



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

**Windturbines: invloed op de beleving
en gezondheid van omwonenden**

*GGD Informatieblad medische milieukunde
Update 2013*

RIVM rapport 200000001/2013

I. van Kamp et al.



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Windturbines: invloed op de beleving en gezondheid van omwonenden

GGD Informatieblad medische milieukunde
Update 2013

RIVM Rapport 200000001/2013

Colofon

© RIVM 2013

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

I. van Kamp (RIVM)
A. Dusseldorp (RIVM)
G.P. van den Berg (GGD Amsterdam)
W.I. Hagens (RIVM)
M.J.A. Slob (RIVM)

Contact:
Centrum Gezondheid en Milieu, VLH
cgm@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van VWS, in het kader van V/200000 'Ondersteuning GGD'en'.

Rapport in het kort

Windturbines: invloed op de beleving en gezondheid van omwonenden

GGD Informatieblad medische milieukunde

Update 2013

Mensen die dichtbij windturbines wonen, hebben vooral last van het geluid dat windturbines met zich meebrengen. Sommige mensen ervaren hinder (zoals irritatie, boosheid en onbehagen) als zij het gevoel hebben dat hun omgevings- of levenskwaliteit verslechtert door de plaatsing van windturbines. Hierdoor kunnen gezondheidsklachten ontstaan. Om de invloed van windturbines op de slaap te kunnen beoordelen, zijn nog onvoldoende gegevens beschikbaar. De beschikbare resultaten laten geen definitieve conclusie toe. Voor andere directe effecten op de gezondheid is geen bewijs. Dit blijkt uit literatuuronderzoek van het RIVM.

Geluidhinder

Het geluid van windturbines is minder luid dan van andere bronnen, zoals verkeer en industrie, maar wordt sneller als hinderlijk ervaren. Dit wordt vooral veroorzaakt door het karakter van het geluid (zoeven en zwiepen). Wellicht kan het laagfrequente deel van het geluid van windturbines, net als bij andere bronnen, tot extra hinder leiden, maar hier is nog geen bewijs voor.

Contextuele en persoonlijke factoren

Naast de blootstelling aan geluid spelen persoonlijke factoren en de feitelijke situatie een rol bij de mate waarin mensen hinder door windturbines ervaren. Zo blijkt dat mensen bij gelijke geluidsniveaus meer hinder ondervinden als zij vanuit huis een windturbine kunnen zien. Ook economische aspecten beïnvloeden hinder door windturbines: mensen die economisch belang hebben bij een windturbine rapporteren minder hinder. Andere factoren waarmee bij de interpretatie van hinderscores rekening moet worden gehouden, zijn de mate waarin mensen gevoelig zijn voor geluid, de afbreuk van privacy en sociale acceptatie.

Dit informatieblad bevat informatie over gezondheidseffecten van windturbines en is opgesteld op verzoek van de GGD'en. Doel is hen te ondersteunen bij de beantwoording van vragen over effecten van windturbines op de gezondheid en het welzijn van omwonenden. Deze vragen zijn vaak prominent aanwezig in lokale discussies als er plannen zijn om windturbines te plaatsen. GGD'en kunnen zich in deze discussie richten op een zorgvuldige informatievoorziening over de effecten op de beleving en gezondheid, zowel in de richting van gemeentebesturen als van burgers.

Trefwoorden:

windturbines, geluidhinder, gezondheid

Abstract

Wind turbines: impact on perception and health of residents

Municipal Public Health Service Environmental Public Health Report Update 2013

Noise annoyance is the most often described effect of living in the vicinity of wind turbines. Some people report annoyance (irritation, anger and anxiety) if they feel that the quality of their surroundings and living conditions will deteriorate due to the siting of wind turbines. This can lead to health complaints. There is insufficient data available to evaluate the effects of wind turbines on sleep disturbance. There is no evidence for other direct health effects. These are the main conclusions of a literature survey performed by the Dutch National Institute for Public Health and the Environment (RIVM)

Noise annoyance

The noise from wind turbines is quieter than that from comparable sources, such as traffic or industry, but it is experienced as more annoying. This is caused by the typical swishing characteristics of the noise. Perhaps the low frequency component of wind turbine sound leads to extra annoyance, as is the case with other sources. However, there is no evidence of this as yet.

Contextual and personal factors

Besides the actual levels of noise people are exposed to, personal characteristics and the circumstances surrounding exposure also play a role in reported annoyance. For example, at equal noise levels, people report more annoyance when they can actually see a wind turbine. Moreover, economic aspects can also influence the level of annoyance: people who benefit financially from a wind turbine report less annoyance. Other factors that should be taken into account when interpreting annoyance scores are noise sensitivity, privacy issues and social acceptance.

This report reviews recent literature on health effects related to wind turbines. This has been done at the request of the Municipal Public Health Services in the Netherlands and it is aimed at supporting them in answering questions from residents about the effects on health and well-being of wind turbines. These questions often play a prominent role in local discussions on plans for (or an extension of) a wind turbine park. In the discussions on local wind energy projects, it is suggested that the Municipal Public Health Services focus on providing adequate information about the effects on actual and perceived health to policymakers as well as the public.

Keywords:

wind turbines, noise annoyance, health

Inhoud

Samenvatting—9

1 Inleiding—11

2 Windenergie en windturbines—13

- 2.1 Technische informatie windturbines—13
- 2.2 Wet- en regelgeving—15
 - 2.2.1 Bevoegd gezag—15
 - 2.2.2 Normen Geluid—15
 - 2.2.3 Regelgeving Slagschaduw—17
 - 2.2.4 Regelgeving Externe Veiligheid—18
- 2.3 Beleid—19

3 Windturbinegeluid en gezondheid—21

- 3.1 Methode—21
- 3.2 Resultaten—22
- 3.3 Fysieke aspecten geluid—22
 - 3.3.1 Wat kunnen mensen horen—22
 - 3.3.2 'Gewoon' geluid—23
 - 3.3.3 Laagfrequent geluid—24
- 3.4 Geluid van windturbines—25
 - 3.4.1 Geluidniveaus en afstand—26
 - 3.4.2 Omvang blootstelling aan windturbinegeluid in Nederland; situatie 2010—26
 - 3.4.3 Amplitudemodulatie—26
- 3.5 Effecten op de gezondheid—27
 - 3.5.1 Hinder van 'gewoon' geluid—27
 - 3.5.2 Relatie 'gewoon' geluid en hinder—29
 - 3.5.3 Hinder door infrageluid en laagfrequent geluid (LFG)—31
 - 3.5.4 Slaapverstoring—32
 - 3.5.5 Overige gezondheidseffecten door geluid—33
 - 3.5.6 Vibro-akoestische ziekte en het windturbinesyndroom—35

4 Fysieke en sociale aspecten van windturbines en gezondheid—37

- 4.1 Visuele aspecten—37
 - 4.1.1 Inpassing in het landschap—37
 - 4.1.2 Slagschaduw—38
 - 4.1.3 Lichtschittering—38
 - 4.1.4 Beweging wieken—38
- 4.2 Veiligheid—38
- 4.3 Elektromagnetische velden (EMV)—39
- 4.4 Contextuele en persoonlijk factoren—39
 - 4.4.1 Zicht op windturbines—40
 - 4.4.2 Economische aspecten—40
 - 4.4.3 Afbreuk van privacy / vrije keuze—40
 - 4.4.4 Geluidgevoeligheid—40
- 4.5 Sociale aspecten—41

5 Conclusies—43

6 Advisering door GGD—45

- 6.1.1 Procedure—45

6.1.2	Advisering, aandachtspunten—46
	Referenties—49
	Bijlage 1 Risicocontouren, generieke waarden—54
	Bijlage 2 Zoekstrategie—57
	Bijlage 3 Geluid: cumulatie en achtergrondgeluid—58

Samenvatting

Veel mensen zullen in de komende decennia te maken krijgen met nieuwe windturbines in hun omgeving. De Nederlandse overheid streeft er namelijk naar dat in 2020 het gezamenlijke vermogen van alle windturbines op land 6000 megawatt (MW) bedraagt. Dat is ongeveer driemaal zoveel als nu is gerealiseerd. Hoewel een groot deel van de bevolking positief staat tegenover windenergie, bestaat lokaal vaak bezwaar tegen het plaatsen van windturbines. In de discussies die vervolgens worden gevoerd komen veel argumenten op tafel, zoals nut en noodzaak van windturbines, de aantasting van het landschap, de manier van planvorming en de mogelijke gezondheidseffecten van het wonen nabij windturbines. Dit laatste aspect, de mogelijke gezondheidseffecten van het wonen nabij windturbines, is het onderwerp van dit informatieblad. Het is opgesteld op verzoek van de GGD'en, om hen te ondersteunen bij het beantwoorden van vragen over windturbines en gezondheid. De beschreven informatie over gezondheid in relatie tot windturbines is verzameld op basis van een systematische review van wetenschappelijke literatuur, aangevuld met drie recente documenten en een aantal niet wetenschappelijk getoetste artikelen die in de maatschappelijke discussie rond windturbines een belangrijke rol spelen.

Regelgeving en beleid

Gemeenten zijn het bevoegd gezag voor het plaatsen van windturbines, zij wijzen gebieden aan voor de plaatsing, verlenen de vergunning en zijn verantwoordelijk voor de handhaving. In sommige situaties kan de provincie bevoegdheden van de gemeenten (tijdelijk) overnemen. Windturbines vallen onder verschillende wetten, zoals de Wet op ruimtelijke ordening en de Wet milieubeheer. Er is een aantal specifieke normen van toepassing:

- Geluidnormen - 47 L_{den} (etmaalwaarde) en 41 L_{night} (nacht). Dit zijn gemiddelde geluidniveaus, pieken worden hierin niet meegenomen.
- Veiligheid - persoonsgebonden risico van 10^{-6} per jaar (het risico voor een individu op overlijden door een ongeluk met een turbine mag niet groter zijn dan eens per miljoen jaar).

In de praktijk blijken de geluidnormen bepalend voor de afstand van windturbines tot woningen. Het bevoegd gezag heeft de mogelijkheid een lagere norm te hanteren als er sprake is van cumulatie van geluid met andere windturbines, of bijzondere lokale omstandigheden.

Geluid(hinder)

Een windturbine veroorzaakt mechanisch geluid door apparatuur in de gondel en aerodynamisch geluid dat wordt geproduceerd door de wieken in interactie met lucht. In vergelijking met andere geluidbronnen zijn de niveaus van windturbinegeluid bescheiden, maar het geluid wordt wel eerder als hinderlijk ervaren dan bijvoorbeeld lawaai van industrie of verkeer. Het karakter van het geluid (zwiepen/zoeven) speelt hierbij een belangrijke rol. De laatste jaren komt vaak de vraag naar voren of het laagfrequente deel van het geluid (LFG) de hinder door windturbines (mede) verklaart. Er is nog onvoldoende bekend over het relatieve aandeel van LFG en gewoon geluid in hinder. Wellicht kan het laagfrequente deel van het geluid van windturbines, net als bij andere bronnen, tot extra hinder leiden, maar er is nog geen bewijs dat dit een factor van belang is. Dat LFG vaak een belangrijke rol speelt in de discussie, zou ook kunnen liggen aan spraakverwarring: de laagfrequente (tot 1 Hz) draaisnelheid van de bladen van een windturbine wordt vaak ervaren als hinderlijk fluctuerend geluid, en wordt soms verward met een lage geluidfrequentie.

De Nederlandse dosis-responsrelatie voor windturbinegeluid en hinder voorspelt bij de huidige geluidnormen een percentage ernstig gehinderden van maximaal negen procent (van de mensen die op een afstand van een windturbine wonen waarbij het niveau van de geluidnorm wordt bereikt). In deze dosis-responsrelatie zijn alle aspecten van het geluid (karakter, frequentie, invloed achtergrondgeluid en luidheid) inbegrepen. Het percentage is een indicatie: lokale en persoonsgebonden factoren spelen een dusdanig belangrijke rol, dat het percentage in een lokale situatie hiervan behoorlijk kan afwijken. Geluidhinder kan bijvoorbeeld niet los worden gezien van visuele hinder want mensen met uitzicht op windturbines rapporteren bij dezelfde geluidniveaus in de regel meer geluidhinder door de turbines dan mensen die geen zicht hebben op de turbines. Daarnaast heeft het al of niet hebben van een economisch belang een effect op de gerapporteerde hinder.

Andere effecten door windturbinegeluid

In de literatuur worden diverse andere gezondheidseffecten in verband gebracht met blootstelling aan windturbinegeluid. Voor de relatie tussen windturbinegeluid en slaapverstoring zijn onvoldoende data beschikbaar. Deze laten geen definitieve conclusie toe. Voor de overige gezondheidseffecten is geen bewijs. Wel is duidelijk dat de mate waarin mensen het gevoel hebben dat door de plaatsing van windturbines hun omgevings- of levenskwaliteit afneemt, bij sommige personen tot gezondheidsklachten kan leiden, of bestaande klachten zoals hoofdpijn, hoge bloeddruk of depressie kan verergeren.

Visuele aspecten

Door hun (toenemende) hoogte vallen windturbines erg op in het landschap. Bovendien trekken ze aandacht door beweging van de wieken en door de slagschaduw. Over deze visuele aspecten kan het volgende worden gezegd:

- Aantasting van het landschap: mensen hebben verschillende visies op landschap en de manier waarop windturbines hierin passen. Hierover is dus geen eenduidig oordeel te geven, maar het is wel van belang deze visies bij de planvorming te betrekken.
- Slagschaduw: dit kan optreden als de zon laag staat en op de windturbine schijnt. Voor bewoners is dit vaak hinderlijk. In de vergunning wordt meestal een stilstandvoorziening opgenomen. Deze voorziet erin dat de windturbine wordt stilgezet tijdens perioden en omstandigheden dat er slagschaduw op ramen van woningen kan optreden.
- Lichtschittering: dit komt bij moderne windturbines meestal niet voor, doordat een antireflectielaag op de wieken wordt aangebracht.
- Beweging van de wieken: uit beperkte gegevens blijkt dat ongeveer een op de vijf mensen die de beweging van wieken vanuit hun huis kunnen zien, dit hinderlijk vindt.

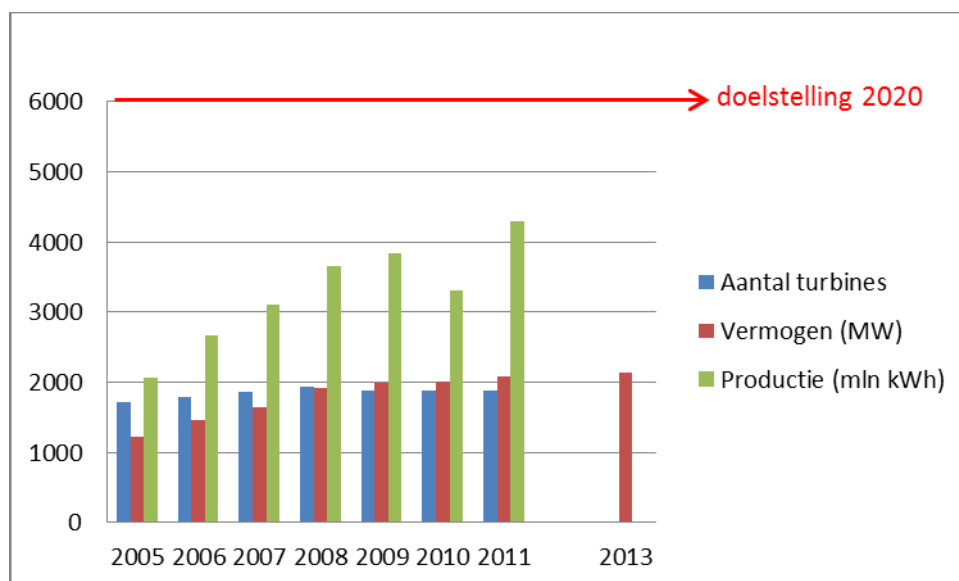
Advisering door de GGD

GGD'en hebben ervaring in het omgaan met de hinder die van windturbines wordt ondervonden en kunnen informatie hierover inbrengen in het debat. Het is belangrijk om niet alleen aandacht te besteden aan het geluidniveau en aan de visuele aspecten maar ook aan de besluitvorming. De burgers moeten tijdig worden geïnformeerd, inspraak hebben en weten welke voorzieningen worden getroffen om de hinder te beperken.

1 Inleiding

In Europa wordt, om het gebruik van fossiele brandstoffen tegen te gaan, steeds sterker ingezet op gebruik van duurzame energiebronnen, zoals biomassa, waterkracht, zonne- en windenergie. In 2020 moet volgens Europees beleid veertien procent van de Nederlandse energieproductie duurzaam zijn. Het huidige regeerakkoord gaat nog een stap verder en noemt een doelstelling van zestien procent. Windenergie is een van de vormen van energieopwekking die hieraan kan bijdragen.

De rijksoverheid wil dat in 2020 alle windmolens op land gezamenlijk een capaciteit (maximaal vermogen) hebben van ten minste 6000 megawatt (MW) om de doelstelling te kunnen halen. Dat is genoeg om 3,6 miljoen huishoudens van elektriciteit te voorzien (Agentschap NL, 2013). Momenteel hebben de windturbines op land een gezamenlijk vermogen van ruim 2000 MW (zie Figuur 1). Gezien deze doelstelling is de verwachting dat de komende jaren meer mensen met windturbines in hun omgeving te maken krijgen.



Figuur 1. Ontwikkeling van het aantal windturbines in Nederland, het totale vermogen en de geproduceerde energie van 2005 tot 2011. (Bron getallen: Website Agentschap NL, 2013, IenM 2013)

Discussie bij ontwikkeling windturbineprojecten

Een groot deel van de bevolking in Europa staat positief tegenover het gebruik van duurzame energie. Gemiddeld stond in 2006 bijvoorbeeld in Nederland 90 procent van de mensen positief ten opzichte van zonne-energie en 79 procent ten opzichte van windenergie. Voor olie en kolen is dit aandeel respectievelijk 19 procent en 9 procent (EU, 2006). Hoewel de baten op landelijke/mondiale schaal (zoals het terugdringen van CO₂-emissies) dus door een groot deel van de bevolking lijken te worden onderschreven, bestaat lokaal vaak bezwaar tegen het plaatsen van windturbines. Omwonenden vormen zich pas een beeld als er in de eigen omgeving een initiatief is om windturbines te plaatsen. In korte tijd ontstaat geregeld een heftige discussie, die bij voor- en tegenstanders de emotie hoog kan doen oplopen. Uiteenlopende argumenten komen op tafel, zoals over de nut en noodzaak van (de betreffende)

windturbines, visuele aspecten en (laagfrequent) geluid. De media doen regelmatig verslag van deze discussies. De kranten koppen bijvoorbeeld 'Ook buiten Utrecht laait verzet tegen windmolens op', en 'Van windturbines kan je ziek worden', en tv-uitzendingen krijgen de titel 'Rust in de polder verdwijnt door megawindmolens'. Omwonenden uiten niet alleen hun bezorgdheid over de aantasting van de lokale leefomgeving of gezondheid, maar zijn vaak ook niet tevreden over de manier waarop zij inspraak hebben op de plannen en over het ontbreken van lokale baten (Coleby, 2009; Breukers, 2007).

Gezondheidseffecten als onderdeel van de discussie

De relatie tussen windturbines en reacties van de mens is ingewikkeld en veel factoren spelen mee in de maatschappelijke discussie. Hoewel er veel invalshoeken zijn om tegen de voor- en nadelen van windturbines aan te kijken, gaat (lokaal) de aandacht vaak in eerste instantie uit naar mogelijke gezondheidseffecten van het wonen nabij windturbines. Over windturbines en gezondheid bestaat een brede verzameling aan wetenschappelijke en niet-wetenschappelijke publicaties die in de discussie over windturbines aan bod kunnen komen. De GGD'en hebben behoefte aan concrete, objectieve en evenwichtige informatie om hun advies op te baseren.

Inhoud van dit informatieblad

Dit informatieblad is opgesteld op verzoek van de GGD'en. Het kan dienen om gemeenten te adviseren en als ondersteuning bij het beantwoorden van gezondheidsvragen van omwonenden van (geplande) windturbines. Het is een update van het in 2008 verschenen informatieblad over windturbines (Van den Berg en Van Kuijeren, 2008). De literatuur over windturbines en gezondheid wordt in dit document beschreven. De informatie in dit document geeft hiermee slechts antwoord op een klein deel van de vragen die een rol spelen in het maatschappelijke debat. Het informatieblad gaat bijvoorbeeld niet in op ecologische effecten, windparken op zee of kosten en baten van windenergie.

Klankbordgroep

Het onderzoek is begeleid door een klankbordgroep, die als volgt was samengesteld:

- mw. P. Esser – GGD Zuid-Limburg;
- mw. J. Noorda – GGD Groningen;
- mw. M. Meijerink – GGD Drenthe;
- dhr. L. van Bree – Planbureau voor de Leefomgeving.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt informatie gegeven over windturbines, als basiskennis. De literatuur over het geluid van windturbines en mogelijke effecten daarvan is beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 gaat vervolgens in op literatuur over andere effecten (zoals visuele aspecten, slagschaduw). In hoofdstuk 5 staan de conclusies van dit rapport over de invloed van windturbines op de beleving en gezondheid van omwonenden kort weergegeven, waarna in hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de advisering door de GGD bij vragen over gezondheid in relaties tot windturbines.

2 Windenergie en windturbines

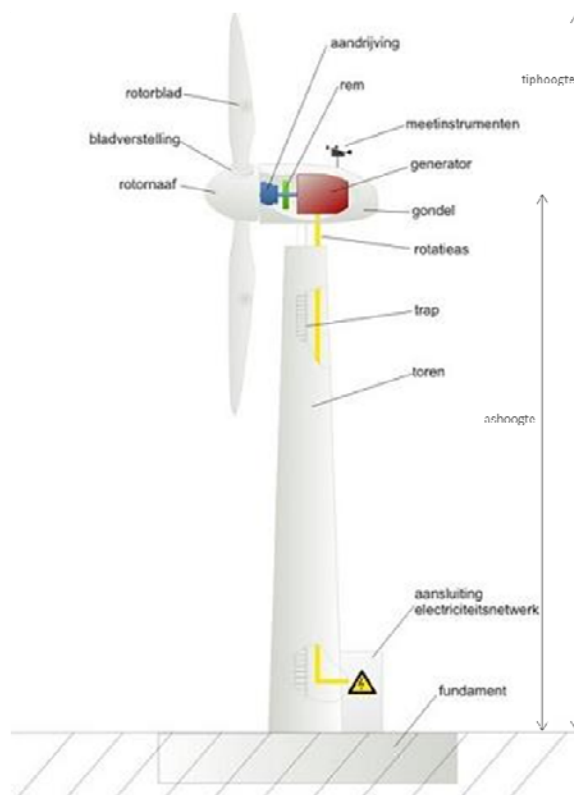
Hoofdstuk 2 samengevat:

- De eerste windturbines in Nederland met een vermogen tot maximaal 100 kW op land werden gebouwd in de jaren tachtig. Sinds die tijd is het vermogen van windturbines toegenomen tot 3 MW en ashoogten tot 120 meter. Deze ontwikkeling gaat nog door.
- Gemeenten zijn het bevoegd gezag voor het plaatsen van windturbines. Windenergieprojecten met een opgesteld vermogen van 5-100 MW vallen echter onder de provinciale coördinatie­regeling en vanaf 100 MW onder de rijkscoördinatie­regeling. Onder de provinciale coördinatie­regeling kan het bevoegd gezag met betrekking tot uitvoeringsbesluiten verschuiven naar de provincie.
- De huidige Nederlandse wetgeving kent een jaargemiddelde geluidnorm voor windturbines van 47 L_{den} (voor hele etmaal) en 41 L_{night} (alleen 's nachts).
- Deze normen resulteren in een geschat maximumpercentage van ernstig gehinderden van 9%, gebaseerd op een gepubliceerde dosis-responsrelatie.
- Wetgeving ten aanzien van geluid van windturbines verschilt tussen landen, zo ook de uitgangspunten waarop deze wetgeving is gebaseerd.
- Via de algemene regels uit het activiteitenbesluit zijn windturbines bijna altijd verplicht voorzien van een stilstandvoorziening. Deze schakelt de windturbine uit gedurende de tijd dat er slagschaduw op een woning voorkomt.
- Kwetsbare objecten, zoals woningen, kennen een grenswaarde van het plaatsgebonden risico van 10⁻⁶/jr.

Dit hoofdstuk geeft beknopte achtergrondinformatie over de technische aspecten van en wetgeving/beleid met betrekking tot windturbines in Nederland. Deze informatie is nuttig voor een snelle oriëntatie op de werking van windturbines en het bestuurlijke speelveld.

2.1 Technische informatie windturbines

Windturbines zetten via rotorbladen de energie van de wind om in een draaiende beweging die een generator aandrijft. Hiermee wordt elektriciteit opgewekt. De opwekking van elektriciteit uit windenergie gebeurt met een techniek die de laatste decennia erg in ontwikkeling is. Windturbines worden daardoor steeds efficiënter en de opbrengst per turbine wordt groter. De eerste windturbines in Nederland waren veel minder hoog dan de huidige turbines en hadden een vermogen van maximaal 100 kW. Nu worden windturbines geplaatst tot een vermogen van 3000 kW (=3 MW) en een ashoogte van 80 tot 120 meter. Dit betekent dat de tiphoogte (hoogste punt van de wieken) nog hoger is, tot ruim 190 meter. De tiphoogte is de ashoogte plus de helft van de rotordiameter. Er wordt gesproken over het plaatsen van nog hogere turbines (ashoogte tot 135 meter, 7,5 MW). Het voordeel van een hogere turbine is dat deze meer wind vangt; op grotere hoogte waait het harder. Bovendien kunnen bij hogere turbines grotere rotorbladen gebruikt worden, wat ook de energieopbrengst verhoogt. Figuur 2 geeft een schematische weergave van een windturbine; de onderdelen worden beschreven in Tekstkader 1.



Figuur 2. Schematische weergave van een windturbine. (Bron: Agentschap NL, 2013)

Tekstkader 1. Onderdelen van een windturbine

Rotorblad: Tegenwoordig hebben vrijwel alle turbines drie rotorbladen. De rotorbladen of wieken zijn altijd naar de wind toegekeerd. De rotor zet bewegingsenergie van de wind om in een draaiende beweging van de as. De rotor zit vast aan de generator in de gondel.

Tegenwoordig zijn de meeste windturbines 'pitch-controlled' (bladhoek geregeld): de hoek van de rotorbladen is afhankelijk van de windkracht. De rotorbladen staan bij lagere windsnelheden onder een vaste hoek. Hierdoor gaan rotorbladen bij meer wind steeds sneller draaien totdat een maximaal toerental (aantal omwentelingen van de rotorbladen per minuut) wordt bereikt. Bij nog meer wind wordt de bladhoek vermeld. Door het aanpassen van de bladhoek wordt de maximale omwentelingssnelheid vastgehouden en wordt deze niet zo hoog dat schade kan optreden. Als de wind bij zware storm zo sterk wordt dat toch schade aan de turbine kan optreden, wordt de turbine stilgezet.

Gondel: In de gondel bevindt zich diverse apparaten. De draaiende beweging van de as wordt versneld in een tandwielkast (vergelijkbaar met een versnellingsbak van een auto). De sneldraaiende, uitgaande as van de tandwielkast drijft op zijn beurt een generator aan die elektriciteit opwekt. Er zijn ook windturbines zonder tandwielkast ('direct drive'), waarbij de rotor direct de generator aandrijft.

Een windvaan op de gondel meet de windrichting. Zodra de windrichting verandert, wordt de gondel door de kruimotor weer recht op de wind gericht.

Mast: Vrijwel alle masten bestaan uit een gesloten, holle metalen cilinder. Ook betonnen en vakwerkmasten (vergelijkbaar met masten van hoogspanningsleidingen) komen voor.

2.2 Wet- en regelgeving

Windenergieprojecten hebben te maken met vele wetten en regels. De ruimtelijke inpassing vindt bijvoorbeeld plaats via de Wet ruimtelijke ordening. Regels over milieu staan in het Activiteitenbesluit. De Elektriciteitswet bevat regels voor de productie, het transport en de levering van elektriciteit en nadere procedures met betrekking tot windenergieprojecten. Omdat wetten en regels aan veranderingen onderhevig zijn, is gekozen om in dit informatieblad de wet- en regelgeving niet uitgebreid te behandelen, maar om ernaar te verwijzen. Op de site www.windenergie.nl staat alle informatie over wet- en regelgeving, met links naar de huidige regelingen.

2.2.1 *Bevoegd gezag*

Gemeenten zijn doorgaans het bevoegd gezag voor het plaatsen van windturbines. Zij hebben drie essentiële taken:

- gebieden voor windenergie aanwijzen in ruimtelijke plannen en beoordelingscriteria opstellen (dit kan pro-actief of reactief zijn);
- vergunningen verlenen;
- handhaving.

De basis voor de bestemming van gronden ten behoeve van de realisatie van windenergieparken of losse windturbines ligt in de regels van een bestemmingsplan op grond van de Wet ruimtelijke ordening. De bevoegdheden voor het opstellen van het bestemmingsplan liggen in beginsel bij de gemeente. Maar met het in werking treden van de Crisis- en herstelwet zijn een paar uitzonderingen ontstaan:

- Voor windparken met een vermogen groter dan 100 MW wordt met toepassing van de procedure voor de rijkscoördinatierегeling een rijksinpassingsplan vastgesteld.
- Voor windparken waarvan de locatie is vastgelegd in de structuurvisie en met een vermogen tussen de 5 en 100 MW kan Provinciale Staten, wanneer gemeenten niet willen meewerken, een provinciaal inpassingsplan vaststellen.

Het toepassen van de coördinatierегeling biedt de mogelijkheid om de besluitvorming rondom een project te coördineren. Met de coördinatierегeling kunnen de verschillende besluiten (ruimtelijk besluit, vergunningen, ontheffingen) tegelijkertijd en in onderling overleg genomen worden ('parallelgeschakeld'). Na de inspraakronde worden de besluiten ook tegelijkertijd genomen. Als een burger of organisatie het niet eens is met een of meer van de besluiten, kan hij in de meeste gevallen direct in beroep bij de Raad van State. Er is dus geen bezwaarfase. De verantwoordelijkheden blijven bij coördinatie ongewijzigd (Website Infomil, 2013).

Onder de provinciale coördinatierегeling worden Gedeputeerde Staten bevoegd voor de uitvoeringsbesluiten, tenzij de rijksoverheid het bevoegd gezag was. De gemeente mag dus niet meer de omgevingsvergunning verlenen. In de praktijk zal een provincie vaak, zodra de locatie ruimtelijk mogelijk gemaakt is (via bestemmings-, aanpassingsplan) de bevoegdheid voor de omgevingsvergunning terugleggen bij de gemeente.

2.2.2 *Normen Geluid*

De huidige Nederlandse wetgeving voor windturbines kent een jaargemiddelde geluidnorm (opgenomen in Activiteitenbesluit) van 47 L_{den} (per etmaal) en 41 L_{night} (voor de nacht van 23.00 uur tot 7.00 uur). In paragraaf 3.1.1. wordt

dieper ingegaan op geluidsmaten. Uitgaande van de dosiseffectrelatie voor het geluid van windturbines (Janssen et al., 2011) is het percentage ernstig gehinderden bij de norm van 47 L_{den} ongeveer negen procent. Ter vergelijking: een grenswaarde voor wegverkeer (58 L_{den}) leidt volgens de dosiseffectrelaties voor wegverkeergeluid (Miedema en Oudshoorn, 2001) tot een percentage gehinderden van dezelfde orde grootte.

Het Activiteitenbesluit kent tevens maatwerkvoorschriften. Dit betekent dat het bevoegd gezag de mogelijkheid heeft bij bijzondere omstandigheden afwijkende normen vast te stellen. Wat betreft geluid van windturbines biedt de wetgever de mogelijkheid tot het stellen van maatwerkvoorschriften in slechts twee specifieke situaties:

1. Lagere normen bij cumulatie van geluid met andere windturbine-inrichtingen. Om een hoge geluidbelasting te beperken kan een combinatie van windturbines van verschillende inrichtingen ertoe leiden dat het bevoegd gezag een lagere waarde vaststelt. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren wanneer windturbines van afzonderlijke inrichtingen een geluidbelasting veroorzaken op eenzelfde geluidgevoelig object. Voor elke inrichting afzonderlijk geldt de norm van ten hoogste L_{den} 47 dB en L_{night} 41 dB (zie paragraaf 3.3.2 voor uitleg geluidsmaten). Daardoor kan de cumulatieve geluidbelasting op het gevoelige object meer bedragen dan L_{den} 47 dB en L_{night} 41 dB. De normen L_{den} =47 dB en L_{night} =41 dB zijn gebaseerd op een dosis-responsrelatie. Het is dus logisch en gewenst om de cumulatieve geluidbelasting op een gevoelig object niet boven deze normen uit te laten stijgen.
2. Andere normen bij bijzondere lokale omstandigheden. Er is geen definitie gegeven van deze bijzondere lokale omstandigheden. Maar uit de nota van toelichting blijkt dat de wetgever hier bijvoorbeeld wettelijk aangewezen stiltegebieden bedoelt. Een gedegen motivering, waarin afwijking van de norm/de regel wordt gerechtvaardigd, is een vereiste.

Maatwerkvoorschriften, zoals hier bedoeld, zijn bij het ter perse gaan van dit rapport nog niet veel toegepast. Voor zover bekend hebben alleen B&W van Rotterdam op 13 maart 2013 bekendgemaakt dat zij maatwerkvoorschriften opleggen op een inrichting van Maasland Windenergie B.V. voor twee windturbines aan de Noordzeeweg te Rotterdam. Bij deze toepassing ging het om een lagere norm. In maart 2013 heeft de Rechtbank in Alkmaar geoordeeld dat een aanzienlijk lager dan gemiddeld achtergrondniveau in geluid (in dit geval een polder) kan worden aangemerkt als bijzondere omstandigheid en daarom een reden is voor maatwerkvoorschriften (de Rechtspraak, 2013). De betreffende gemeente (Schagen) heeft hoger beroep aangetekend tegen deze uitspraak, omdat ze van mening is dat de rechtbank een onjuiste interpretatie geeft van de gewijzigde milieuregelgeving. In hoger beroep wordt de uitspraak van de Rechtbank Alkmaar getoetst en beoordeeld door de Raad van State.

De afstand tot woningen wordt bepaald door de geluidnormen (zie hierboven) en de veiligheidseis: een plaatsgebonden risico van maximaal 10^{-6} /jr. De regelgeving biedt de overheid de mogelijkheid om lokaal vaste afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten voor te schrijven. Op dat moment hoeven geen risicocontouren meer bepaald te worden (zie ook paragraaf 4.2).

Regelgeving in het buitenland

Internationale regelgeving valt buiten het blikveld van dit rapport. Omdat hier echter vaak vragen over worden gesteld, wordt globaal ingegaan op

internationale normstellingen en wordt aangegeven waar deze afwijken van Nederlandse regelgeving.

In de eerste plaats bestaan er verschillen in het soort normen tussen verschillende landen: normen die niet overschreden mogen worden (absolute normen), normen die afhangen van de windsnelheid of achtergrondgeluid (relatieve normen) en combinaties van deze twee soorten normen. In de tweede plaats zijn er verschillen in de gehanteerde geluidmaten en de toegepaste meetmethoden. Zo kan bijvoorbeeld de norm het maximale of een gemiddeld geluidniveau betreffen. Denemarken stelt als eerste en tot nog toe enige land, naast grenswaarden voor 'normaal' geluid, ook grenswaarden voor laagfrequent geluid. Als gevolg van alle mogelijke verschillen kunnen de normen niet zonder meer met elkaar vergeleken worden. In een recente factsheet wordt gesteld dat de Nederlandse $47 L_{den}/41 L_{night}$ -normen een mate van bescherming geven tegen LFG die goed vergelijkbaar is met de Deense norm, ook al is de werkelijke omvang van de bescherming nu nog niet precies bekend. Een en ander is afhankelijk van het type windmolen en het windmolenpark en de geluidwering van de woning.

Veel landen kennen een minimumafstand tot woningen/gebouwen, maar de gehanteerde grenswaarden voor minimumafstand verschillen. Deze afstanden zijn niet per se gebaseerd op samenhangende effecten voor veiligheid en gezondheid, maar vooral op basis van de beschikbare ruimte.

2.2.3 *Regelgeving Slagschaduw*

In het Activiteitenbesluit zijn voorschriften opgenomen om hinder door slagschaduw te beperken. Er is vastgelegd hoe vaak en hoe lang per dag de slagschaduw van een windturbine een raam van een woning mag raken. Via deze voorschriften zijn windturbines bijna altijd verplicht voorzien van een stilstandvoorziening. Deze schakelt de windturbine uit gedurende de tijd dat er slagschaduw optreedt.

Een stilstandvoorziening is nodig als wordt voldaan aan de volgende drie criteria:

- De afstand van de windturbine tot de woningen en andere 'gevoelige bestemmingen' (bijvoorbeeld scholen) is minder dan twaalf maal de rotordiameter. Bij een rotordiameter van 90 meter (blad van 45 meter) geldt dan: binnen een afstand van 1080 meter (ruim een kilometer).
- Gemiddeld kán meer dan zeventien dagen per jaar gedurende meer dan twintig minuten per dag slagschaduw optreden.
- Ramen zijn aanwezig in de gevels van woningen of andere gevoelige gebouwen waar slagschaduw op kan treden.

Aan de hand van rekenmethodes is van tevoren vast te stellen op welke dagen en op welk moment van de dag een slagschaduw kán optreden. Hiermee wordt bepaald of een windturbine moet worden uitgerust met een stilstandvoorziening. Of de slagschaduw ook echt optreedt op de voorspelde dagen, hangt af van de meteorologische omstandigheden (bewolking, windsnelheid en windrichting). De windturbine wordt automatisch uitgeschakeld als de software van de stilstandvoorziening berekent dat op dat moment daadwerkelijk slagschaduw optreedt (Website Agentschap NL, 2013).

2.2.4 Regelgeving Externe Veiligheid

Kwetsbare objecten, waaronder woningen, kennen een grenswaarde van het plaatsgebonden risico van 10^{-6} /jr. Gerelateerd aan een 3MW-turbine komt dit neer op een afstand van circa 200 meter (zie ook Bijlage 1).

De praktijk leert dat de veiligheidscontouren bijna altijd binnen de geluidcontouren liggen (persoonlijke communicatie G.P. van den Berg, 2013). Daardoor zijn de geluidnormen bepalend voor de afstand tot woningen. Het Activiteitenbesluit (zie ook paragraaf 2.2.2) biedt de overheid de mogelijkheid om vaste afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten voor te schrijven. Op dat moment hoeven geen risicocontouren meer bepaald te worden. Wanneer een turbine nabij snelwegen, spoorlijnen of gevaarlijke industriële installaties wordt geplaatst, heeft Rijkswaterstaat extra veiligheidsregels opgesteld. Ook zijn er aanvullende regels rondom vliegvelden en radarposten (zie Tekstkader 2).

Tekstkader 2. Aanvullende regels veiligheid rondom rijks(vaar)wegen, spoorlijnen, vliegvelden en radarposten (Website Agentschap NL, 2013)

Voor windmolens die in de buurt van rijks(vaar)wegen en spoorlijnen komen, hanteren Rijkswaterstaat en ProRail eigen risicocriteria. Dat is opgenomen in de documenten 'Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over Rijkswaterstaatwerken' en 'Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen — Beoordeling van veiligheidsrisico's'.

Het gaat hier om beleidsregels en niet om wetgeving. Indien niet wordt voldaan aan de voorkeursafstanden, wordt plaatsing van windturbines slechts toegestaan als uit aanvullend onderzoek blijkt dat er geen onaanvaardbaar verhoogd veiligheidsrisico bestaat.

De voorkeursafstanden die Rijkswaterstaat hanteert, zijn:

- Langs rijkswegen wordt plaatsing van windturbines toegestaan bij een afstand van ten minste 30 meter uit de rand van de verharding of, bij een rotordiameter groter dan 60 m, ten minste de halve diameter.
- Langs kanalen, rivieren en havens wordt plaatsing van windturbines toegestaan bij een afstand van ten minste 50 meter uit de rand van de vaarweg.
- Plaatsing van windturbines wordt niet toegestaan in de kernzone van de primaire waterkering. Onder kernzone wordt verstaan het eigenlijke dijk-, duin- of damlichaam, zijnde de primaire waterkering als bedoeld in de Wet op de waterkering.

Beperkingen rondom luchthavens

In gebieden rondom burgerluchthavens worden in verband met veiligheid ruimtelijke beperkingen gesteld aan nieuwbouw. Het gaat daarbij om externe veiligheid, vliegveiligheid en de goede werking voor luchtverkeersapparatuur. De vorm en omvang van deze beperkingengebieden vloeien onder meer voort uit de nieuwe Regelgeving Burgerluchthavens en Militaire en Luchthavens.

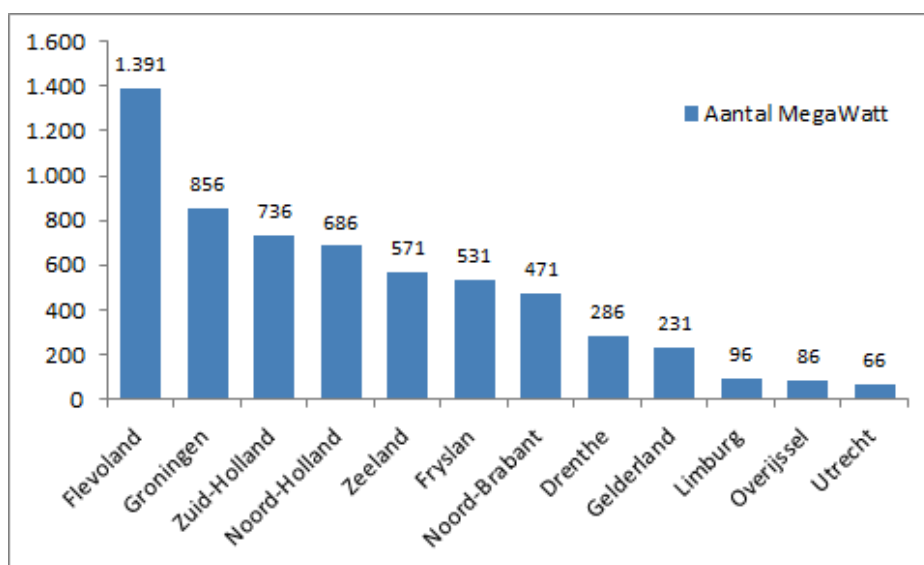
Beperkingen bij radarinstallaties

Windturbines kunnen radarbeelden verstoren. In de nabijheid van radars en radarbakens gelden regels voor obstakelvrije vlakken. Dat is van belang, omdat de radarposten ervoor zorgen dat het vliegverkeer veilig en efficiënt verloopt. Bij het plaatsen van windturbines en windparken moet worden onderzocht of deze de radar niet verstoren. Er zijn radarverstoringengebieden aangewezen. Voor die gebieden beoordeelt het ministerie van Defensie aan de hand van de bouwplannen of de windturbines verstoring (kunnen) opleveren.

2.3 Beleid

De overheid zet onder andere in op windenergie om de Nederlandse doelen voor klimaat en duurzame energie te halen. Nu staan er ongeveer 2000 windturbines op land die voorzien in een kleine vier procent van de totale Nederlandse elektriciteitsbehoefte. Er is een verdrievoudiging van windenergie op land nodig om de Nederlandse duurzame energie doelstelling te halen. Dat betekent dat het huidige opgesteld vermogen van ongeveer 2000 MW naar 6000 MW in 2020 moet gaan.

Begin 2013 zijn tussen de provincies en het Rijk afspraken gemaakt over nog te plaatsen windturbines. De provincies garanderen ruimte te reserveren voor 6000 MW windenergieprojecten op land door deze gebieden ruimtelijk, planologisch vast te stellen. Het streven is dat provincies nog in 2013 structuurvisies vaststellen waarin zij gebieden aanwijzen voor windenergieprojecten kleiner dan 100 megawatt. Op 13 juni 2013 hebben de provincies afspraken gemaakt over de definitieve invulling van de 6000 MW (zie Figuur 3).



Figuur 3. Afgesproken verdeling van het aantal MW over de provincies (Bron: Gedeputeerde Staten van Groningen, 2013)

3 Windturbinegeluid en gezondheid

Hoofdstuk 3 samengevat:

- Hinder is het voornaamste gezondheidseffect toegeschreven aan het geluid van de draaiende windturbines, zowel overdag als 's nachts.
- Vooral het zwiepende of zovende karakter van windturbinegeluid wordt als hinderlijk ervaren. Het geluidniveau zelf van de windturbines is bescheiden in vergelijking met andere bronnen zoals verkeer en industrie.
- De geluidnormen voor windturbines zijn gebaseerd op een gemiddeld geluidniveau, waarbij het karakter van het geluid is meegewogen.
- In de algemene dosis-responsrelatie voor hinder van windturbinegeluid zijn wel alle aspecten van het geluid inbegrepen. Deze relatie kan slechts een indicatie geven voor de te verwachten hinder in lokale situaties.
- Windturbines produceren ook laagfrequent geluid. Het laagfrequente deel van het geluid van windturbines kan wellicht, net als bij andere geluidbronnen, tot extra hinder leiden, maar er is nog geen evidentie dat dit een factor van belang is.
- Er zijn nog onvoldoende gegevens beschikbaar om de invloed van windturbines op de slaap te kunnen beoordelen. De huidige onderzoeksresultaten laten een definitieve conclusie niet toe.
- Voor andere gezondheidseffecten is onvoldoende bewijs voor een directe relatie met windturbinegeluid.
- Wel kan chronische hinder of het gevoel dat door de windturbines de omgevings- of levenskwaliteit afneemt, via stressprocessen een negatieve invloed hebben op de gezondheid en het welbevinden van mensen die in de buurt van windturbines wonen.
- Bij de huidige geluidniveaus van windturbines is het voorkomen van de zogenaamde vibro-akoestische ziekte (VAZ) en het windturbinesyndroom zeer onwaarschijnlijk. Deze aandoeningen zelf zijn omstreden.

In dit hoofdstuk wordt, na een introductie over de fysische aspecten van geluid, beschreven wat er bekend is over de gezondheidseffecten van geluid van windturbines. Daarbij gaat de meeste beschikbare literatuur over geluid; hier gaat de aandacht van omwonenden vooral naar uit. Op andere effecten die bij (reacties op) windturbines een belangrijke rol spelen, wordt ingegaan in hoofdstuk 4.

3.1 Methode

Ten behoeve van dit rapport is een systematische review van de literatuur uitgevoerd. Daarbij is gezocht naar observationele en experimentele studies die zijn verschenen na de eerste versie van dit informatieblad (Van den Berg en Van Kuijeren, 2008). Dat wil zeggen dat we hebben gezocht naar studies die van 2009 tot en met 2012 zijn gepubliceerd in het Duits, Engels of Nederlands en waarin de relatie tussen windturbines en gezondheid en welzijn is onderzocht. Hiertoe zijn de databestanden Scopus en Medline doorzocht. Voor de hierbij gevolgde zoekstrategie wordt verwezen naar Bijlage 2.

Dit leverde 76 publicaties op. Alleen studies die in hun titel, abstract of samenvatting vermeldden dat ze de relatie tussen geluid van windturbines en gezondheid en/of welzijn hebben onderzocht en studies die ingaan op acceptatie van windturbines en participatie bij plaatsing, werden uiteindelijk geselecteerd voor het overzicht. Dit betekende concreet dat in deze studies de relatie tussen blootstelling aan (laagfrequent) geluid van windturbines, gezondheid en/of hinder, slaapverstoring of verstoring van activiteiten in een volwassen populatie moest zijn bestudeerd. Selectie op basis van deze criteria leverde uiteindelijk 32 relevante studies op. Bij de beschrijving van de literatuur wordt, naast de resultaten, ook de studieopzet kort besproken.

Voor dit overzicht van de literatuur zijn in de eerste plaats wetenschappelijke publicaties gebruikt, zowel uit tijdschriften als van congressen. Daarnaast worden de resultaten beschreven uit een aantal publicaties die niet in een wetenschappelijk tijdschrift zijn gepubliceerd (de zogenaamde grijze literatuur), maar wel als relevant worden beoordeeld. Tenslotte worden enkele publicaties behandeld die vaak worden aangehaald in het debat rond windturbines.

3.2 Resultaten

Hinder en slaapverstoring zijn, evenals bij geluid van andere bronnen, de meest onderzochte effecten van windturbinegeluid. Het aantal publicaties over hinder en zeker van slaapverstoring van windturbinegeluid is echter beperkt. Oorspronkelijk waren de studies vooral afkomstig uit Nederland, Duitsland, Zweden en het Verenigd Koninkrijk. Ten gevolge van systematische uitbreiding van het aantal windturbines neemt op dit moment de aandacht wereldwijd toe. Dit komt onder andere tot uitdrukking in het groeiende aantal 'congrespapers' en beleidsdocumenten op dit terrein (zie bijvoorbeeld Health Canada, 2011; Proceedings Internoise 2011, 2012; Proceedings ICA, 2013). Terwijl de eerste studies betrekking hadden op solitaire windturbines met een beperkt vermogen (150 kW) en een hoogte tot 30 meter, gaat het meer recent om windparken met vermogens variërend van 1,5-7,5 MW per turbine en een ashoogte die kan oplopen tot 135 meter.

Andere effecten op de gezondheid die in de literatuur met de blootstelling aan windturbinegeluid in verband worden gebracht, maar niet per se zijn bewezen, zijn onder andere directe invloed op het vestibulaire systeem (evenwichtsorgaan) door blootstelling aan infrageluid (zie paragraaf 3.3.1), psychische problemen, vermoeidheid, pijn, stijfheid, diabetes, hoge bloeddruk, tinnitus (oorsuizen), gehoorschade, cardiovasculaire ziekten en hoofdpijn/migraine.

3.3 Fysieke aspecten geluid

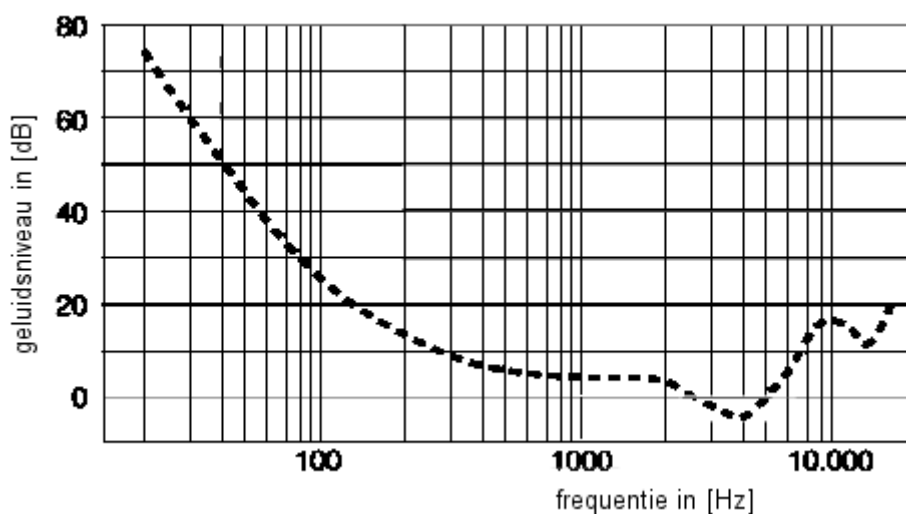
3.3.1 *Wat kunnen mensen horen*

Het bereik van het menselijk gehoor ligt in het frequentiegebied tussen 20 en 20.000 Hz. Mensen met een minder goed gehoor kunnen hoge tonen meestal slechter horen. Dan ligt de bovengrens op 10.000 Hz, soms nog lager. Geluid onder de 100 Hz, dat meestal mechanisch gegenereerd geluid is, is voor velen ook moeilijker te horen.

Geluid van middelhoge en hogere frequenties (boven 100 Hz) wordt vaak aangeduid met 'gewoon' geluid. Laagfrequent geluid (LFG) heeft componenten in

het laagst hoorbare frequentiegebied.¹ De gehoordrempel ligt voor LFG hoger dan voor 'gewoon' geluid (zie Figuur 4). Geluid met een frequentie onder de 20 Hz wordt ook wel infrageluid genoemd en wordt in de praktijk nauwelijks of niet gehoord, omdat het alleen waarneembaar is voor mensen als het heel sterk is. Het is bij LFG en zeker bij infrageluid dus van groot belang om het geluidniveau te vergelijken met de waarnemings- of gehoordrempel. De gehoordrempel is het zachtste geluid dat een persoon nog net kan waarnemen. In de figuur is te zien dat een jong, gezond mens rond een frequentie van 4000 Hz het beste hoort. De gehoordrempel bedraagt daar ongeveer 5 decibel (dB).

Bij lage frequenties is het menselijk oor veel minder gevoelig; bij 100 Hz bedraagt de gehoordrempel ongeveer 28 dB, bij 10 Hz zelfs ongeveer 75 dB. Wel neemt de ervaren luidheid van een geluid bij lage frequenties sterker toe, zodat een geluid 10 dB boven de gehoordrempel bij lage frequenties luider klinkt dan bij hoge frequenties. Door verschillen tussen individuele personen kan het daardoor zijn dat de ene persoon het geluid helemaal niet waarneemt en de andere zeer gehinderd kan zijn. Of het hinderlijk is, hangt af van het type geluid.



Figuur 4. De gemiddelde gehoordrempel van jonge, gezonde mensen (ISO 226)

3.3.2 'Gewoon' geluid

Het geluidniveau, de meetbare 'sterkte' van een geluid, wordt uitgedrukt in decibel (dB) (zie paragraaf 3.3.1). Luidheid is de sterkte van het geluid zoals mensen dat waarnemen en dat loopt niet gelijk op met het geluidniveau. Een verdubbeling van de geluidenergie komt overeen met 3 dB extra, maar wordt als een geringe verhoging in luidheid ervaren (denk bijvoorbeeld aan twee luidsprekers in plaats van een). Als het geluidniveau van 'gewoon' geluid met 10 dB toeneemt, klinkt het tweemaal zo luid. Bij zeer lage geluidsfrequenties neemt de luidheid sneller toe: bij 20 Hz horen we bij een toename van 5 dB al een verdubbeling van de luidheid.

¹ In verschillende landen worden verschillende ranges wat betreft de frequentie van LFG gebruikt. Bijvoorbeeld Denemarken: < 160 Hz, Japan: < 80 Hz, Polen: < 250 Hz, Nederland: < 100 Hz.

Meestal wordt vanwege dit verschil in luidheid een correctie toegepast op het feitelijke geluidniveau. Na toepassing van deze correctie (de zogenoemde A-weging) wordt het geluidniveau uitgedrukt in dB(A). Een geluidniveau in dB(A) wordt door mensen als even luid waargenomen ongeacht de frequentieverdeling van het geluid. In feite geldt de A-weging alleen bij vrij zachte tot matig harde geluiden. Dat maakt het een geschikte maat voor windturbinegeluid, omdat dit geluid niet erg hard is.

De geluidbelasting, dat is de hoeveelheid geluid waaraan mensen worden blootgesteld, kan worden uitgedrukt in één getal, een geluidmaat. Deze maat middelt het geluidniveau (aangeduid met L van Level = niveau) over een bepaalde tijd, waarbij meestal de dagperiode, de avond en de nacht, [L_{day} , L_{evening} en L_{night}], worden onderscheiden. Het is gebruikelijk om geluid in de nachtperiode strenger te beoordelen dan in de avond, en de avond weer strenger dan de dagperiode. Dit gebeurt door een toeslag toe te passen op het gemeten of berekende geluidniveau van +10 dB (nacht) of +5 dB (avond), of door de overdag geldende grenswaarden met respectievelijk 10 en 5 dB te verlagen.

Vanwege Europese regelgeving wordt in Nederland bij geluid van weg-, rail- en vliegverkeer het over de dag, avond en nacht gemiddelde geluidniveau berekend, inclusief de toeslagen. Het resultaat is het L_{den} : het gemiddelde geluidniveau over day, evening en night, inclusief een toeslag van 5 dB voor de avond en 10 dB voor de nacht (zie Tekstkader 3). In de Nederlandse regelgeving (zie paragraaf 2.2.2) worden gemiddelde, A-gewogen geluidniveaus gebruikt.

Tekstkader 3. Geluidmaten

L_{day} :	gemiddeld geluidniveau over de dagperiode, 7.00–19.00 uur
L_{evening} :	gemiddeld geluidniveau over de avondperiode, 19.00–23.00 uur
L_{night} :	gemiddeld geluidniveau over de nachtperiode, 23.00–7.00 uur,
L_{den} :	gemiddeld geluid over een etmaal, samengesteld uit de L_{day} , L_{evening} (+ 5dB) en L_{night} (+ 10 dB)
L_{Aeq} :	het equivalente of gemiddelde geluidniveau dat over een bepaalde periode (zoals een minuut, uur, dagperiode et cetera) kan worden vastgesteld
L_{Aeq24hr} :	het equivalente geluidniveau over een etmaal. Dit is het equivalente geluidniveau ten gevolge van blootstelling gedurende 24 aaneengesloten uren.

3.3.3 Laagfrequent geluid

Zowel natuurlijke bronnen als menselijk handelen kunnen laagfrequent geluid (LFG) veroorzaken. Bronnen in de natuur, zoals donder, aardbevingen en wind leiden doorgaans niet tot klachten. Dit is wel het geval voor bronnen die voortkomen uit menselijk handelen. Deze bronnen bevinden zich zowel binnenshuis (wasmachines, koelkasten, ventilatiesystemen et cetera) als buiten de woning (transformatoren, verbrandingsmotoren, koelinstallaties et cetera). Ook windturbines kunnen een bron zijn van LFG. Windturbines met de rotor aan de achterkant van de turbine ('downwind') bleken in de jaren tachtig een belangrijke bron, doordat de wieken achter de mast passeerden en daar plotseling anders door de wind belast werden (Hubbard et al., 1983). Daardoor was steeds een laagtonige puls hoorbaar. Bij moderne ('upwind') windturbines, met de rotor aan de voorkant van de turbine, komt dit veel minder voor en is dat geluid niet meer hoorbaar. Ook moderne windturbines produceren echter laagfrequent geluid en infrageluid (Doolan et al., 2012).

Laagfrequent geluid heeft een lange golflengte. Van geluid met een lange golflengte is bekend dat het relatief weinig wordt geabsorbeerd of gedempt door gevels en bij voortplanting door de atmosfeer. Omdat het ook door de bodem niet of nauwelijks wordt geabsorbeerd, kan het geluid grote afstanden overbruggen en kan een bron van laagfrequent geluid op grote afstand (tot enkele kilometers) hoorbaar zijn en eventueel hinder veroorzaken. Door de grote golflengte van LFG kunnen binnenshuis ook zogenoemde staande geluidsgolven optreden; criterium daarvoor is dat ten minste een halve tot enkele golflengten binnen de afmetingen van een kamer passen. Hierdoor kan het geluid op sommige plaatsen binnenshuis worden versterkt en op andere plaatsen juist verzwakt. LFG leidt soms tot trillingen van voorwerpen (rammelen of *rattle*), zoals ramen en deuren of glazen en bekers. Er is nog onvoldoende bekend over de samenhang van frequentie met hinder. Het vaststellen van een absolute grenswaarde is dan ook (nog) niet mogelijk. Mensen die gehinderd worden door LFG, horen dit geluid vaak als brommen, dreunen of zoemen. LFG wordt daarnaast vaak gevoeld als druk op de oren, druk op het hoofd of trillingen in het lichaam. Mensen kunnen ook last hebben van een laagtonig geluid dat niet aan de hand van meting kan worden aangetoond. In dat geval kan het geluid een neurologische oorzaak hebben (Van den Berg, 2009b).

3.4 Geluid van windturbines

Bij windturbines lijkt een aantal aspecten van het geluid een grotere rol te spelen dan bij andere geluidbronnen. Dat zijn:

- de frequentie van het geluid (variërend van infra-, laagfrequent tot wat we doorgaans 'gewoon geluid' noemen);
- het karakter van het geluid;
- afstand.

Frequentie

In vergelijking met andere bronnen zijn de maximale niveaus van windturbines bescheiden. Het geluid wordt bij lagere geluidsniveaus, meer dan bij geluid van verkeer en industriegeluid het geval is, echter al als zeer hinderlijk ervaren. Welke rol een cumulatie van geluid in de verschillende frequentiebanden (zoals tussen gewoon geluid en LFG) hierbij speelt, is nog niet duidelijk. In 2008 concludeerden Van den Berg en Van Kuijeren dat 'Windturbines zeker laagfrequent geluid produceren. Wellicht kan het laagfrequente deel van het geluid van windturbines tot extra hinder leiden, maar er is nog geen evidentie dat dit een factor van belang is.' Ook met de huidige kennis blijft deze conclusie overeind. 'Dat laagfrequent geluid door bewoners belangrijk wordt geacht, zou ook kunnen liggen aan spraakverwarring: De laagfrequente (tot 1 Hz) draaisnelheid van de bladen van een windturbine wordt vaak ervaren als hinderlijk, fluctuerend geluid en wordt soms verward met een lage geluidsfrequentie' (Van den Berg en Van Kuijeren, 2008).

Karakter

Geluid van windturbines wordt meestal onderverdeeld in 1) mechanisch geluid (geluiden van de apparatuur in de gondel (vooral de tandwielenkast)), en 2) aero-akoestisch geluid (geluiden die door de wieken worden geproduceerd in interactie met de lucht). Aero-akoestisch geluid ontstaat aan de voorzijde en uiteinden, maar vooral aan de achterrand van de wieken en is sterk afhankelijk van de snelheid waarmee de lucht over de wieken stroomt. Omdat de uiteinden van de rotorbladen de hoogste snelheid hebben, dragen zij het meest bij aan de totale geluidsproductie. Was bij de oudere windturbines het mechanische geluid

overheersend, bij de nieuwe generatie turbines is het aero-akoestische geluid dominant.

3.4.1 *Geluidniveaus en afstand*

De meeste windturbines worden geplaatst op 300 meter of meer van de woning. Op die afstand heeft een windturbine, afhankelijk van de grootte, een geluidniveau van zo'n 43 tot 50 dB. In vergelijking met andere bronnen: de gemiddelde airconditioner kan 50 dB bereiken en een koelkast zo'n 40 dB. Op 500 meter daalt het geluidniveau naar zo'n 39 tot 46 dB. Of dit niveau wordt waargenomen is afhankelijk van het niveau van het plaatselijke achtergrondgeluid.

Afhankelijk van geografische en atmosferische omstandigheden, kan het geluid van windturbines tot op enkele kilometers hoorbaar zijn. Met de huidige geluidmodellen is er soms sprake van een onderschatting. Verheijen et al. (2011) concluderen dat onder ongunstige omstandigheden het geluidniveau rond 2 kilometer (tijdelijk) hetzelfde kan zijn als dat bij 700 meter onder neutrale condities. Een afstand waarboven van windturbines helemaal geen effecten meer te verwachten zijn, zou dus zo groot zijn dat dit in Nederland het plaatsen van windturbines vrijwel onmogelijk zou maken (Verheijen et al., 2011).

3.4.2 *Omvang blootstelling aan windturbinegeluid in Nederland; situatie 2010*

In 2010 waren er in Nederland ruim 15.000 mensen blootgesteld aan geluidniveaus van windturbines van 40 dB (L_{den}) en hoger, waarvan er naar schatting 760 ernstige hinder ondervonden (vijf procent). Ruim 700 mensen waren blootgesteld aan niveaus van 50 dB en hoger, waarvan naar schatting 180 (24 procent) mensen ernstig gehinderd zijn (zie Tabel 1).

Tabel 1. Schatting van (gecumuleerd) aantal blootgestelden en ernstig gehinderden door windturbinegeluid in Nederland (Bron: Verheijen et al., 2011)

Blootgesteld aan (L_{den})	Aantal* inwoners	Ernstig gehinderd	
		Aantal*	Percentage* van het totaal aantal ernstig gehinderden (1500)
50 dB of meer	740	180	12
47 dB of meer	1810	310	21
45 dB of meer	3110	400	27
40 dB of meer	15.250	760	52
29 dB of meer	ca. 440.000	ca. 1500	100

* gecumuleerd aantal / percentage gebaseerd op dosis-effectrelatie

3.4.3 *Amplitudemodulatie*

Het zwiepende karakter van het geluid is bij windturbines naast het geluidniveau (het soort geluid) belangrijk voor de hinder van omwonenden (zie paragraaf 3.5). Het zwiepende karakter komt voort uit een regelmatige variatie in geluidsterkte, ook wel amplitudemodulatie genoemd (zie Tekstkader 4).

Tekstkader 4. Amplitudemodulatie (zoeven/zwiepen/stampen)

Wieken emitteren wat meer geluid (vooral van de achterrand) naar voren dan naar achter en bovendien gaan de wiektippen zo snel (tot ongeveer 70 m/s) dat er een dopplerversterking optreedt. Beide mechanismen zorgen voor meer geluid aan de voorkant van een naar de luisteraar toebewegende wiektip (en minder bij een weggaande). Als gevolg daarvan is het geluid steeds even wat luider als een wiek omlaag beweegt: het bekende zoeven dat men dichtbij een draaiende turbine altijd hoort (Oerlemans, 2011). Op grotere afstand van een windturbine zijn deze effecten echter van veel minder belang. Verder weg van een windturbine kan men echter ook een variatie in geluidssterkte horen, maar om andere redenen. De wieken passeren tijdens hun rondgang de mast en luchtlagen met verschillende windsnelheden. Daardoor kan de geluidssterkte variëren in het ritme van de ronddraaiende wieken. Dit kan leiden tot een ritmisch, soms impulsachtig geluid en is hoorbaar als regelmatige geluidspiepjes met een niveau tot ongeveer 5 dB boven de meer constante ruis die de windturbine uitstraalt (Van den Berg, 2005; Doolan et al., 2012). Dit treedt vooral op als de windsnelheid sterker toeneemt met de hoogte en dat is na zonsondergang, als de onderste luchtlagen afkoelen. Dicht bij een turbine kan men dit niet horen, omdat daar tijdens het draaien de afstand tussen waarnemer en wiektip sterk varieert waardoor de geluidssterkte juist tegengesteld varieert.

Sommige onderzoekers constateren dat het voorkomen van amplitudemodulatie en het aantal mensen dat daaraan wordt blootgesteld te klein is om verder onderzoek te legitimeren (Moorhouse et al., 2007). Van den Berg (2009a) constateert echter op basis van dezelfde gegevens juist dat amplitudemodulatie veel lijkt voor te komen. Anderen geven aan dat vooral interventie in het karakter van het geluid mogelijk soelaas biedt voor reductie van hinder. Lee (2011) onderzocht tijdens een luistertest de mate van hinder door amplitudemodulatie door geluid van windturbines. De resultaten toonden een statistisch significant effect op hinder. Op basis van dit resultaat adviseert Lee dat naast de equivalente geluidsniveaus ook de amplitudefactor zou moeten worden meegenomen bij onderzoek.

De wettelijke geluidsmaten, L_{den} en L_{night} , houden geen rekening met deze variatie. In de regelgeving met betrekking tot windturbines wordt hiermee wel rekening gehouden, in die zin dat de maximaal aanvaardbare hinder is gebaseerd op wat feitelijk rond windturbines aan hinder is vastgesteld.

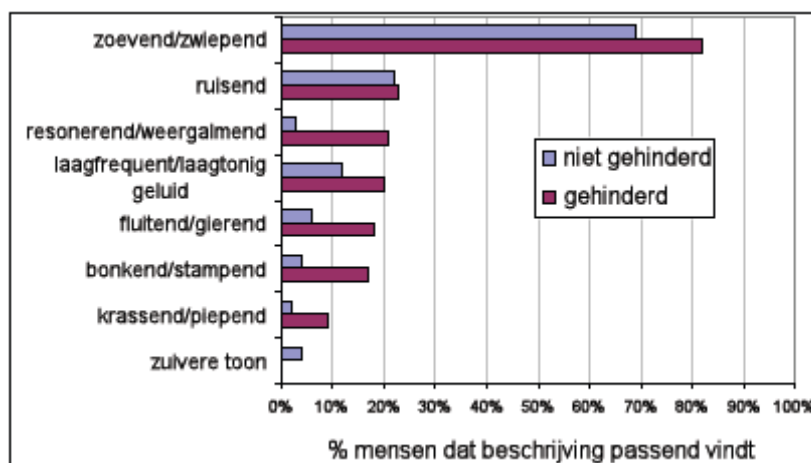
3.5 Effecten op de gezondheid

3.5.1 Hinder van 'gewoon' geluid

In een Nederlandse studie werden 725 volwassen respondenten ondervraagd die binnen ongeveer 2,5 kilometer van een windpark woonden met minstens twee turbines van minimaal 500 kW elektrisch vermogen (Van den Berg et al., 2008; Pedersen et al., 2011). Uit dit onderzoek kwam geluid naar voren als het meest hinderlijke aspect van windturbines. Bij geluidsniveaus op de woning vanaf 35-40 dB(A) hoorde 80 procent of meer van de respondenten de windturbine(s), ongeacht of ze dat geluid hinderlijk vonden of niet. Het geluid was volgens de meesten luider als de wind vanaf de windturbines naar hun woning waaide en als het hard waaide. 40 procent van de respondenten beoordeelde het geluid 's nachts als luider en 22 procent als minder luid, ondanks het feit dat de windsnelheid (nabij de grond) 's nachts gemiddeld wat lager is. Een belangrijke bevinding was dat respondenten die geen windturbine konden zien vanuit hun woning, bij overeenkomstige geluidsniveaus de windturbines minder vaak hoorden dan respondenten die de turbines wel konden zien. De groep met zicht op een turbine rapporteerde meer hinder, ook al was er geen verschil in

geluidniveau. Desgevraagd vond ongeveer driekwart van de respondenten dat 'zoeven' of 'zwiepen' een juiste beschrijving was van het geluid van windturbines, ongeacht of men het hinderlijk vond of niet.

Bakker et al. (2012) onderzochten de relatie tussen blootstelling aan windturbinegeluid en hinder, slaapverstoring en psychologische stress bij mensen die dicht bij een windturbinepark woonden. Vragenlijstgegevens werden hierbij in verband gebracht met berekende geluidsniveaus buiten. Mensen die in de buurt van een windturbinepark woonden, bleken vaker (ernstige) hinder van windturbinegeluid te rapporteren. Dit kan indirect aanleiding geven tot slaapverstoring en psychologische stress. Deze conclusie is vergelijkbaar met die van Pedersen en Persson Waye (2008) die beargumenteren dat hinder door windturbinegeluid lichamelijk en psychisch herstel in de weg kan staan: dat wil zeggen, de mate van herstel van mentale vermoeidheid en aandacht. De afname van de kwaliteit van dit herstel bleek ook samen te hangen met de typische kenmerken van windturbinegeluid zoals het zoevende of pulserende karakter. Ook bleek dat, naast de auditieve kenmerken, de visuele kenmerken een belangrijke bijdrage leveren aan negatieve reacties.



Figuur 5. Relatie van het karakter van windturbinegeluid en percentage gerapporteerde hinder (Bron: Pedersen et al., 2007)

Zweeds laboratoriumonderzoek presenteerde geluidsopnamen van windturbines aan studenten die niet gewend waren aan windturbinegeluid. Hieruit bleek dat geluiden die werden omschreven als 'zoeven', 'kabbelen' of 'fluiten' het meest hinderlijk waren. Het als minst hinderlijk ervaren geluid werd omschreven als 'knarsend' en 'laagfrequent' (Persson Waye en Öhström, 2002). Ten slotte bleek uit interviews dat mensen zich geërgerd voelden doordat de windturbines hun leven binnendrongen, vooral door het zoevende geluid, de variërende schaduw (slagschaduw) en de voortdurende draaibeweging (Pedersen en Persson Waye, 2004). Zie Figuur 5 voor de relatie van het karakter van het geluid met hinder. In het Verenigd Koninkrijk is onderzoek uitgevoerd bij drie woningen (Hayes, 2006) waar klachten waren over het geluid van windturbines. Aan de hand van metingen werd geconstateerd dat binnenshuis het ritmische karakter van het geluid waarneembaar was en dat niet het vermeende laagfrequente karakter van het geluid de klachten veroorzaakte. Geconstateerd werd dat de amplitudemodulatie (regelmatige sterktevariatie) van het geluid de oorzaak kon zijn van klachten. Benadrukt moet worden dat het gaat om

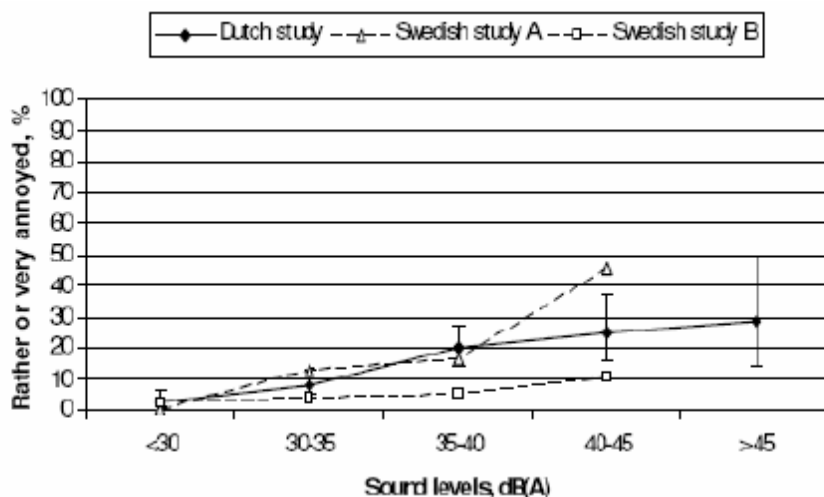
aanvullende hinder door het karakter van het geluid, bovenop de hinder door de equivalente geluidniveaus.

Een review, opgesteld door een expertpanel in opdracht van het Department of Environmental Protection in Massachusetts (MDEP, 2012), concludeert eveneens dat hinder een resultante lijkt te zijn van het geluid, de aanblik van windturbines en de houding ten aanzien van het windturbineproject zelf. Volgens het panel is de epidemiologische evidentie nog beperkt dat de blootstelling aan geluid van windturbines leidt tot hinder, doordat er nog maar een klein aantal studies zijn gepubliceerd, en er is onvoldoende bewijs dat er een samenhang is tussen windturbinegeluid en hinder onafhankelijk van de visuele aspecten en vice versa.

3.5.2 *Relatie 'gewoon' geluid en hinder*

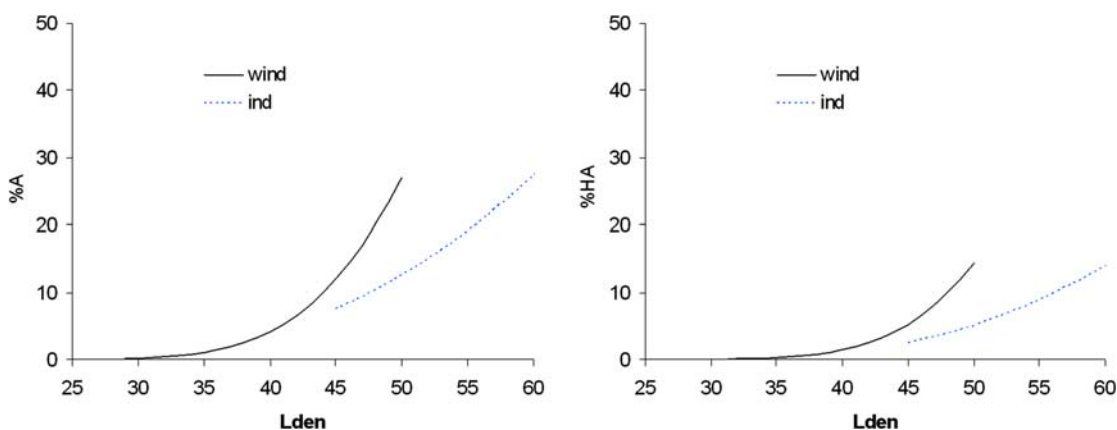
In Figuur 6 wordt het percentage matig en ernstig gehinderde respondenten uit de Zweedse en Nederlandse studies weergegeven per geluidniveau (oplopend van minder dan 30dB(A) tot meer dan 45 dB (A)). Het gaat hierbij om het geluid van windturbines op de gevel van de woningen van respondenten zoals dat optreedt bij een vrij hoge windsnelheid (8 m/s in een neutrale atmosfeer). Het betreft hinder die buitenshuis (direct buiten de woning) wordt ervaren. De resultaten van het eerste Zweedse onderzoek (op vlak platteland; studie A) komen goed overeen met de Nederlandse resultaten. Voor het tweede Zweedse onderzoek (waarin ook heuvelachtig terrein en voorsteden waren begrepen; studie B) geldt dat minder. Omdat in beide Zweedse onderzoeken respondenten met economische belangen in windturbines waren uitgesloten van de hindercurven, zijn deze in de Nederlandse data in deze figuren eveneens buiten beschouwing gelaten.

Pedersen en Van den Berg (2010) constateerden dat windturbinegeluid als hinderlijker wordt ervaren dan geluid van andere bronnen bij gelijke niveaus. Verklaringen worden gezocht in het karakter van windturbinegeluid, zoals hierboven al meermalen aan bod is gekomen. Ook speelt vermoedelijk een rol dat het geluid van wegverkeer 's avonds gemiddeld genomen afneemt, terwijl het bij hoge windturbines gelijk blijft of zelfs toeneemt. Andere factoren van belang zijn contextuele en persoonlijke factoren, ook wel niet-akoestische factoren genoemd ¹ Contextuele en persoonlijke factoren zijn factoren anders dan het geluid zelf die mede de hinder bepalen, zoals visuele aspecten, procedurele rechtvaardigheid, de onvoorspelbaarheid van windturbinegeluid door variaties in de wind, angst voor afbrekende delen of houding ten aanzien van visuele aspecten.

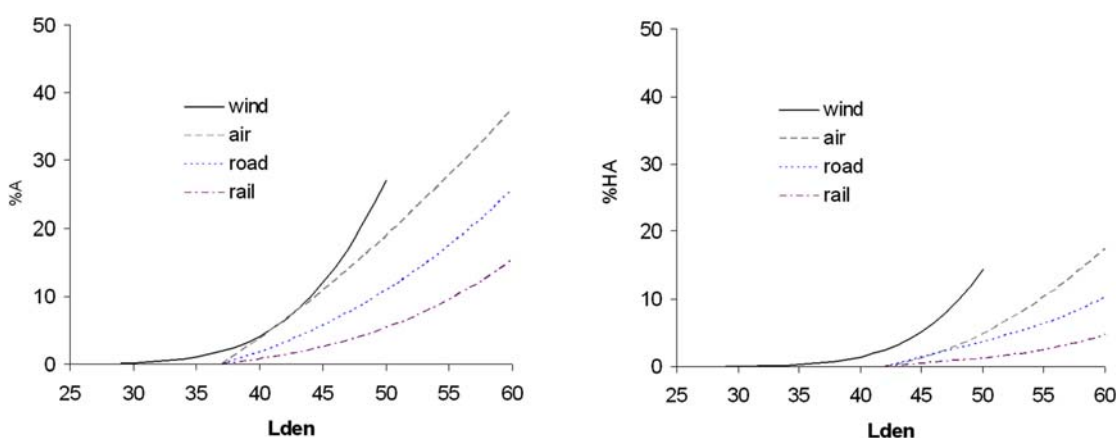


Figuur 6. Percentage respondentent dat matige of ernstige hinder ondervond van windturbines bij een bepaald geluidniveau (geluidniveau bij 8 m/s windsnelheid op 10 m, neutrale atmosfeer) (Bron: Van den Berg et al., 2008)

Janssen et al. (2011) hebben dosis-responsrelaties afgeleid voor hinder door geluid van windturbines binnen en buiten de woning en hebben deze vergeleken met gegeneraliseerde relaties (de zogenaamde Miedema-curves) voor weg-, vlieg- en railverkeersgeluid. Bij het afleiden van de relaties is rekening gehouden met het gebruik van verschillende dosismaten in de Zweeds-Nederlandse studies. Janssen et al. (2011) hebben deze omgerekend naar L_{den} om vergelijking met andere bronnen mogelijk te maken. Hieruit bleek eveneens dat hinder van windturbines al op lagere niveaus gerapporteerd wordt. Ook in vergelijking met industrielawaai scoort het geluid van windturbines ongunstig (zie figuur 7 en 8).



Figuur 7. Vergelijking van het percentage gehinderden (%A) en ernstig gehinderden (%HA) binnen ten gevolge van geluid van windturbines en geluid van industrie (Bron: Janssen et al., 2009).



Figuur 8. Vergelijking van het percentage gehinderden (%A) en ernstig gehinderden (%HA) binnen ten gevolge van geluid van windturbines vergeleken met geluid van transport per bron (vlieg, weg, rail) (Bron: Janssen et al., 2009).

Fiumicelli (2011) en de Belgische Hoge Gezondheidsdaad (2013) stellen dat er nog te veel onzekerheden bestaan om een robuuste dosis-responsrelatie voor windturbines te formuleren. De invloed van lokale, contextuele en persoonlijke aspecten is zo sterk (zie hoofdstuk 4) dat een gegeneraliseerde dosis-responsrelatie slechts een indicatie kan geven van een trend, maar op lokale situaties een slechte voorspelling van het percentage ernstig gehinderden kan opleveren. Ook het Amerikaanse panel van experts stelt dat de relatie tussen geluidsniveaus en hinder van windturbines nog onvoldoende getalsmatig is onderbouwd (MDEP, 2012). De dosis-responsrelatie zoals afgeleid door Janssen et al. (2011) wordt in Nederland echter beschouwd als de best beschikbare op dit moment en is de basis voor huidige regelgeving.

3.5.3 Hinder door infrageluid en laagfrequent geluid (LFG)

Uit een overzichtsonderzoek van Jakobsen (2005) blijkt dat het infrageluid van windturbines in gerapporteerde gevallen 10 dB of meer onder de waarneemdrempel ligt. Een Australisch onderzoeksbureau (Sonus, 2010) deed infrageluidmetingen bij Australische windturbineparken en vond eveneens niveaus beneden de gehoorrens. Data boven de 20 Hz werden in het artikel niet getoond en er konden geen conclusies worden getrokken over niveaus van LFG. Jung et al. (2008) deden metingen bij twee windturbines (1.5 MW en 660 kW) en brachten de geluidsniveaus in kaart, inclusief infrageluid. Geconcludeerd werd dat turbines met variabel toerental (*pitch regulated*) beter presteerden dan met constant toerental (*stall regulated*) voor wat betreft geluidsbeheersing. Ook zij concluderen dat de niveaus van infrageluid onder de gehoordrempel waren (zie Figuur 4), maar die van LFG boven de gehoordrempel en ten gevolge hiervan het meest waarschijnlijk leidden tot klachten en hinder. Ondanks het feit dat de niveaus van infrageluid laag waren, werden wel trillingen waargenomen (bijvoorbeeld ramen), wat ook tot hinder zou kunnen leiden.

Volgens Hayes (2006) is niet het laagfrequente karakter de oorzaak van klachten, maar de amplitudemodulatie van het geluid (zie ook paragraaf 3.4). Salt en Hullar (2010) vatten de literatuur samen op het gebied van de directe invloed van infrageluid op het oor. Zij concluderen (op basis van dierexperimenten) dat normaliter onhoorbaar infrageluid toch hoorbaar kan zijn als er geen hoger frequent geluid aanwezig is. Op basis hiervan wordt door Salt en Hullar geconcludeerd dat infrageluid van windturbines toch hoorbaar kan zijn,

maar nader onderzoek is wel noodzakelijk om deze hypothese verder te onderbouwen.

Volgens Bolin et al. (2011) heeft de toename van hoogte van windturbines bij omwonenden de angst opgeroepen dat er meer laagfrequent geluid zal vrijkomen. Op grond van hun literatuuroverzicht concluderen Bolin et al. dat de belangrijkste bron van LFG de interactie is van inkomende wind met de wieken. Infrageluid van 1-20 Hz is zowel dichtbij als op afstand niet hoorbaar en het is niet aangetoond dat infrageluid met niveaus die voorkomen bij windturbines bijdragen aan de hinder van windturbines. Wel is het LFG hoorbaar op de afstand die typisch is voor moderne windturbines en woningen (doorgaans vanaf 400 meter), maar de niveaus overstijgen niet de niveaus afkomstig van bijvoorbeeld wegverkeer. Hoewel nieuwe turbines mogelijk wat meer LFG produceren dan de oudere en kleinere turbines, wordt het verschil als minimaal beoordeeld.

Howe et al. (2011) concluderen dat er geen specifieke noodzaak is een laagfrequente component toe te voegen aan de regelgeving: A-gewogen geluidniveaus zijn volgens hem voldoende voor handhaving. Wat betreft de klachten gerelateerd aan de geluidniveaus: deze zijn net als bij trillingen sterk afhankelijk van bouwtechnische aspecten. Er zijn grote verschillen, afhankelijk van de woningindeling en van andere kenmerken gerelateerd aan geluidtransmissies. Ondanks het feit dat infrageluid niet waarneembaar is bij woningen, roept het veel discussie op. Het is volgens de auteur van groot belang dat meetmethoden en protocollen verder ontwikkeld worden.

Møller en Pedersen (2011) hebben de literatuur met betrekking tot LFG van windturbines eveneens uitgebreid geanalyseerd. Zij concluderen dat met de toename in grootte van de windturbines de proportie geluid in de lagefrequentiebanden (63-250 Hz in deze studie) toeneemt. Evenals Howe et al. (2011) concluderen zij dat windturbines weliswaar *infrageluid* veroorzaken, maar dat de geluidniveaus ter plaatse van woningen onder de drempelwaarde voor het menselijk gehoor liggen. Er bestaat volgens Møller en Pederson een groot risico dat omwonenden hinder ondervinden van *LFG*. Opmerkelijk is hun conclusie dat de huidige geluidsstandaarden niet goed rekening houden met het laagfrequent geluid. Ook wijzen zij er op dat LFG een groter gebied rond de turbine kan beïnvloeden dan 'gewoon' geluid.

3.5.4 *Slaapverstoring*

Slaapverstoring is een belangrijk effect van geluid, omdat een goede slaap essentieel is voor lichamelijke en geestelijke gezondheid (WHO, 2009). Er zijn verschillende directe biologische reacties op nachtelijk geluid mogelijk: een versnelde hartslag, wakker worden, moeilijker inslapen en meer bewegingsonrust tijdens het slapen (Gezondheidsraad, 2004). Volgens de Gezondheidsraad is *bij een gegeven gemiddeld geluidniveau* (L_{night}) de kans op reactie het grootst als er heel veel geluidspieken net (ongeveer 5 dB) boven de drempelwaarde voor reactie liggen. Met andere woorden: veel kleine piekwaarden gedurende de nacht hebben meer effect dan enkele hoge piekwaarden, en vormen de door de Gezondheidsraad beschreven 'worst case'.

In Nederlands onderzoek werd geconstateerd dat het geluid van windturbines geen invloed had op problemen met in slaap vallen (Van den Berg et al., 2008). Problemen met doorslapen bleken wel gerelateerd aan het geluid van windturbines. Een toename in geluidniveau hing samen met een significant grotere kans op wakker worden. Dit was niet het geval bij respondenten met

economische voordelen van windturbines. De toename in verstoorde slaap (ten minste eens per maand extra wakker worden) is het meest opvallend (en daar ook significant) in de geluidklasse vanaf 45 dB(A) (geluidniveau bij 8 m/s windsnelheid op 10 meter hoogte in een neutrale atmosfeer). Op basis van een vergelijking van de Nederlandse studie en twee Zweedse studies concludeert Pedersen (2011) dat in twee van de drie studies een significante associatie werd gevonden tussen het geluidniveau en subjectieve slaapverstoring. Hierbij werden alleen de A-gewogen niveaus meegenomen en de resultaten staan een evaluatie van effecten van LFG niet toe.

De in het Nederlands onderzoek vermelde resultaten stemmen overeen met de conclusies van de WHO. Volgens de WHO kan slaapverstoring optreden bij een gemiddeld nachtelijk geluidniveau op de gevel (L_{night}) van 45 dB(A) en hoger (WHO, 2000). Er wordt dan van uitgegaan dat de gevel het geluid met 15 dB(A) dempt. De drempelwaarde voor slaapverstoring ligt op 30 dB(A) in de slaapkamer, maar in een stille omgeving zou dat nog bij lagere niveaus kunnen zijn. Als de geluidsisolatie van de gevel minder is, wat bij een ver geopend raam mogelijk is, zal slaapverstoring kunnen optreden bij wat lagere waarden dan 45 dB(A) op de gevel.

Verschillende recente studies laten een verband zien met de kwaliteit van slaap en slaapverstoring en de afstand van de woning tot de windturbine. Mensen die dicht bij een windturbine wonen, hebben volgens Nissenbaum et al. (2012) een significant mindere slaapkwaliteit. Shepherd et al. (2011) concludeerden dat verschillen in de kwaliteit van leven (gemeten aan de hand van de WHO HRQOL-lijst) worden voorspeld door hinder en subjectieve slaapverstoring. Deze resultaten zijn vergelijkbaar met die gevonden in relatie tot vlieg- en wegverkeer.

Het expertteam van het Massachusetts Department of Environmental Protection (2012) concludeert dat slaap een complexe biologische toestand is die van belang is voor gezondheid en welbevinden, en dat er nog geen geschikte data beschikbaar zijn over de invloed van windturbines op de slaap. Er is, volgens het rapport, in epidemiologisch onderzoek in beperkte mate aangetoond dat er een verband bestaat tussen geluid van windturbines en slaapverstoring, maar dat het wel waarschijnlijk is dat geluid van windturbines de slaap verstoort. Een zeer luide windturbine kan in het bijzonder bij kwetsbare groepen de slaap verstoren, al is nog onvoldoende bekend over de drempelwaarden waarboven slaapverstoring optreedt. Ook is de relatie tussen hinder van windturbines en slaapverstoring nog onvoldoende getalsmatig onderbouwd. Uit de algemene geluidliteratuur is bekend dat slaapverstoring een negatieve invloed heeft op stemming, cognitief functioneren en een gevoel van gezondheid en welbevinden. Toekomstig onderzoek zou volgens het panel de geluidniveaus door windturbines moeten relateren aan fysiologische slaapmaten, er moet aandacht worden besteed aan het aspect van gewenning (habituatie) en tot slot moeten, in onderzoek, kwetsbare groepen ten aanzien van slaapverstoring worden betrokken naast de algemene populatie.

3.5.5 *Overige gezondheidseffecten door geluid*

Er zijn recent twee grote literatuurstudies gepubliceerd naar de gezondheidseffecten van windturbines: een studie van Knopper en Ollson uit 2011 en het eerder genoemde rapport van een expertteam voor de Massachusetts Department of Environmental Protection (MDEP, 2012).

Daarnaast werd zeer recent het advies van de Belgische Hoge Gezondheidsraad (HGR, 2013) met betrekking tot windturbines gepubliceerd.

Knopper en Ollson (2011) stellen dat mensen in het debat over windturbines hun mening vormen op basis van twee soorten informatie:

1. wetenschappelijke studies gepubliceerd in wetenschappelijke tijdschriften;
2. informatie uit populaire literatuur en van het internet.

In hun studie onderzochten zij beide soorten informatie. De onderzoekers constateren dat de conclusies van wetenschappelijke studies sterk verschillen van die uit de populaire literatuur en van internetpublicaties.

Uit de wetenschappelijke studies blijkt dat hoorbaar geluid van windturbines, zoals boven beschreven, hinder kan veroorzaken en dat deze hinder mede beïnvloed wordt door contextuele en persoonlijke factoren (zie hoofdstuk 4). Volgens het MDEP (2012) is er geen enkel wetenschappelijk artikel dat wijst op een direct verband tussen het wonen in de nabijheid van een windturbine of het geluid dat deze maakt, en gezondheidseffecten anders dan hinder en in sommige gevallen zelfgerapporteerde slaapverstoring. In de populaire literatuur worden zelfgerapporteerde gezondheidseffecten geassocieerd met de afstand tot windturbines en wordt infrageluid beschreven als een belangrijke oorzaak van deze effecten, ook als de geluidniveaus niet gemeten en derhalve onbekend zijn.

Knopper en Olsson stellen tot slot dat zowel de wetenschappelijke als de populaire literatuur tot de conclusie komt dat windturbines een bron van hinder kunnen zijn, en dat de oorzaak van deze hinder aan verschillende factoren wordt toegeschreven: enerzijds aan het geluid van de turbine en visuele aspecten en anderzijds aan attitude en de hiermee samenhangende attributies.

Het panel van experts (MDEP, 2012) concludeert dat er onvoldoende wetenschappelijk bewijs is dat geluid van windturbines directe (onafhankelijk van hinder en slaapverstoring) gezondheidseffecten veroorzaakt. Er is geen bewijs dat blootstelling aan windturbines een set van gezondheidseffecten veroorzaakt die ook wel worden samengevat onder de term 'windturbinesyndroom'. De veronderstelling dat blootstelling aan infrageluid, veroorzaakt door windturbines, direct het vestibulaire systeem kan beïnvloeden (Moorhouse et al., 2009; Salt en Hullar, 2010), is nog niet wetenschappelijk bewezen. Beschikbare gegevens laten zien dat de infrageluidniveaus bij windturbines niet hoog genoeg zijn om dit te kunnen veroorzaken. Het MDEP-panel van experts concludeert ook dat er onvoldoende epidemiologisch bewijs is dat er een directe associatie bestaat tussen het wonen in de buurt van windturbines en gezondheidsklachten, zoals psychische problemen, pijn, stijfheid, hoofdpijn/migraine, en aandoeningen, zoals diabetes, cardiovasculaire ziekten, tinnitus en gehoorschade. Ook enkele audiologen (Farboud et al, 2013; Soede, 2013) stellen dat op grond van Salts onderzoek niet geconcludeerd kan worden dat infrageluid de oorzaak is van gezondheidsklachten: daarvoor is meer bewijs nodig. Volgens Leventhall (2013) produceert het menselijk lichaam intern zoveel infrageluid (onder andere door bloedstroming en ademhaling) dat dit van buiten komend infrageluid zou overstemmen; juist vanwege dat interne infrageluid ligt mogelijk de gehoordrempel voor infrageluid zo hoog.

Ook het recent uitgekomen advies van de Belgische Hoge Gezondheidsraad (HGR, 2013) stelt dat directe effecten op de gezondheid, anders dan hinder en slaapverstoring, onwaarschijnlijk zijn. De raad geeft wel de waarschuwing mee dat zowel hinder als slaapverstoring via stressprocessen kunnen leiden tot

negatieve effecten op de gezondheid en het welbevinden van de mensen die in de buurt van windturbines wonen.

Tot slot wijst de Raad er op dat het voor de sociale acceptatie van een windenergieproject door de lokale gemeenschap beslissend is hoe deze de gevolgen ervan voor haar (toekomstige) levenskwaliteit waarneemt. Als het gevoel bestaat dat die erop achteruit gaat (of zal gaan), kan dit bij bepaalde personen tot gezondheidsklachten leiden of deze verergeren, zoals bijvoorbeeld zich depressief voelen, hoofdpijn of hoge bloeddruk.

3.5.6 *Vibro-akoestische ziekte en het windturbinesyndroom*

Regelmatig citeren tegenstanders van de plaatsing van windturbines onderzoek naar vibro-akoestische ziekte en het windturbinesyndroom. Het windturbinesyndroom werd beschreven door de Amerikaanse arts Pierpont. Haar onderzoek is gebaseerd op klachten van 38 mensen uit tien families die in de buurt (300 meter tot 1,5 kilometer) van een windmolen wonen in de Verenigde Staten, Groot-Brittannië, Italië, Ierland en Canada. Laag gebrom van de windmolen (infra- een laagfrequent geluid) wordt verondersteld de oorzaak te zijn van wat zij het windturbinesyndroom noemt. Het windturbinesyndroom wordt door Pierpont beschreven aan de hand van een verscheidenheid aan (niet specifieke) klachten: slaapstoornissen en slaapdeprivatie, hoofdpijn, oorsuizing, druk op de oren, duizeligheid, vertigo (draaiduizeligheid), misselijkheid, wazig zien, problemen met concentratie en geheugen, versnelde hartslag en paniekaanvallen geassocieerd met gevoelens van beweging of trilling in het lichaam, zowel tijdens slaap als bij wakkere toestand (Pierpont, 2009).

Het MDEP beoordeelt de studie als wetenschappelijk zwak (MDEP, 2012), op basis van het beperkt aantal deelnemers, de selectie van de deelnemers, het feit dat de studie gebaseerd is op interviews (geen metingen), en dat een aantal deelnemers al gezondheidsproblemen had voor de plaatsing van de windturbines. Er is geen wetenschappelijk bewijs voor het bestaan van het windturbinesyndroom.

In de literatuur wordt ook wel gesproken over vibro-akoestische ziekte (VAZ) in relatie tot LFG en infrageluid. De belangrijkste data rond VAZ komen van een (voortgaande) studie onder vliegtuigtechnici die beroepsmatig zijn blootgesteld aan laagfrequent geluid. Castelo Branco en anderen (2004) beschrijven op basis daarvan de symptomen en kenmerken (onder andere verdikking van het hartweefsel) die zij toeschrijven aan VAZ. VAZ is omstreden als aandoening. De resultaten van de dierproeven zijn uitgevoerd bij hoge niveaus laagfrequent geluid die alleen in industriële situaties voor zullen komen. Daarnaast zijn er nog geen studies uitgevoerd met een degelijke controlegroep. De aandoening lijkt in de wetenschappelijke literatuur grotendeels te worden genegeerd. Ook is de manier van diagnosticeren van de aandoening bekritiseerd, omdat deze niet nauwkeurig genoeg zou zijn (ASTDR 2001).

Het voorkomen van de zogenaamde vibro-akoestische ziekte (VAZ) en het windturbinesyndroom zijn zeer onwaarschijnlijk bij de huidige geluidsniveaus van windturbines (Van den Berg, 2011).

4 Fysieke en sociale aspecten van windturbines en gezondheid

Hoofdstuk 4 samengevat:

- Slagschaduw van windturbines kan hinderlijk zijn voor omwonenden. Om deze hinder te verminderen moeten windturbines voorzien zijn van een stilstandvoorziening. Ook de beweging van de wieken zelf kan als hinderlijk worden ervaren.
- Lichtschittering en elektromagnetische velden spelen geen rol van betekenis bij de huidige windturbines.
- Aan windturbines zijn diverse veiligheidseisen gesteld, waaronder afstand tot woningen, die aansluiten bij risico's van andere maatschappelijke activiteiten.
- Mensen met een economisch belang bij windturbines in hun woonomgeving rapporteren over het algemeen geen tot weinig hinder.
- Mensen die het gevoel hebben dat de windturbines afbreuk doen aan hun leefomgeving door bijvoorbeeld het geluid, visuele aspecten en de beweging ervan, rapporteren meer hinder dan mensen bij wie dit niet het geval is.
- Bij het gevoel van indringing spelen een gevoel van hulpeloosheid en een gevoel van (procedurele) onrechtvaardigheid een belangrijke rol.

In dit hoofdstuk wordt op een aantal onderwerpen ingegaan die, naast geluid, van belang zijn voor de beleving en gezondheid van omwonenden van windturbines. Aan de fysieke kant komen visuele aspecten, vervolgens veiligheid en ten slotte elektromagnetische velden aan bod. Contextuele en persoonlijke factoren die besproken worden, betreffen economische binding, inbreuk op de privacy en acceptatie.

4.1 Visuele aspecten

Moderne windturbines steken hoog uit boven hun omgeving waardoor ze tot op grote afstand zichtbaar zijn. Dit heeft invloed op het landschap. Ze trekken bovendien aandacht door de beweging van de wieken. Door die beweging kunnen ook lichtvariaties optreden. Het visuele en auditieve aspect bleken in de studie van Pedersen et al., (2007) sterk samen te hangen en zijn daardoor moeilijk te onderscheiden, maar lijken behalve een additief ook een cumulatief effect te hebben op hinder.

4.1.1 *Inpassing in het landschap*

Inpassing in het landschap is een factor van groot belang en wordt in belangrijke mate bepaald door de visie die mensen hebben op het landschap en de wensen en verwachtingen ten aanzien van de eigen leefomgeving. Een uitwisseling van visies tussen de verschillende partijen (bewoners, planologen, initiatiefnemer et cetera) kan hier verheldering brengen, maar niet noodzakelijkerwijs een oplossing. Windturbines zullen minder opvallen in een meer door gebouwen (stad, bedrijventerrein) of techniek bepaalde (fabriek, procesinstallatie) omgeving. In een meer natuurlijk landschap contrasteren windturbines sterker met de omgeving. Een groter aandeel in het blikveld en een groter contrast zullen invloed hebben op de reactie/gevoelens van omwonenden ten opzichte van de windturbine(s): bij een negatieve waardering kan de beleving mogelijk nog negatiever worden, maar bij een positieve waardering mogelijk nog positiever. Kortom, over 'aantasting' van het landschap is vanuit gezondheid geen eenduidig oordeel te geven (Van den Berg, 2013).

De effecten van windturbines op (de beleving van) het landschap moeten getoetst worden in een milieueffectrapportage (m.e.r.). Agentschap NL heeft in het voorjaar van 2013 de handreiking 'Waardering landschappelijke effecten van windenergie' uitgebracht, met daarin beschrijvingen van de visuele (belevings)effecten van windturbines op het landschap. Met deze handreiking kan beoordeeld worden wat de impact is van windturbines op het landschap. De beoordelingsmethode bestaat uit een klein aantal vuistregels, eenvoudig te hanteren bij het opstellen van een MER. Ook tijdens het ontwerpproces van een windturbinepark biedt de handreiking aanknopingspunten: hij inspireert tot nadenken over de relatie tussen windturbines en landschap en de effecten van windturbines op de beleving van het landschap (Website Agentschap NL, 2013).

4.1.2 *Slagschaduw*

Als de zon de rotor van een windturbine beschijnt, leidt dit tot een (bewegende) slagschaduw. Dit is de schaduw van de turbine op de ondergrond of achtergrond. Deze slagschaduw draait met de zon mee en reikt bij zonsopgang en -ondergang het verst. Lage zon treedt vaker op in de winter.

Als de slagschaduw op het raam van een woning valt, treedt een stroboscopisch effect op met mogelijk grote verschillen in lichtsterkte. Vooral de continue wisseling tussen wel en geen schaduw kan als hinderlijk worden ervaren. Er is speciale wet- en regelgeving opgenomen in het Activiteitenbesluit om de hinder van slagschaduw te beperken (zie paragraaf 2.2).

4.1.3 *Lichtschittering*

Lichtschittering kan optreden als gevolg van reflectie van zonnestralen op de rotorbladen. Dit kan hinderlijk zijn. Bij moderne windturbines komt dit verschijnsel niet tot nauwelijks meer voor, aangezien standaard een antireflectielaag wordt aangebracht op de rotorbladen.

4.1.4 *Beweging wieken*

Door de beweging van de wieken vallen windturbines meer op dan een stilstaand element in het landschap en trekken ze aandacht (Schöne, 2007). Hoe sneller de windturbine draait, hoe onrustiger het beeld wordt. De huidige standaard driebladige windturbines ogen door hun lagere omwentelingssnelheid wat rustiger dan de kleinere, veelal tweebbladige, windturbines uit de jaren tachtig. In Nederlands onderzoek (Van den Berg et al., 2008) onder mensen die binnen ongeveer 2,5 kilometer van een Nederlands windpark woonden, gaf 52 procent van de respondenten aan dat ze de beweging van de wieken vanuit huis opmerkten; 19 procent gaf aan deze beweging enigszins tot erg hinderlijk te vinden.

4.2 **Veiligheid**

Windturbines worden door de fabrikant geplaatst onder toezicht van onder andere de gemeente en volgens kwaliteitsprotocollen van de fabrikant. Een windturbine moet jaarlijks door een deskundige worden nagekeken op de goede werking. Wanneer een gebrek geconstateerd of vermoed wordt waarbij de veiligheid voor de omgeving in het geding is, moet een turbine worden stilgezet (art. 3.14 Activiteitenbesluit). Toch is er een kans dat er iets misgaat tijdens de minimaal twintig jaar dat een windturbine in functie zal zijn. Er kan mastbreuk optreden, de gondel of een rotorblad kan afbreken en in de winter kan ijs van de rotorbladen vallen. Bij kans op ijsafzetting moet een windturbine daarom buiten werking worden gesteld.

Het falen van een windturbine kan behalve op de plaats van de windturbine zelf ook daarbuiten nog schade berokkenen doordat een rotorblad breekt en weggeslingerd wordt. De maximale afstand waarover een afgebroken bladtip kan worden weggeslingerd, is ongeveer 600 meter. Hierbij is uitgegaan van een 3MW-windturbine met een masthoogte van 120 meter en een toerental dat twee keer zo hoog is als normaal (32 in plaats van 16 omwentelingen per minuut). Bij normale omwentelingssnelheid bedraagt de maximale werpafstand voor een 3MW-windturbine ongeveer 200 meter.

De kans dat een voorval met een windturbine zich voordoet, is statistisch gezien klein. De kans dat vervolgens een gebouw of installatie wordt getroffen is kleiner. De kans dat een persoon wordt getroffen, is weer kleiner, omdat die persoon ook nog juist op de tijd van het voorval aanwezig moet zijn. De kans dat iets of iemand getroffen wordt, blijft echter aanwezig, maar moet volgens overheidsbeleid (Activiteitenbesluit) voldoende klein zijn: het risico op overlijden van een individu door het falen van een windturbine mag niet hoger zijn dan eens in de miljoen jaar (zie ook paragraaf 2.2.3).

Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) heeft een handboek ontwikkeld om per locatie de risico's van het plaatsen van een windturbine te beoordelen (Faassen et al., 2013). Dit handboek is een praktijkrichtlijn, bedoeld om een risicoanalyse op eenduidige en consistente wijze te kunnen uitvoeren. In dit handboek worden, gebaseerd op generieke gegevens, afstanden (maximale werpafstanden en veiligheidscontouren) gegeven (zie Bijlage 1).

4.3 Elektromagnetische velden (EMV)

Elektrische, magnetische en elektromagnetische velden komen overal voor. Bekende natuurlijke vormen zijn UV-straling (zon), infrarode straling (warme voorwerpen) en zichtbaar licht. Elektromagnetische velden (EMV) zijn ook aanwezig bij bijvoorbeeld elektrische apparaten en bij het transport van elektriciteit over lange afstanden (via hoogspanningsverbindingen). De sterkte van deze velden neemt sterk af wanneer de afstand tot de bron groter wordt.

Ook rondom de gondel en de kabels die de windturbine koppelen aan het hoogspanningsnet kunnen magnetische velden voorkomen. Door de afstand tussen de gondel/kabels en de locatie waar langdurig kinderen kunnen verblijven (woningen, scholen, kinderdagverblijven et cetera) is het echter onwaarschijnlijk dat gondel/kabels substantieel aan de blootstelling bijdragen en dat kinderen langdurig worden blootgesteld aan magnetische velden sterker dan 0,4 microtesla (de sterkte van het magnetische veld die in het beleid rond hoogspanningslijnen als voorzorg wordt gebruikt). Er is dan ook geen reden om aan te nemen dat elektromagnetische velden die in de buurt van windturbines en de daarbij behorende ondergrondse kabelverbindingen voorkomen, een gezondheidsrisico vormen. Op de website van het Kennisplatform EMV staat meer informatie over elektromagnetische velden (Kennisplatform EMV, 2013).

4.4 Contextuele en persoonlijk factoren

Onderzoek in de afgelopen jaren heeft enig inzicht gegeven in waarom sommige mensen meer last van windturbines hebben dan anderen. Naast fysieke aspecten spelen persoonlijke factoren en de feitelijke situatie een rol bij gerapporteerde hinder door windturbines.

4.4.1 *Zicht op windturbines*

De geluidhinder kan niet los worden gezien van de visuele hinder omdat deze elkaar sterk beïnvloeden (zie paragraaf 3.3.1). Mensen die zicht hebben op een windturbine kunnen bang zijn dat de voortdurende blootstelling aan geluid van deze turbine hun gezondheid schaadt. Het gevolg kan zijn dat zij meer hinder ondervinden (HGR, 2013).

4.4.2 *Economische aspecten*

Economische aspecten blijken een rol te spelen bij de gerapporteerde hinder door windturbines. In een Nederlands onderzoek (Pedersen et al., 2007) had veertien procent van de respondenten economisch belang bij een of meer windturbines. Voor een belangrijk deel waren dit ondernemende boeren die gemiddeld dicht bij de windturbines woonden en aan hogere geluidniveaus werden blootgesteld dan de overige respondenten. Ondanks het feit dat zij de windturbines bij hetzelfde geluidniveau even goed hoorden als andere respondenten en dezelfde termen gebruikten om het geluid te karakteriseren, was het percentage gehinderden in deze groep laag tot zeer laag. Deze groep was gemiddeld jonger dan de rest van de respondenten, vsaker man, beter opgeleid, werkten vaker in/bij huis en rapporteerden minder gezondheidsproblemen en slaapverstoring. De onderzoekers verwijzen naar deze groep dan ook als 'healthy farmers', met een knipoog naar het begrip 'healthy workers'. Mogelijk hangt de lage hinder, naast de financiële voordelen, tevens samen met een positievere kijk op windturbines in het landschap door de mate van controle (zie ook paragraaf 4.5) die men had op de plaatsing van de windturbine(s) (Van den Berg et al., 2008).

4.4.3 *Afbreuk van privacy / vrije keuze*

Pedersen et al. (2007) vonden dat mensen die het gevoel hebben dat windturbines indringers zijn op hun privéterrein en afbreuk doen aan hun privacy (als geluid, visueel en beweging) meer hinder rapporteren. Als mensen zich erg gehecht voelen aan hun omgeving ('place attachment'), kan een windpark de identiteit of eigenheid van die plek bedreigen en tot een negatieve associatie en tegenstand leiden (Devine-Wright en Howes, 2010). Bij het gevoel van indringing kan ook een gevoel van hulpeloosheid en van (procedurele) onrechtvaardigheid een rol spelen (zie paragraaf 4.5). Mogelijk speelt dit sterker bij mensen die op het platteland wonen vanwege de rust; voor hen kan de komst van een windpark een belangrijke inbreuk zijn op de (visuele en auditieve) rust.

4.4.4 *Geluidgevoeligheid*

Geluidgevoeligheid verwijst naar een interne toestand (fysiologisch, psychisch, attitude, leefstijl, activiteiten) van een persoon die de reactiviteit op geluid in het algemeen verhoogt. Geluidgevoeligheid heeft een sterk genetische component (is erfelijk), maar kan ook ontstaan door een lichamelijke ziekte (bijvoorbeeld migraine) of een hoofdwond/trauma. Ernstige paniekstoornissen kunnen ook samengaan met overgevoeligheid voor geluid en dat kan de gevoelens van paniek weer versterken (Van Kamp en Davies 2013). Tot slot kunnen oorinfecties, operaties met verdoving en sommige medicijnen (tijdelijk) leiden tot een overreactie op geluid. Slechts in een paar studies wordt ingegaan op de rol van geluidgevoeligheid bij hinder van windturbinegeluid. Een voorbeeld is het onderzoek van Shepherd et al. (2011) in Nieuw-Zeeland, waarin twee groepen vergeleken werden (turbine- versus controlegroep). Geluidgevoeligheid werd gemeten aan de hand van een enkelvoudige vraag waarin mensen werd

gevraagd of ze niet, matig of erg gevoelig waren voor geluid. In de groep woonachtig in de buurt van een windturbine werd een sterke relatie gevonden tussen geluidgevoeligheid en hinder tegenover een zwakke correlatie in de controlegroep. Dit duidt mogelijk op een interactie-effect van blootstelling en gevoeligheid op hinder. Twee recente publicaties (Chapman et al., 2013 en Crichton et al., 2013) wijzen eveneens op het belang van de psychosociale component in de relatie tussen blootstelling aan windturbines en gezondheidsklachten. Het is echter ook mogelijk dat in dit gebied juist geluidgevoelige mensen zijn gaan wonen omdat het een stil gebied was.

4.5 Sociale aspecten

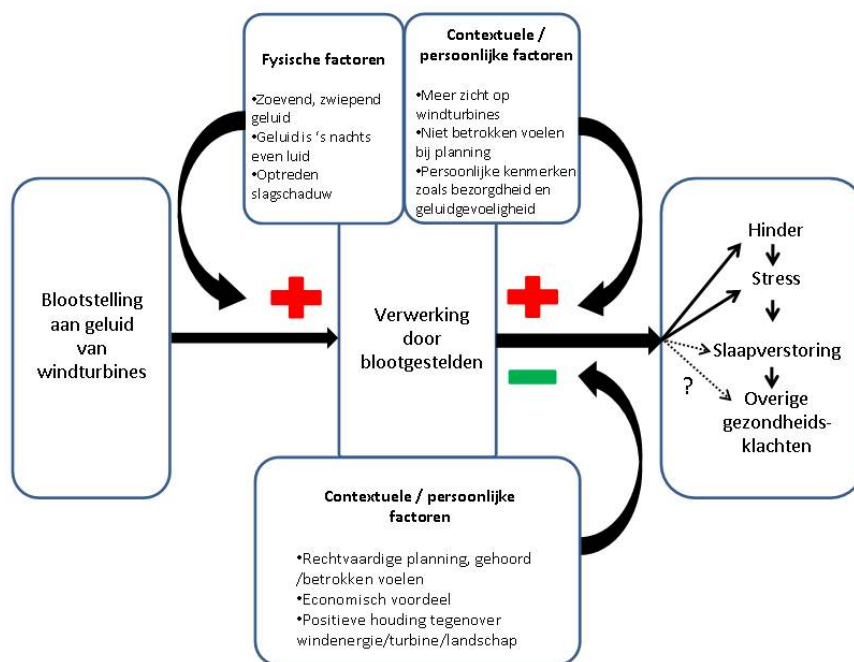
Voor de sociale aanvaarding van een windenergieproject door de lokale gemeenschap is het beslissend hoe de gemeenschap de gevolgen van dit project voor haar (toekomstige) levenskwaliteit waarneemt (HGR, 2013). De relatie tussen de betrokken partijen (omwonenden, gemeente, projectontwikkelaar) is hierin van groot belang.

Overlast van windturbinegeluid blijkt een complex vraagstuk te zijn waarin de hiervoor beschreven objectieve blootstelling (fysieke) en persoonlijke factoren een rol spelen, maar ook beleid, psychologie, communicatie en rechtvaardigheid. Als planning en inspraak als onjuist of onrechtvaardig worden ervaren, brokkelt het draagvlak af, ook onder mensen die er aanvankelijk neutraal tegenover stonden (Gross, 2007). Als bewoners het idee hebben dat ze niet voldoende betrokken worden, voelen ze zich vaak machteloos, omdat ze niets kunnen ondernemen tegen de (verwachte) inbreuk op hun leven en leefomgeving. Deze bezorgdheid kan worden verminderd door een eerlijke en open procedure waarin bewoners daadwerkelijk een positieve inbreng hebben (Tyler, 2000). Ook de onderzoeksresultaten van Wolsink (1990) en Breukers (2007) laten zien dat een samenwerking met meer nadruk op lokale onderwerpen meer succes had dan een benadering die zich richt op het ontwikkelen van zo veel mogelijk windenergie en een hiërarchisch beleid.

Ook kunnen voor- en tegenstanders van de plannen heel andere beelden en verwachtingen hebben van het gebruik van het landschap (zie ook paragraaf 4.1.1). Dat leidt tot selectief gebruik van informatie: sommige informatie wordt genegeerd, andere sterk benadrukt (Pepermans en Loots, 2013).

5 Conclusies

Omwonenden kunnen geluidhinder van windturbines ondervinden; dit is het meest beschreven effect van het wonen nabij windturbines. Daarnaast kan onder bepaalde omstandigheden slagschaduw optreden, wat hinderlijk kan zijn wanneer dit op de ramen van een woning valt. Er zijn nog onvoldoende data beschikbaar om de invloed van windturbines op de slaap te kunnen beoordelen. Voor andere directe effecten op de gezondheid is geen bewijs. Wel kunnen bij sommige mensen gezondheidsklachten ontstaan of verergeren via hinder en stress, die ontstaat als mensen het gevoel hebben dat de plaatsing van windturbines leidt tot verslechtering van de omgevings- of levenskwaliteit (zie Figuur 9).



Figuur 9: Schematisch overzicht van relatie tussen windturbinegeluid en gezondheid

Toelichting bij Figuur 9

De relatie tussen windturbines en de reacties van mensen (waaronder effecten op de gezondheid) is ingewikkeld; directe effecten op gezondheid/welbevinden, contextuele en persoonlijke factoren zijn met elkaar verweven en beïnvloeden elkaar. Zo kunnen bijvoorbeeld de visuele aspecten niet los worden gezien van geluidhinder; het zien van een windturbine heeft invloed op de gerapporteerde geluidhinder. Ook is bij mensen die economisch voordeel hebben van de windturbines of positief staan ten opzichte van windturbines in het landschap, de kans op hinder verminderd. De fysieke kenmerken van het geluid spelen ook een belangrijke rol. Hoewel windturbines minder geluid produceren dan andere bekende hinderbronnen zoals wegverkeer en industrie, wordt het geluid eerder als hinderlijk ervaren. Het karakter van het geluid (zoeven, zwiepen) speelt hierin waarschijnlijk een belangrijke rol. Wellicht kan het laagfrequente deel van

het geluid van windturbines, net als bij andere bronnen, tot extra hinder leiden, maar er is nog geen evidentie dat dit een factor van belang is bij windturbines. Windturbines kunnen alleen al door hun (geplande) aanwezigheid overlast veroorzaken, ingegeven door persoonlijke of contextuele factoren. Omwonenden kunnen het gevoel hebben dat hun (toekomstige) leefomgevingskwaliteit afneemt, dat ze erop achteruit gaan, ze kunnen bang zijn voor effecten op de gezondheid en voor vermindering van de waarde van hun woning, zich onvoldoende betrokken voelen bij het proces et cetera. Bij bepaalde personen kan dit gevoel leiden tot gezondheidsklachten of deze verergeren, zoals depressie, hoofdpijn of hoge bloeddruk.

6 Advisering door GGD

De advisering van de GGD richt zich erop gezondheidseffecten door windturbines te voorkomen of zo veel mogelijk te beperken. Geluid, zicht en een transparante besluitvorming zijn hierbij de voornaamste aandachtspunten.

De advisering richt zich op twee sporen:

- blootstelling (fysiek): zoals geluid, veiligheid, slagschaduw, inpassing omgeving;
- persoonlijke factoren: zoals draagvlak, attitude, perceptie, communicatie, participatie, economisch voordeel, geluidgevoeligheid.

Beide sporen zijn bepalend voor het optreden van gezondheidseffecten, waaronder hinder en/of slaapverstoring.

Vooraf met het laatste spoor wordt bij de planning en besluitvorming rondom windturbines niet altijd voldoende rekening gehouden.

Het is aan te raden omwonenden te betrekken bij de planvorming, op een moment dat nog betekenisvolle dialoog (en dus veranderingen in het ontwerp) mogelijk is. Een uitwisseling van nuchtere en evenwichtige argumentatie voor windturbines is daarbij noodzakelijk. De vrees voor een verslechterde leefomgeving moet serieus worden genomen en niet afgedaan als NIMBY (*'not in my backyard'*)-bezwaren. Gevoelens van onmacht en gebrek aan controle zijn immers niet bevorderlijk voor de gezondheid. GGD'en kunnen voor inbreng zorgen in de discussie rondom windturbines om zodoende een genuanceerde afweging te bevorderen.

6.1.1 Procedure

Het plaatsen van windturbines moet passen in de ruimtelijke plannen (structuurvisies) die op gemeentelijk niveau tot uiting komen in het bestemmingsplan. Een bestemmingsplan is juridisch bindend. Een provincie of de landelijke overheid (het Rijk) kan sinds de inwerkingtreding van de Wet ruimtelijke ordening op 1 juli 2008 ook een bestemmingsplan maken, dat het gemeentelijke bestemmingsplan kan overrulen: het inpassingsplan.

Een initiatiefnemer voor een windturbine(park) moet een omgevingsvergunning aanvragen. De aanvraag van deze vergunning wordt getoetst aan geldende voorwaarden (bestemmingsplan en activiteitenbesluit). Het bevoegd gezag voert ten behoeve van de vergunning een OBM uit (omgevingsvergunning beperkte milieutoets). Omdat tegelijk met de aanvraag een activiteitenbesluitmelding moet worden gedaan, moet de initiatiefnemer een akoestisch rapport toevoegen. Aan de hand van dit rapport wordt getoetst of wordt voldaan aan de geluidnormen uit dit besluit.

Bij meer dan tien windturbines of een gezamenlijk vermogen van meer dan 15 MW is het project MER-beoordelingsplichtig. Dit betekent dat het bevoegd gezag moet beoordelen of er een milieueffectrapportage (m.e.r.) moet worden uitgevoerd.

Het bevoegd gezag voor uitvoeringsplannen (vergunningen en ontheffingen) is in de meeste gevallen de gemeente. In bepaalde gevallen gaat het bevoegd gezag over naar de provincie. De GGD kan echter de gemeente als ingang en

bevoegd gezag beschouwen totdat de gemeente aangeeft dat het anders geregeld is.

Aanknopingspunten GGD:

Pro-actief (zonder dat er een aanvraag voor een specifiek project ligt):

- opstellen structuur- en bestemmingsplannen: meedenken, adviseren. Dit vergt veel tijd en een brede blik (het gaat om meer onderwerpen dan alleen windturbines).

Reactief (bij (verkenning van) een specifiek project):

- meedenkend, adviserend: adviesvraag aanvrager en gemeente (rondom gezondheid, communicatie en draagvlak);
- formeel: inspreken op ontwerpbesluiten.

Voorwaarde voor betrokkenheid en inbreng van de GGD is dat GGD'en op de hoogte zijn van plannen voor plaatsing van windturbines. Het is daarom aan te bevelen dergelijke plannen in de gaten te houden en zo niet alleen afhankelijk te zijn van meldingen van burgers. Aan te raden is gemeenten nog eens extra te attenderen op de bijdrage van de GGD aan een goed proces en aandacht te vragen voor de volksgezondheid. Ook kan de GGD al contacten leggen met verantwoordelijken binnen de gemeenten voordat dergelijke ontwikkelingen spelen. Welke afdeling dat precies is (ruimtelijke ordening of milieu), zal per gemeente verschillen. Wanneer de juiste afdeling op de hoogte is van de mogelijke inbreng van de GGD, kan de GGD worden betrokken zodra een windenergieproject zich aandient.

6.1.2 *Advisering, aandachtspunten*

Geluid:

- Op de gevels van woningen en andere kwetsbare bestemmingen (ziekenhuizen, scholen) mogen de normen niet worden overschreden ($47 L_{den}$ en $41 L_{night}$).
- Cumulatie geluid windturbine met geluid van andere windturbines.
- Cumulatie geluid windturbine met andere geluidsbronnen, bijvoorbeeld verkeer (zie Bijlage 3).
- Laagfrequent geluid: behoeft geen aparte beoordeling. A-gewogen geluidniveaus zijn voldoende.
- Infrageluid: behoeft geen aparte beoordeling. Niveaus komen niet boven de gehoordrempel uit.
- Karakter geluid: het karakter van het geluid is medebepalend voor de mate van hinder. Het zoeven of zwiepen van windturbinegeluid zou een reden kunnen zijn het geluid strenger te beoordelen dan even luid ander bedrijfsmatig geluid, zeker in de avond en de nacht.

Slagschaduw

- Door de stilstandvoorziening zou het optreden van slagschaduw in woningen niet moeten voorkomen. Adviseer monitoring ter controle of de berekende tijden kloppen. Dit kan bijvoorbeeld door een nummer/site ter beschikking te stellen waarop omwonenden overlast kunnen melden, en vervolgens snel op deze meldingen te reageren.

Zicht

- Het is belangrijk dat aandacht wordt besteed aan de geluidhinder en visuele hinder/zicht op windturbines samen. De geluidhinder kan niet los worden gezien van de visuele hinder omdat deze elkaar beïnvloeden.

Inpassing in omgeving

- Over visuele verstoring/aantasting van het landschap is vanuit gezondheid geen eenduidig oordeel te geven. Wel lijkt regelmaat in de opstelling beter dan een 'zwerm' die een meer chaotische indruk maakt. Aan visuele rust kan nog worden toegevoegd dat het mogelijk is om windturbines synchroon te laten draaien. Dat kan met elk in dezelfde positie of misschien ook steeds iets verschoven ten opzichte van elkaar. Datzelfde kan wellicht ook met de waarschuwingslichten bovenop de turbines: geen wanordelijk geknipper maar een synchroon of 'lopend' geknipper. Indien mogelijk bewoners hierover laten meedenken.

Veiligheid:

- Aan het aanvaardbaar risico van 10^{-6} /jr (persoonsgebonden risico) moet worden voldaan. Dit betekent dat binnen een bepaalde afstand geen groepen woningen, scholen of ziekenhuizen mogen staan. Vaak komt de veiligheid voor bewoners overigens niet in het geding, omdat op de afstand van 193-216 meter (zie Bijlage 1) niet aan de geluidnormen wordt voldaan. Het risico dat dan nog voor omwonenden zou kunnen bestaan, is dat er door het ongeval een object wordt geraakt dat een vervolgrisico kan veroorzaken. Dit moet voor elke locatie apart worden onderzocht.

Persoonlijke factoren/communicatie:

Pas bij een concreet plan kunnen de voordelen van duurzame energie worden beoordeeld op concrete gevolgen voor de eigen omgeving. In die debatten wordt uiteindelijk de nationale wens tot meer duurzame energie afgewogen tegen de effecten op de eigen leefomgeving. Het is belangrijk dat de juiste gegevens op tafel liggen over mogelijke gezondheidseffecten, maar ook dat het debat op een open en eerlijke manier gevoerd wordt.

De mate van hinder kan verlaagd worden door een zorgvuldige behandeling van lokale plannen. De GGD kan in deze procedure betrokken worden om hinderaspecten toe te lichten voor zowel bewoners als bestuur. Zaken die belangrijk zijn in zo'n proces:

- Geef omwonenden reële inspraakmogelijkheden (niet alleen instemming/afwijzing van een plan).
- Probeer ze te betrekken bij de planvorming en zo mogelijk de exploitatiefase.
- Zorg dat het proces van planvorming en besluit ordelijk en open verloopt. Communiceer regelmatig en open met belanghebbenden.
- Voor betrokkenen die baat (economisch voordeel) hebben bij de plannen zou een hoger geluidniveau toelaatbaar kunnen zijn. Iemand die zelf besluit een windturbine neer te zetten en daar economisch voordeel van heeft, ervaart weinig tot geen hinder. Wordt door een ander bepaald dat er een windturbine wordt geplaatst, dan zal economisch voordeel over het algemeen minder van invloed zijn op het draagvlak en/of hinder.
- Geef aan dat mogelijke effecten (geluidhinder, slagschaduw) over een bepaalde tijd zullen worden gemonitord en dat snel op meldingen zal worden gereageerd.

Referenties

Websites

Website Agentschap NL. Ministerie van Economische zaken.
<http://www.agentschapnl.nl/onderwerp/windenergie-op-land>, 29 juli 2013.

Website Infomil. Rijkswaterstaat.
<http://www.infomil.nl/onderwerpen/ruimte/handreiking/functies/fnc-wind/fnc-wind-beleid-w/fnc-wind-beleid-w-we/>, augustus 2013.

Kennisplatform Elektromagnetische Velden,
<http://www.kennisplatform.nl/Homepage.aspx>, 21 oktober 2013.

Website de Rechtspraak
<http://uitspraken.rechtspraak.nl/#snelzoeken/?zoekterm=BZ3549>, 3 december 2013.

Literatuur

Acoustics. Normal equal-loudness-level contours. BS ISO 226, British Standards, 2003.

ASTDR (2001) Public Health Assessment Guidance Manual U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta, Georgia.

Bakker, R.H., E. Pedersen et al. (2012) Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress. *Sci Total Environ* 425: 42-51.

Berg, G.P. van den (2005) The beat is getting stronger. The effect of atmospheric stability on low frequency modulated sound of wind turbines. *Journ Low Freq Noise Vib Active Control* 2005, 24 (1): 1-24.

Berg, G.P van den, E. Pedersen, J. Bouma en R. Bakker (2008) Project WINDFARMperception – Visual and acoustic impact of wind turbine farms on residents. Final report, Universiteit Groningen, UMCG en Universiteit Göteborg.

Berg, G.P. van den en N.M. van Kuijeren (2008) Windturbines: invloed op de beleving en gezondheid van omwonenden. GGD-informatieblad medische milieukunde. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. RIVM briefrapport 609333002.

Berg, G.P. van den (2009a) Why is wind turbine noise noisier than other noise? *Proc. Euronoise2009*, Edinburgh.

Berg, G.P. van den (2009b) Low Frequency Noise and phantom sounds. *Journ Low Freq Noise Vib Active Control* 2009, 28 (2): 105-116.

Berg, G.P. van den (2011) Duurzaam en ongezond? Sociale en (niet)-akoestische kanten van windenergie. *Geluid* (4), dec 2011

Berg, G.P. van den (2013) Advies Windpark Lage Weide, Utrecht.

Bolin, K., G. Bluhm et al. (2011) Infrasound and low frequency noise from wind turbines: Exposure and health effects.

Breukers, S.C. (2007) Changing institutional landscapes for implementing wind power. Proefschrift Universiteit van Amsterdam.

Castelo Branco, N.A.A. en M. Alves-Pereira (2004) Vibroacoustic disease. *Noise & Health* 2004; 6(23): 3-20.

Chapman, S, A. St. George, K. Waller en V. Cakic (2013) The Pattern of Complaints about Australian Wind Farms Does Not Match the Establishment and Distribution of Turbines: Support for the Psychogenic, 'Communicated Disease' Hypothesis. *PLoS ONE* 8(10): e76584. doi:10.1371/journal.pone.0076584.

Coleby, A.M., D.R. Miller en P.A. Aspinall (2009) Public attitudes and participation in wind turbine development. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*. 11(1): 69-95.

Crichton, F., G. Dodd, G. Schmid, G. Gamble en K.J. Petrie (2013, March 11) Can Expectations Produce Symptoms From Infrasound Associated With Wind Turbines?. *Health Psychology*. Advance online publication. doi: 10.1037/a0031760

Devine-Wright, P. en Y. Howes (2010) Disruption to place attachment and the protection of restorative environments: a wind energy case study. *J Environ Psychol* 30(3): 271-80.

Doolan, C.J., D.J. Moreau en L.A. Brooks (2012) Wind turbine noise mechanisms and some concepts for its control. *Acoustics Australia: Vol. 40, No. 1, April 2012* - 7.

EU (2006) Special Eurobarometer, Attitudes towards energy.

Faassen, C.J., P.A.L Franck en A.M.H.W Taris (2013) Handboek Risicozonering Windturbines 2013. Uitgave Agentschap NL.

Farboud A, Crunkhorn R, Trinidade A (2013). 'Wind turbine syndrome': fact or fiction? *Journal of Laryngology & Otology* 127, 222-226

Fiumicelli, D. (2011) Wind Farm Noise Dose Response. *Acoustics Bulletin* 2011.

Gedeputeerde Staten van Groningen (18 juni 2013) Brief aan de provinciale staten. Taakstelling windenergie op land.

Gezondheidsraad (2004) Over de invloed van geluid op de slaap en de gezondheid, Advies 2004/14, Gezondheidsraad, Den Haag.

Gross, C. (2007) Community perspectives of wind energy in Australia: The application of a justice and community fairness framework to increase social acceptance. *Energy Policy* 35: 2727-2736.

Hayes, M. (2006) The measurement of low frequency noise at three UK wind farms. Hayes McKenzie Partnership Ltd en Department of Transport and Industry, Groot-Brittannië.

Health Canada (2011) Health Impacts and Exposure to Sound From Wind Turbines: Updated Research Design and Sound Exposure Assessment http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/consult/_2013/wind_turbine-eoliennes/research_recherche-eng.php

HGR (2013) Hoge Gezondheidsraad. Public health effects of siting and operating onshore wind turbines. Publication of the Superior Health Council No. 8738, België.

Howe, B., N. McCabe et al. (2011) Addressing low frequency sound and infrasound from wind turbines. Canadian Acoustics - Acoustique Canadienne 39(3): 86-87.

Hubbard, H.H., F.W. Grosveld en K.P. Shepherd (1983) Noise characteristics of large wind turbine generators. Noise Control Engineering Journal 21, 21-29.

Jakobsen, J. (2005) Infrasound emission from Windturbines. Journ Low Freq Noise Vib Active Control 24 (3) 2005: 145-155.

Janssen, S.A., H. Vos, A.R. Eisses, E. Perderson (2009) Exposure response relationship for annoyance by windturbine noise : a comparison with other stationary sources. Proceedings Euronoise.

Janssen, S.A., H. Vos et al. (2011) A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. J Acoust Soc Am 130(6): 3746-3753.

Jung, S.S., W-S Cheung, C. Cheong, S-H Shin (2008) Experimental Identification of Acoustic Emission: Characteristics of Large Wind Turbines with Emphasis on Infrasound and Low-Frequency Noise. Journal of the Korean Physical Society, 53, 4, 1897-1905.

Kamp I van, Davies H. Noise and health in vulnerable groups: a review. Noise Health. 2013 May-Jun;15(64):153-9.

Knopper, L.D. en C.A. Ollson (2011) Health effects and wind turbines: a review of the literature. Environ Health 10: 78.

Lee, S., K. Kim et al. (2011) Annoyance caused by amplitude modulation of wind turbine noise. Noise Control Engineering Journal 59(1): 38-46.

Leventhall, G (2013). Infrasound and the ear. Proceedings 5th International Conference on WindTurbineNoise, Denver

MDEP (2012) Massachusetts Department of Environmental Protection and Massachusetts Department of Public Health. Wind Turbine Health Impact Study: Report of Independent Expert Panel.

Miedema, H.M.E., Oudshoorn, C.G.M. Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. Environmental Health Perspectives 2001, 109: 409-16.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) en Ministerie van Economische zaken (maart 2013) Ontwerp-structuurvisie Windenergie op land.

Møller, H. en C.S. Pedersen (2011) Low-frequency noise from large wind turbines. *J Acoust Soc Am* 129(6): 3727-3744.

Moorhouse, A.T., M. Hayes, S. von Hünerbein, B. Piper en M. Adams (2007) Research into Aerodynamic Modulation of Wind Turbine Noise. Final report. July 2007. University of Salford, Contract no NANR233).

Moorhouse, A.T., D.C. Waddington et al. (2009) 'A procedure for the assessment of low frequency noise complaints.' *J Acoust Soc Am* 126(3): 1131-1141.

Nissenbaum, M.A., J.J. Aramini, C.D. Hanning (2012) Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health. *Noise Health* 2012;14:237-43

Oerlemans, S. (2011) Chapter 2: primary noise sources. Uit: D. Bowdler en G. Leventhall(ed.) *Wind turbine noise*. Multi-Science Publishing Co, UK.

Pedersen, E., K. Persson Waye en L.R-M. Hallberg (2004) Living Close to Wind Turbines—A Qualitative Approach to a Deeper Understanding. *proc. Internoise2004*, Prague.

Pedersen, E. en K. Persson Waye (2004) Perception and Annoyance due to Wind Turbine Noise – a Dose-Response Relationship. *J. Acoust. Soc. Am* 116 (6) 2004: 3460-3470.

Pedersen E. en K. Persson Waye (2007) Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and wellbeing in different living environments. *Occup Environm Med*, 64 2007: 480 – 486.

Pedersen, E., L.R-M. Hallberg en K. Persson Waye (2007) Living in the vicinity of wind turbines – a grounded theory study. *Qualitative Research in Psychology*, 2007, 4 (1-2), 49-63. doi:10.1080/14780880701473409

Pedersen, E. en K. Persson Waye (2008) Wind turbine - a low level noise source interfering with restoration? *Environmental Research Letters*, 2008, 3 (1), 015002. doi:10.1088/1748-9326/3/1/015002.

Pedersen, E. en F. van den Berg (2010) Why is wind turbine noise poorly masked by road traffic noise? In: *Proceedings of INTERNOISE, 39th International congress of noise control engineering*, Lisbon, 13-16 June 2010. Invited paper.

Pedersen, E. (2011) Health Apects Associated with Windturbine Noise. *Noise control Engineering Journal*. Vol. 59 Nr. 1, 47-53.

Pepermans, Y. en I. Loots (2013) Wind farm struggles in Flanders fields: a sociological perspective. *Energy Policy* 59: 321-328.

Persson Waye, K., en E. Öhström (2002) Psycho-acoustic characters of relevance for annoyance of windturbine noise. *J. Sound Vib.* 250 (1) 2002: 65-73.

Pierpont, N. (2009) Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment. Santa Fe, K-Selected Books.

Proceedings Internoise 2011, 2012; <http://www.internoise2012.com/>
<http://www.proceedings.com/17617.html>

Proceedings ICA (International Congress of Acoustics), 2013, Montréal, Canada, <http://asadl.org/poma/resource/1/pmarcw>.

RIVM (2013) Factsheet Laagfrequent Geluid (LFG). <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/brieven/2013/06/18/rivm-factsheet-laag-frequent-geluid-lfg.html>

Salt, A.N. en T. E. Hullar (2010) Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hear Res* 268(1-2): 12-21.

Schöne, M.B. (2007) Windturbines in het landschap. Alterra, rapport 1501, Wageningen.

Shepherd, D., D. McBride et al. (2011) Evaluating the impact of wind turbine noise on health-related quality of life. *Noise Health* 13(54): 333-339.

Soede W (2013). Verklaring voor hinder van laagfrequent geluid. Tijdschrift Geluid (2) juni 2013.

Sonus (2010) Wind farms Technical Paper. Paper Environmental Noise Prepared for Clean Energy Council. November 2010 S3387C6.

Tyler, T.R. (2000) Social Justice: Outcome and Procedure. *International Journal of Psychology*, 35 (2).

Verheijen, E., J. Jabben, E. Schreurs en K.B. Smith (2011) Impact of wind turbine noise in The Netherlands. *Noise Health* 2011;13:459-63.

Wolsink, M. (1990) Maatschappelijke acceptatie van windenergie; Houdingen En Oordelen Van De Bevolking. Thesis Publishers, Amsterdam.

World Health Organization (WHO) (2000) Guidelines for Community Noise, B. Berglund, T. Lindvall, D. Schwela en K.T. Goh (Eds.). Geneva.

World Health Organization (WHO) (2009) Night Noise Guidelines for Europe (NNGL) Edited by Charlotte Hurlley, WHO regional office for Europe.

Bijlage 1 Risicocontouren, generieke waarden

Bron: Handboek Risicozonering Windturbines 2013 (Faassen et al., 2013)

Het plaatsgebonden risico (PR) is de kans dat een persoon, die zich gedurende een jaar onafgebroken onbeschermd op een bepaalde plaats bevindt, overlijdt als gevolg van een ongeval door een falende windturbine. Rondom een windturbine kunnen risicocontouren worden getekend voor het plaatsgebonden risico. In het gebied direct rondom de windturbine (op ongeveer een bladlengte afstand) ligt de 10^{-5} per jaar contour. De kans op overlijden is op deze contour gelijk aan een op de honderdduizend per jaar. Binnen deze contour mogen geen kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten staan. Op een grotere afstand van de windturbine (op ongeveer ashoogte + bladlengte afstand) ligt de 10^{-6} per jaar contour, waar de kans op overlijden een op een miljoen per jaar is. Tussen de 10^{-5} en de 10^{-6} per jaar contour mogen zich wel beperkt kwetsbare objecten bevinden (bijvoorbeeld losstaande huizen of bedrijven met een beperkt aantal medewerkers). Kwetsbare objecten, zoals bijeenstaande woningen, scholen en ziekenhuizen mogen alleen buiten de 10^{-6} per jaar contour staan.

Voor de risicocontouren met generieke gegevens gelden de volgende vuistregels:

1. De $PR = 10^{-6}$ per jaar contour is gelijk aan het maximum van *ashoogte plus halve rotordiameter of maximale werpafstand bij bladbreuk bij nominaal rotortoerental*. De maximale werpafstand bij bladbreuk is afhankelijk van het type turbine en wordt onder andere bepaald door de diameter van de turbine, het rotortoerental en de ashoogte.
2. De $PR = 10^{-5}$ per jaar contour is gelijk aan de halve rotordiameter.

Windklassen

Windturbines kunnen worden goedgekeurd voor verschillende windklassen. De internationale standaardisatie van het IEC (International Electrotechnical Commission) is het meest gangbaar.

De IEC-windklassen weerspiegelen het ontwerp van de installaties voor gebieden met veel of weinig wind. Windturbines voor hogere windklassen worden blootgesteld aan minder wind, terwijl die met lagere windklassen hogere windsnelheden te verduren krijgen. Met andere woorden: windturbines die blootgesteld worden aan een hoge windbelasting behoren tot een lagere windklasse.

De referentiewaarden behorend bij een windklasse (zie Tabel a) specificeren een gemiddelde windsnelheid op ashoogte en een extreme waarde, die statistisch slechts eenmaal in de vijftig jaar voorkomt voor de duur van tien minuten.

Tabel a. IEC windklasse

IEC Windklasse	I	II	III	IV
50-jarige-extreemwaarde	50,0 m/s	42,5 m/s	37,5 m/s	30,0 m/s
Gemiddelde windsnelheid	10,0 m/s	8,5 m/s	7,5 m/s	6,0 m/s

In Nederland worden drie *windklassen* onderscheiden. Het windklimaat in het binnenland is in overeenstemming met windklasse 3 (ook wel IEC-klasse 3 genoemd). Het windklimaat op zee en op grote hoogte aan de kust komt overeen met windklasse 1 (IEC-klasse 1). Turbines in het binnenland hebben over het algemeen een grotere diameter, een grotere ashoogte en een lager nominaal toerental.

Afstanden

Het Handboek Risicozonering Windturbines geeft generieke waarden voor de 10^{-6} per jaar en 10^{-5} per jaar contour. Deze waarden worden gegeven voor turbines in de windklassen IEC1 en IEC2, wat overeenkomt met hoge en gemiddelde windsnelheid (zie Tabel b en c).

Tabel b. IEC1 Afstand (m) veiligheidscontouren en maximale werpafstand bij bladbreuk

Turbine type	WT1000		WT2000		WT3000		WT4000		WT5000	
Vermogen (kW)	1000		2000		3000		4000		5000	
Ashoogte (m)	60	80	80	100	90	120	90	120	100	120
PR= 10^{-5}	32	32	45	45	55	55	63	63	71	71
PR= 10^{-6} / max. werpafstand bij nominaal toerental	131	143	158	170	176	193	186	204	202	214
max. werpafstand bij overtoeren	389	406	457	473	507	531	543	568	585	602

Tabel c. IEC2 Afstand (m) veiligheidscontouren en maximale werpafstand bij bladbreuk

Turbine type	WT1000		WT2000		WT3000		WT4000		WT5000	
Vermogen (kW)	1000		2000		3000		4000		5000	
Ashoogte (m)	60	80	80	100	90	120	90	120	100	120
PR= 10^{-5}	35	35	49	49	60	60	70	70	78	78
PR= 10^{-6} / max.werpafstand bij nominaal toerental	142	155	175	187	198	216	213	231	233	245
max. werpafstand bij overtoeren	430	447	519	536	588	613	641	667	699	716

Begrippen

Toerental: Omwentelingsnelheid van de rotor.

- nominaal: omwentelingsnelheid waarbij het nominale vermogen wordt geleverd;
- overtoeren: omwentelingsnelheid die hoger ligt dan het nominale toerental.

Vermogen: het elektrisch vermogen dat door de windturbine aan het elektriciteitsnet wordt geleverd.

- nominaal: een door de fabrikant gespecificeerde maximale waarde voor het elektrisch vermogen dat de turbine langdurig aan het net kan leveren;
- maximaal: hoeveelheid vermogen die kortstondig aan het elektriciteitsnet geleverd kan worden.

Bijlage 2: Zoekstrategie

Legenda OvidSP zoekcommando's

tw zoeken in titel of abstract

ti alleen in titel zoeken

/ gezocht als trefwoord (MeSH)

*trefwoord/ gezocht als belangrijkste trefwoord (major MeSH)

hw gezocht als woord in trefwoordenveld

/ae invalshoek bij trefwoord, in dit geval adverse effects

exp gezocht als trefwoord inclusief onderliggende trefwoorden

fs gezocht in trefwoordenveld als subheading bij trefwoorden

? 1 of geen teken

adj4 tussen zoekwoorden mogen maximaal 3 andere woorden staan

lg taal

pt publikatietype

rn gezocht in CAS-nr veld (kan als CAS-nummer of als naam)

* truncatieteken: stam word + alle mogelijke uitgangen

Scopus-zoekstrategie (voor de overzichtelijkheid een harde return tussen de belangrijkste delen van de zoekstrategie gezet):

```

((((TITLE((wind-turbine*) OR (wind-farm*) OR (wind-park*) OR (wind-power)
OR (wind-energy)) OR TITLE((low-frequency-noise*) OR (low-frequency-
sound*) OR infrasound OR (infrasonic- noise*) OR (infrasonic-sounds) OR
(infrasonic-frequencies) OR (low-frequency-threshold) OR (noise* W/4 (low-
frequenc*))) OR KEY((wind-turbine*) OR (wind-farm*) OR (wind-park*) OR
(wind-power) OR (wind-energy)) OR KEY((low-frequency-noise*) OR (low-
frequency-sound*) OR infrasound OR (infrasonic- noise*) OR (infrasonic-
sounds) OR (infrasonic-frequencies) OR (low-frequency-threshold) OR (noise*
W/4 (low-frequenc*))) OR (TITLE-ABS-KEY(turbine-noise*) AND KEY(wind)) OR
(KEY((power-plants) OR (energy-generating-sources) OR (electric-power-
supplies)) AND KEY(wind))))
AND (TITLE(impact OR perception* OR perceive* OR health* OR (well-being)
OR (quality-of-life)) OR TITLE(annoyance OR annoying OR annoyed OR aversion
OR stress OR complaints OR distress OR disturbance OR (adversely-affected) OR
concerns OR worries OR (noise-problems) OR (noise-perception) OR (noise-
reception) OR (noise-sensitivity) OR (sensitivity W/3 noise*) OR (sound-
pressure-level*) OR (sleep-disturbance*) OR (sleep-quality) OR (cognitive-
performance) OR emotion* OR anxiet* OR (social barrier*) OR (social-
acceptance) OR (popular-opinion*) OR (public-resistance) OR (living W/4
vicinity) OR (living W/4 proximity) OR (residing W/4 vicinity) OR (residing W/4
proximity) OR (living-close) OR (living-near) OR residents OR neighbors OR
neighbours OR soundscape OR landscape OR (visual-annoyance) OR (visual-
interference) OR (visual-perception) OR (visual-impact) OR (visual-preferences)
OR (visual-assessment) OR (visual-effects) OR (perceptual-attribute*) OR
(effects W/4 population) OR (dose-response-relationship*) OR (exposure-
response-relationship*) OR (dose-response) OR (exposure-response) OR
(human-response) OR (health-effects) OR (health-aspects) OR (health-
outcome*))))
AND NOT ((KEY(animals) AND NOT KEY(humans))))
AND (LANGUAGE(english OR dutch OR german OR french) AND PUBYEAR >
2008)

```

Bijlage 3: Geluid: cumulatie en achtergrondgeluid

Als het geluid getoetst wordt aan de genoemde normen wordt geen rekening gehouden met het al aanwezige geluid (achtergrondgeluid). Natuurlijk zal dat wel invloed kunnen hebben: als er al veel geluid is, zal het erbij komende geluid van windturbines voor een deel van de tijd helemaal niet hoorbaar kunnen zijn. Op andere tijdstippen kunnen beide bronnen hoorbaar zijn, hetgeen extra hinder geeft. Aangezien zowel de andere bronnen als het windturbinegeluid in de tijd fluctueren, is dit een behoorlijk complexe situatie en is het resultaat moeilijk te beoordelen. In de methode die is neergelegd in art. 110f van de Wet Geluidhinder wordt het windturbinegeluid, met eventueel nog andere belangrijke bronnen (treinen en industrie) omgerekend naar een geluidniveau van wegverkeer dat even hinderlijk is als elke bron apart, waarna deze bij elkaar worden opgeteld. Dat gebeurt niet door simpele rekenkundige, maar door een logaritmische of energetische optelling. Uit die optelling blijkt of dat meer hinder oplevert dan dezelfde berekening zonder windturbines: het verschil geeft de extra hinder door het windturbinegeluid.

Deze methode is niet geheel volmaakt, maar er is geen betere voorhanden en hij geeft wel inzicht in het extra effect van windturbines. Het optellen van alle geluiden geeft een gemiddeld beeld zonder duidelijkheid over wat er gebeurt bij verschillende omstandigheden en op verschillende tijden.

Een andere methode is het meten van het achtergrondgeluid en het gemeten niveau te vergelijken met het berekende geluidniveau van windturbines. Dit laat zien of en in welke mate het windturbinegeluid luider is dan het bestaande geluid. Ook deze methode is zeker niet volmaakt. Zo is het meten van achtergrondniveaus zeer moeilijk: door de vaak zeer lage niveaus is het technisch een lastige klus; vaak sta je windgeruis te meten. In gebieden met lage achtergrondniveaus is deze methode dan ook niet te gebruiken. In de stad Utrecht is onlangs voor deze methode gekozen, omdat het duidelijk was dat in deze stedelijke omgeving veel achtergrondgeluid was.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl