergrondniveaus voorkomt. Daarnaast spelen ook visuele kenmerken (waarnemen van beweging of slagschaduw van de wieken) een rol bij de hinder van windturbinegeluid.

In de normering is rekening gehouden met deze extra hinderlijkheid door een lagere grenswaarde te hanteren dan bij andere geluidbronnen, gebaseerd op vastgestelde hinderrelaties. Voor woningen die voldoen aan de grenswaarde van 47 dB zoals opgenomen in het Activiteitenbesluit is de kans op ernstige hinder lager of gelijk aan 8-9%. De grenswaarde beschermt ook tegen nachtelijk geluid van windturbines en daarmee tegen slaapverstoring. De bescherming tegen geluidhinder en slaapverstoring beperkt tevens eventuele stress-gerelateerde klachten die hieruit voort zouden kunnen komen. Daarnaast biedt het Activiteitenbesluit bescherming tegen hinder door slagschaduw.

## 7 Referenties

- <sup>1</sup> I. van Kamp, A. Dusseldorp, G.P. van den Berg, W.I. Hagens, M.J.A. Slob (2013). Windturbines: invloed op de beleving en gezondheid van omwonenden: GGD Informatieblad medische milieukunde (Update 2013) RIVM rapport 200000001/2013.
- <sup>2</sup> M. Basner, W. Babisch, A. Davis, M. Brink, C. Clark, S. Janssen, S. Stansfeld (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The LANCET* 383: 1325-1332.
- <sup>3</sup> S.A. Janssen, H. Vos, A.R. Eisses, E.A. Pedersen (2011). Comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. *Journal of the Acoustical Society of America* 130: 3746-3753.
- <sup>4</sup> J.M. Ellenbogen, S. Grace, W.J. Heiger-Bernays, J.F. Manwell, D.A. Mills, K.A. Sullivan, M.G. Weisskopf, S.L. Santos (2012). Wind Turbine Health Impact Study: Report of Independent Expert Panel January 2012. Prepared for: Massachusetts Department of Environmental Protection, Massachusetts Department of Public Health.
- <sup>5</sup> T. Merlin, S. Newton, B. Ellery, J. Milverton, C. Farah (2013). Systematic review of the human health effects of wind farms, National Health and Medical Research Council, Canberra.
- <sup>6</sup> J.H. Schmidt, M. Klokke (2014) Health Effects Related to Wind Turbine Noise Exposure: A Systematic Review *PlosOne* oDOI: 10.1371/journal.pone.0114183
- <sup>7</sup> R.J. McCunney, M.P.H. Kenneth, A. Mundt, W.D. Colby, R. Dobie, K. Kaliski, M. Blais (2014). Wind Turbines and Health: A Critical Review of the Scientific Literature. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 11: 108-130.
- <sup>8</sup> L.D. Knopper, C.A. Ollson, L.C. McCallum, M.L. Whitfield Aslund, R.G. Berger, K. Souweine, M. McDaniel (2014). Wind turbines and human health. *Frontiers in Public Health* 63: 1-20.
- <sup>9</sup> E. Pedersen (2011) Health Aspects Associated with Wind Turbine Noise. *Noise control Engineering Journal* 1: 47-53.
- <sup>10</sup> D. Shepherd, D. McBride, D. Welch, K.N. Dirks, E.M. Hill (2011) Evaluating the impact of wind turbine noise on health-related quality of life. *Noise Health* 13: 333-339.
- <sup>11</sup> B. Mroczek, D. Kurpas, B. Karakiewicz (2012). Influence of distances between places of residence and wind farms on the quality of life in nearby areas. *Ann Agric Environ Med* 19: 692-696.
- <sup>12</sup> Hoge Gezondheidsraad (2013). Public health effects of siting and operating onshore wind turbines. Publication of the Superior Health Council No. 8738, België.
- <sup>13</sup> E. Pedersen, K. Persson Waye (2007). Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and wellbeing in different living environments. *Occup. Environ. Med.* 64: 480-486.
- <sup>14</sup> E. Pedersen, K. Persson Waye (2008). Wind turbine - a low level noise source interfering with restoration? *Environmental Research Letters* 3: 015002.
- <sup>15</sup> R.H. Bakker, E. Pedersen, G.P. van den Berg, R.E. Stewart, W. Lok et al. (2012) Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress. *Science of the Total Environment* 425: 42-51.
- <sup>16</sup> N. Pierpont (2009) Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment. Santa Fe, K-Selected Books.
- <sup>17</sup> G.J. Rubin, M. Burns, S. Wessely (2014) Possible psychological mechanisms for "wind turbine syndrome". On the windmills of your mind., *Noise & Health* 16: 116-122.
- <sup>18</sup> N.A.A. Castelo Branco, M. Alves-Pereira (2004) Vibroacoustic disease. *Noise & Health* 6(23): 3-20.
- <sup>19</sup> Chapman S, St George A (2013) How the factoid of wind turbines causing 'vibroacoustic disease' came to be 'irrefutably demonstrated'. *Aust N Z J Public Health* 37: 244-249.
- <sup>20</sup> K. Bolin, G. Bluhm, G. Eriksson, M.E. Nilsson (2011). Infrasound and low frequency noise from wind turbines: Exposure and health effects. *Environmental Research Letters* 6: 035103.
- <sup>21</sup> G.P. van den Berg (2011). Sociale en (niet-)akoestische kanten van windenergie. *Geluid* 4: 9-13.

- 
- <sup>22</sup> H. Møller, C.S. Pedersen (2011). Low-frequency noise from large wind turbines. *Journal of the Acoustical Society of America* 129: 3727-3711.
- <sup>23</sup> A. Farboud, R. Crunkhorn, A. Trinidad (2013). 'Wind turbine syndrome': fact or fiction? *Journal of Laryngology & Otology* 127: 222-226.
- <sup>24</sup> LBP Sight (2013). Literatuuronderzoek laagfrequent geluid windturbines. Agentschap NL.
- <sup>25</sup> R.D. O'Neal, R.D. Jr. Hellweg, R.M. Lampeter (2011). Low frequency noise and infrasound from wind turbines. *Noise Control Eng J* 59:135-157.
- <sup>26</sup> D. Michaud, S. Keith, K. Feder, S. Voicescu, L. Marro, J. Than, M. Guay, T. Bower, A. Denning, E. Lavigne, C. Whelan, S. Janssen, T. Leroux, F. v.d. Berg (2016). Personal and situational variables associated with wind turbine noise annoyance. *J Acoust Soc Am.* 139: 1455-1466.
- <sup>27</sup> E. Pedersen, F. van den Berg (2010), Why is wind turbine noise poorly masked by road traffic noise? *Proceedings Internoise 2010*, Lissabon.

---

## 8 Ondertekening

Auteur:



S. Janssen

Afdelingshoofd:



E.D. de Feijter