



Briefrapport 609333002/2008

G.P. van den Berg | N.M. van Kuijeren

# Windturbines: invloed op de beleving en gezondheid van omwonenden

GGD-informatieblad Medische Milieukunde

RIVM Briefrapport 609333002/2008

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

GGD-informatieblad medische milieukunde

G.P. van den Berg, GGD Amsterdam  
N.M. van Kuijeren, centrum Gezondheid en Milieu, RIVM

Contact:  
N.M. van Kuijeren  
centrum Gezondheid en Milieu/IMG  
nienke.van.kuijeren@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, in het kader van V/609330 'Ondersteuning GGD'en/richtlijnen'

© RIVM 2008

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'.

## Rapport in het kort

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

Plannen tot het oprichten van windturbines leiden vaak tot hevige discussies en bezwaren van omwonenden. Deze kunnen voortkomen uit angst voor gezondheidsrisico's of een gevoel van onmacht door gebrek aan participatie. Ook de afwezigheid van lokale baten van windenergieprojecten en het gevoel dat lokale belangen te weinig meewegen tegenover het nationale of mondiale voordeel van windenergie kan hier aan bijdragen.

Het RIVM heeft de kennis gebundeld van de effecten van windturbines op de beleving en gezondheid van omwonenden ten behoeve de GGD'en. Dit informatieblad voor GGD'en beschrijft de verschillende aspecten van de invloed van windturbines op de leefomgeving. Dit zijn visuele aspecten, geluidshinder en veiligheid. Het visuele aspect hangt sterk samen met de ervaren geluidshinder: bewoners ervaren, bij gelijke geluidsniveaus, meer hinder als zij vanuit huis een windturbine kunnen zien. Naast het geluidsniveau is ook het karakter van het geluid belangrijk voor de ervaren hinder van omwonenden.

GGD'en kunnen zich in de discussie rondom windenergieprojecten richten op een zorgvuldige informatievoorziening over de effecten op beleving en gezondheid zowel naar gemeentebesturen als burgers. Ook kunnen zij aandringen op een correcte berekening van de geluidsblootstelling voor de nachtperiode.

Trefwoorden: Windturbines, Geluidshinder, Beleving, Gezondheid, Landschap, Visuele hinder

# Abstract

## **Wind turbines: effects on perception and health of residents**

Plans for the construction of wind turbines often lead to heated discussions and protests from local residents. This can stem from fear of health risks, a feeling of not having control due to a lack of participation, the absence of positive local effects of wind turbine projects and the feeling that local concerns are not in balance with national or global concerns.

The RIVM has gathered existing knowledge on wind turbines and their effects on the (perceived) health of residents on behalf of the Public Health Services (GGDs) in the Netherlands. This report was commissioned by the Ministry of Health, Welfare and Sport (VWS).

This fact sheet for GGDs describes the influence wind turbines have on residents living close to wind turbines, including visual, acoustic and safety aspects. Visual perception is strongly correlated with noise annoyance: residents experience more annoyance from wind turbines when they can see the turbine(s) from their home. The perceived annoyance depends not only on the noise level but also on the character of the noise.

In the debate on wind turbines, GGDs should focus on providing accurate information to local authorities and the public on the (perceived) effects of wind turbines on health. They can also insist on a correct assessment of sound exposure during night time.

Key words: Wind turbines, Perception, Health, Landscape, Noise annoyance, Visual annoyance

## Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>6</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2 Windenergie en windturbines</b>	<b>8</b>
<b>3 Discussie bij windenergieprojecten</b>	<b>10</b>
<b>4 Effecten van windturbines op de leefomgeving</b>	<b>11</b>
4.1 Visuele aspecten	11
4.1.1 Inpassing in het landschap	11
4.1.2 Visueel contrast en beweging wieken	12
4.1.3 Slagschaduw	12
4.1.4 Lichtschittering	13
4.2 Geluid	13
4.2.1 Maten voor geluid	13
4.2.2 Regelgeving over windturbinegeluid	14
4.2.3 Onderzoeken naar geluidhinder en slaapverstoring	14
4.2.4 Effect van het karakter van windturbinegeluid	18
4.2.5 Laagfrequent geluid	19
4.2.6 Overige gezondheidseffecten	20
4.3 Veiligheid	20
<b>5 Conclusie</b>	<b>21</b>
<b>6 Advisering door GGD'en</b>	<b>22</b>
6.1 Effecten op de leefomgeving	22
6.2 Communicatie	23
<b>Referenties</b>	<b>24</b>
<b>Bijlage 1 Aanbevelingen voor omgang met omwonenden</b>	<b>27</b>
<b>Bijlage 2 Selectie van regelgeving die op windturbines betrekking heeft</b>	<b>29</b>
<b>Bijlage 3 Beoordeling windturbinegeluid</b>	<b>33</b>
<b>Bijlage 4 Meer informatie over windenergie</b>	<b>37</b>

## Samenvatting

Om de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te verminderen wordt gezocht naar schone en duurzame energiebronnen. Windenergie is zo'n duurzame energiebron. Het kabinet wil een forse uitbreiding van het windvermogen op land in de komende jaren. In de bevolking is in principe veel steun voor windenergie. Er bestaan echter ook veel bezwaren wanneer mensen geconfronteerd worden met concrete plannen van plaatsing van windturbines in de omgeving. Dit informatieblad geeft een overzicht van de huidige kennis van de effecten van windturbines op de beleving en gezondheid van omwonenden. Het informatieblad is geschreven voor GGD'en en kan door hen gebruikt worden bij advisering van gemeenten en burgers.

Vaak ontstaan bij de plaatsing van windturbines heftige discussies tussen de exploitant, de betrokken overheidsinstanties en bewoners. Dit is niet alleen terug te voeren op het Not In My Back Yard-effect. Het kan ook voortkomen uit angst voor gezondheidsrisico's, een gevoel van onmacht door gebrek aan participatie, de afwezigheid van lokale baten van windenergieprojecten en het gevoel dat lokale belangen te weinig wegen tegenover het nationale of mondiale voordeel.

De invloed van windturbines op de omwonenden is in drie aspecten te onderscheiden: visuele aspecten, geluid en veiligheid. Moderne windturbines steken boven alles uit in hun omgeving waardoor ze tot op grote afstand zichtbaar zijn. Ze trekken bovendien aandacht door de beweging van de wieken. Door die beweging kunnen ook lichtvariaties optreden.

Het visuele aspect hangt nauw samen met de ervaren hinder van geluid. Uit onderzoek blijkt dat mensen die windturbines vanuit huis kunnen zien meer hinder ervaren dan mensen die windturbines niet kunnen zien ook al worden zij aan hetzelfde geluidniveau blootgesteld. In vergelijking met weg-, rail-, of vliegverkeer veroorzaken windturbines meer hinder bij dezelfde geluidniveaus. Wanneer omwonenden economisch voordeel van een turbine hebben rapporteren ze vrijwel geen hinder. Geluid van windturbines heeft geen invloed op het in slaap vallen van omwonenden. Wel kan nachtelijk geluid van windturbines biologische reacties veroorzaken zoals wakker worden. Het karakter van het geluid, het 'zoeven' of 'zwiepen', kan hierbij een rol spelen.

Windturbines moeten aan bepaalde veiligheidseisen voldoen en worden hierop ieder jaar gecontroleerd. Hoewel de kans heel klein is bestaat de mogelijkheid op ongelukken door bijvoorbeeld ijsafzetting of mast- of bladbreuk. De kans op een ongeluk met een windturbine moet getoetst worden aan criteria voor het aanvaardbare risico.

De afdeling Medische Milieukunde of Milieu en Gezondheid van de GGD is in veel gevallen betrokken bij windenergieprojecten om advies te geven over de gezondheidseffecten van windturbines op omwonenden. GGD'en hebben deze adviserende rol richting gemeentebestuur maar zijn tevens aanspreekpunt voor burgers. In dit informatieblad wordt aandacht besteed aan de manier waarop GGD'en bij windenergieprojecten invulling kunnen geven aan deze beide rollen. Zij kunnen zich vooral richten op een correcte vaststelling van de blootstelling en op een zorgvuldige informatievoorziening over de effecten op beleving en gezondheid zowel naar gemeentebestuur als naar burgers.

# 1 Inleiding

De vraag naar elektriciteit in de geïndustrialiseerde landen is groot en neemt nog ieder jaar toe met enkele procenten. Elektriciteit wordt grotendeels gegenereerd door gebruik te maken van fossiele brandstoffen. Hierbij wordt onder andere koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) uitgestoten, hetgeen in verband wordt gebracht met het broeikas-effect. Om verdere opwarming van de aarde tegen te gaan, is het Kyoto Protocol in werking getreden. In dit verdrag hebben de meeste rijke en geïndustrialiseerde landen afgesproken zich in te zetten voor een vermindering van de uitstoot van CO<sub>2</sub>. Om dit te bereiken en ook de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te verminderen, wordt gezocht naar schone en duurzame energiebronnen, zoals windenergie.

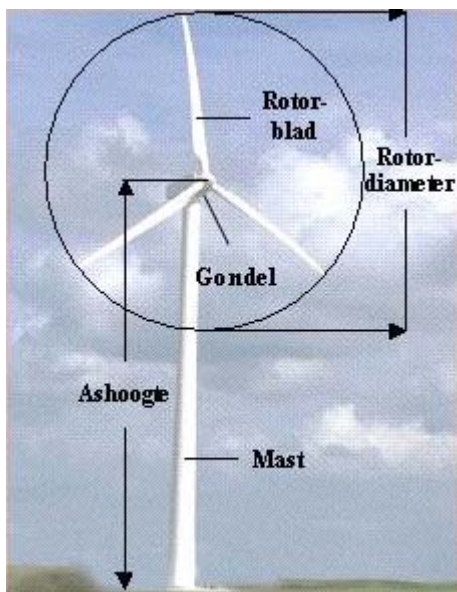
Er is in de bevolking in principe veel steun voor windenergie. Er bestaan echter ook bezwaren, vooral als het onderwerp door plannen voor een naburig windpark concreter wordt. Vaak wordt door omwonenden gewezen op de kans op ongelukken, de aantasting van het landschap, de gevolgen voor vogels en vleermuizen, de overlast die direct omwonenden van windturbines kunnen ondervinden en de mogelijke waardedaling van woningen. Daarnaast kunnen windturbines invloed hebben op de ontvangst van radar, radio/tv en andere toestellen door reflectie of onderbreking van de radiofrequente signalen. Eind 2008 zijn in Nederland bijna 2000 windturbines operationeel.

Omwonenden richten zich onder andere tot de GGD om antwoord op hun vragen te krijgen ten aanzien van de hinderaspecten en de risico's voor de gezondheid. Dit informatieblad zet een aantal zaken op een rij die bij de beantwoording van deze vragen behulpzaam kunnen zijn. Hoofdstuk 2 schetst de ontwikkeling van windturbines in de afgelopen jaren en de huidige en toekomstige vraag naar windenergie. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 3 toegelicht welke discussies gevoerd worden bij windenergieprojecten. Hoofdstuk 4 behandelt de effecten op de leefomgeving. Hierbij komen visuele aspecten, geluid en veiligheid aan de orde. Hoofdstuk 5 is een concluderend hoofdstuk. Het laatste hoofdstuk (6) is gewijd aan de advisering door GGD'en. Hierin wordt een mogelijke rol voor de GGD bij het plaatsen van windturbines toegelicht en worden punten genoemd waar de plannen op kunnen worden beoordeeld. Tenslotte geven vier bijlagen aanvullende informatie.



## 2 Windenergie en windturbines

In voorgaande eeuwen zijn grote aantallen windmolens gebouwd voor het leveren van mechanische energie ('kracht'). In de jaren '70 van de 20<sup>ste</sup> eeuw is opnieuw belangstelling ontstaan voor de toepassing van windenergie, maar dit keer voor het opwekken van elektriciteit. De term windturbines wordt gebruikt voor roterende toestellen die windenergie omzetten in elektrische energie (wat onze vanouds bekende windmolens nooit hebben gedaan). In 2007 heeft de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) aangekondigd dat ze een belangrijke uitbreiding wil van het windvermogen op land, waarbij het aantal turbines zou kunnen verdubbelen.



Figuur 1 Benamingen gebruikt bij windturbines

Begin 2007 telde Nederland 1826 windturbines. Per jaar wekten die genoeg elektriciteit op om ruim 600.000 huishoudens van stroom te voorzien, ofwel 8% van alle huishoudens in Nederland (1). Het totale huishoudelijk verbruik van elektriciteit vormt echter slechts 2,7% van het totale binnenlandse energieverbruik (2): er wordt aanzienlijk meer energie verbruikt in de industrie en bij verwarming en transport. Op dit moment is onze energievoorziening dan ook verre van duurzaam: slechts 3% van het totale energieverbruik is duurzaam opgewekt (waarvan de helft in Nederland). Van die 3% is een kwart windenergie (2). Halverwege 2008 was het aantal windturbines gestegen tot 1945 (3). Het aandeel elektriciteit uit windenergie moet volgens de regering de komende jaren verder omhoog: in 2010 moet 9% van de totale elektriciteitsbehoefte uit duurzame bronnen komen en voor 2020 streeft het kabinet naar een aandeel tot 20% (1).

Het totale energieverbruik is volgens het CBS in de periode 1997-2007 met 12% gestegen. Het is dus duidelijk dat windenergie op dit moment (nog) weinig zoden aan de dijk zet. Anderzijds kan onze energievoorziening alleen duurzaam worden door duurzame bronnen te ontwikkelen en benutten. Naarmate er meer aan energiebesparing wordt gerealiseerd zullen deze bronnen in belang toenemen.

De eerste windturbines die in Nederland zijn geplaatst, hadden een vermogen van 100 kW of minder. Nu worden windturbines geplaatst tot een vermogen van 3 MW, met een masthoogte van 80 tot 100

meter. De lengte van een wiek of rotorblad bedraagt bij moderne, grote windturbines 30 tot 50 m, de wieklengte is vaak gelijk aan ongeveer de helft van de masthoogte.

De verwachting is dat het vermogen per turbine nog zal toenemen tot in elk geval 4 à 5 MW en masthoogtes nog tot 120 m. Het voordeel van een hogere turbine is dat het op grotere hoogte meer waait. Bovendien kunnen er dan grotere rotorbladen gebruikt worden. Het door de bladen bestreken oppervlak bepaalt, samen met het windaanbod, de energieopbrengst. Vanwege deze voordelen worden oudere, kleine turbines vervangen door moderne, grote turbines.

Inmiddels zijn er ook op zee, bij Egmond aan Zee en IJmuiden, windparken gerealiseerd. Er zullen er zeker meer volgen, ook in dieper water. Omdat deze windparken geen gevolgen hebben voor de directe leefomgeving van mensen, worden ze hier niet verder besproken.

### 3 Discussie bij windenergieprojecten

Bij de ontwikkeling van windenergieprojecten ontstaat soms een heftige discussie tussen de initiatiefnemer, betrokken overheidsinstanties en omwonenden. Waar komt de weerstand vandaan die omwonenden hebben tegen de plaatsing van windturbines? Naar deze vraag is regelmatig onderzoek gedaan in Europa. Al in 1990 werd in publicaties gewezen op de problemen die konden ontstaan bij het verkrijgen van maatschappelijk draagvlak voor concrete projecten (4). Gesteld werd dat het NIMBY effect (Not In My Back Yard) geen goede verklaring was voor de tegenstand. Volgens Wolsink (4) is het belangrijk rekening te houden met de houding van omwonenden, welke voor een belangrijk deel bepaald wordt door de visuele waardering van windturbines in het landschap. Zijn nog steeds actuele aanbevelingen voor de omgang met omwonenden zijn vermeld in Bijlage 1.

In 2005 stelde TNO dat de steeds beter georganiseerde en groeiende maatschappelijke weerstand tegen windturbines op land het grootste knelpunt vormde bij de uitbreiding van windenergie (5). De weerstand zou vooral gevoed worden door de onduidelijkheid over de nationale, strategische betekenis van windenergie op land. Er zouden zich 'Babylonische spraakverwarringen' over kosten en baten en over nut en noodzaak voordoen. TNO vond dat weinig efficiënt. De discussie zou zich op lokaal niveau moeten richten op de afweging tussen landschappelijke inpassing en het te installeren vermogen. Milieuaspecten als geluid, veiligheid, slagschaduw en vogeltrekgebieden waren 'genormeerd' en werden daarom door TNO als minder problematisch gezien.

Breukers bestudeerde windenergieprojecten in Noordrijn-Westfalen, Nederland en Engeland. Zij constateerde dat voor- en tegenstanders in elk gebied kritiek hadden op het gebrek aan participatie, de afwezigheid van lokale baten van windprojecten, en het wegzetten van lokale oppositie als niet legitiem of ongefundeerd (6). Zij constateert ook dat de ontwikkeling van windenergie in Noordrijn-Westfalen zo voorspoedig verliep omdat die voortkwam uit de bevolking zelf, die zich bekommerde om het milieu en kernenergie geen alternatief vond. In Nederland en vooral Engeland was een dergelijke inbedding veel minder aanwezig.

In Nederland zijn, in verband met het in 2007 geformuleerde beleid voor meer windenergie op land, door een adviesbureau de knelpunten onderzocht die bij die uitbreiding verwacht worden (7). De grootste knelpunten doen zich volgens de adviseurs op lokaal niveau voor, vooral als gevolg van het NIMBY effect. Ze adviseren de ministers van VROM, Economische Zaken (EZ) en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) meer centrale dwang te gebruiken (via de Wet op de Ruimtelijke Ordening en de Rijks Projecten Procedure) en via communicatie de rijksdoelen van het beleid beter uit te dragen. De aanbeveling om de belangen van lokale betrokkenen, waaronder bewoners, te vergroten, stemt overeen met aanbevelingen van universitaire onderzoekers (4,6). Er is echter een grote tegenstelling tussen wat veel bewoners zullen vinden en de mening van de adviseurs over het belang van de lokale leefomgeving. Deze stellen: "Personen die wel alle argumenten bestudeerd en begrepen hebben komen er achter dat er in verreweg de meeste gevallen uiteindelijk maar één discussiepunt over blijft: je vindt ze mooi of je vindt ze lelijk. En dan blijkt dat in veel gevallen het behoud van de lokale leefomgeving zwaarder weegt dan het mondiale voordeel uitgedrukt in terugdringing van broeikasgassen" (7). Op lokale schaal bekeken zou het welzijn van bewoners echter kunnen afnemen als hun belang ondergeschikt wordt gemaakt aan het mondiale belang. Dit kan gevolgen hebben voor de gezondheid van bewoners.

## 4 Effecten van windturbines op de leefomgeving

Veel Nederlanders vinden dat de natuur, het milieu en het klimaat ontzien moeten worden. Dat betekent niet dat men automatisch positief staat tegenover het plaatsen van windturbines. Omwonenden kunnen ongerust zijn over de aantasting van hun leefomgeving en van hun gezondheid. Vaak vormen zij zich daarvan pas een beeld als er in de eigen omgeving een initiatief is om windturbines te plaatsen. Op dat moment is dan behoefte aan concrete, objectieve en evenwichtige informatie. In dit hoofdstuk wordt op een aantal onderwerpen ingegaan die van belang zijn voor de beleving en gezondheid van omwonenden van windturbines. Eerst komen visuele aspecten aan bod (paragraaf 4.1), vervolgens geluid (paragraaf 4.2) en tenslotte veiligheid (paragraaf 4.3).

### 4.1 Visuele aspecten

Moderne windturbines steken boven alles uit in hun omgeving waardoor ze tot op grote afstand zichtbaar zijn. Ze trekken bovendien aandacht door de beweging van de wieken. Door die beweging kunnen ook lichtvariaties optreden. Al deze visuele aspecten zijn belangrijk voor de beleving van omwonenden.

#### 4.1.1 Inpassing in het landschap

De zichtbaarheid van windturbines in het omringende landschap is een belangrijk en terugkerend element in de discussie over de aanleg van windparken. Het is ook een element waarover nogal verschillende opvattingen bestaan.

Met enige simplificatie kan men drie hoofdopvattingen onderscheiden.

- In een utilitaire visie is het landschap de werkvloer voor als noodzakelijk ervaren activiteiten als bedrijvigheid en vervoer. Daarin kan een esthetische waardering zeker een rol spelen, maar deze wordt mede bepaald door de functionaliteit van elementen in het landschap.
- In een natuurvisie wordt een groot deel van het Nederlandse landschap gezien als min of meer natuurlijk, waarin moderne, kunstmatige elementen als windturbines of grote gebouwen niet vanzelfsprekend thuis horen en soms ongewenst zijn. Dit geldt zeker voor gebieden met 'echte' natuur.
- De laatste visie is een meer romantische visie. Hierin spelen de eigenheid van het landschap, van landschapselementen en van vanouds voorkomende kleinschalige bedrijvigheid een belangrijke rol. De eerste opvatting laat het meeste ruimte voor verandering, de laatste opvatting het minste. Bij de planning van een windpark kunnen deze opvattingen tegenover elkaar komen te staan. Meestal is er geen open debat over de achterliggende visies of een wens tot een gezamenlijke visie te komen.

Vermoedelijk is hier echter grote winst te boeken omdat de houding ten opzichte van het landschap een belangrijke invloed heeft op het vóórkomen van hinder. Het kennis nemen van andere visies en van de ontwikkelingen die er zijn geweest in de eigen leefomgeving zou kunnen leiden tot verschuivingen in de visie op en houding ten opzichte van dat landschap. Dat geldt overigens zowel voor omwonenden als voor initiatiefnemers voor windparken. Dat kan worden bereikt door een verandering in de wijze waarop debatten gevoerd worden bij informatie- en inspraakbijeenkomsten. Daarbij is tot nog toe vaak sprake van polarisatie op grond van verschillende belangen (5,6). De GGD-Richtlijn Risicocommunicatie geeft informatie over verschillen in (risico)perceptie en communicatie (8).

Bij de in 2007 aangekondigde verhoging van de hoeveelheid windenergie streeft VROM er naar windturbines zorgvuldiger in het landschap in te passen. Als landschappelijke inpassing van windparken goed kan worden gerealiseerd, dan nog zouden grote aantallen windturbines, verspreid over het land, leiden tot een nivellering van het landschap omdat overal hetzelfde te zien zal zijn (9). De ministeries van VROM, EZ en LNV willen daarom het advies van de rijksadviseur voor het landschap volgen. Deze adviseert te streven naar concentratiegebieden voor windparken en het aanwijzen van gebieden die uit landschappelijk oogpunt zoveel mogelijk gevrijwaard worden van windturbines ('vides') (1).

#### 4.1.2 Visueel contrast en beweging wieken

De twee belangrijkste maatstaven voor het effect van een element in het landschap zijn de grootte of schaal ervan en de gevoeligheid van de locatie of van de waarnemer (10). Doordat windturbines groter zijn geworden is de invloed op het landschap groter geworden. Een natuurlijke omgeving is gevoeliger dan een industriële omgeving. In een meer natuurlijk landschap contrasteren windturbines sterker met de omgeving. In een duidelijker door gebouwen (stad, bedrijventerrein) of techniek (fabriek, procesinstallatie) bepaald gebied zullen ze minder opvallen. Een groter aandeel in het blikveld en een groter contrast zullen de waardering verlagen (en de hinder verhogen, zie 4.2.1) als voor de waarnemer het toegevoegde element negatieve associaties heeft. Evengoed kan het echter hoger gewaardeerd worden als er positieve associaties aan gekoppeld zijn.

Op het platteland voegen draaiende wieken een element van onrust toe aan het landschap. Daardoor vallen windturbines meer op dan een stilstaand element en trekken ze aandacht (9). Hoe sneller de windturbine draait hoe onrustiger het beeld wordt. De omwentelingssnelheid heeft direct te maken met het aantal bladen van een windturbine: hoe meer bladen, hoe langzamer een turbine draait. De windturbines die tegenwoordig standaard zijn, zijn alle driebladig en ogen rustiger dan de kleinere die in de jaren '80 werden geplaatst en veelal tweebladig waren.

Uit recent onderzoek bij mensen die binnen ca. 2,5 km van een Nederlands windpark woonden met tenminste twee turbines van elk 500 kW, bleek het volgende (11):

- 68% van de respondenten kon een of meer windturbines zien vanuit huis.
- 57% van de respondenten vond dat (door de windturbines) het uitzicht vanuit hun huis veranderd was.
- 27% van de respondenten vond het uitzicht op de windturbines enigszins tot erg hinderlijk.
- 52% van de respondenten merkte, vanuit huis, de *beweging* van de wieken op.
- 19% van de respondenten vond die beweging enigszins tot erg hinderlijk.

#### 4.1.3 Slagschaduw

Met 'slagschaduw' (dat eigenlijk een synoniem is van kernschaduw) wordt in het windturbinejargon bedoeld dat de zon achtereenvolgens niet en (eventueel deels) wel door een wiek bedekt wordt zodat er lichtvariaties ontstaan. 'Slagschaduw' treedt dus op als de zon door de ronddraaiende wieken schijnt. Gelet op de baan van de zon rond de aarde kan in Nederland de slagschaduw nooit optreden ten zuiden van een windturbine en alleen in de lente en zomer<sup>1</sup> ten zuidoosten ('s avonds) of zuidwesten ('s morgens) van een windturbine. Doordat steeds een deel van het zonlicht wordt onderbroken treden er variaties in lichtsterkte op. Deze variaties zijn groot als de zon (even) helemaal achter een wiek verdwijnt en als men binnen zit. Als de zon niet helemaal wordt afgedekt of als men buiten is (veel licht van de rest van de hemel), is de variatie minder groot. De ritmische schaduw kan als een

---

<sup>1</sup> Dit betreft de astronomische lente en zomer (tussen 21 maart en 21 september); in deze periode komt (op het noordelijk halfrond) de zon in het noordoosten op en gaat in het noordwesten onder. In de astronomische herfst en winter is dat het zuidoosten resp. zuidwesten.

hinderlijke flikkering worden ervaren door iemand die bijvoorbeeld zit te lezen achter een raam waar de schaduw op valt. Uit onderzoek is gebleken dat de hinder van lichtvariaties of flikkeringen het grootst is bij een frequentie van 2,5 tot 14 keer per seconde. Er kunnen dan verschijnselen als zeeziekte optreden en bij mensen die hiervoor gevoelig zijn, kan een epileptische aanval optreden. Bij moderne windturbines ligt het toerental van de rotor rond de 20 omwentelingen per minuut. Dit betekent voor een turbine met drie bladen een flikkerfrequentie van 60 per minuut of 1 per seconde. Bij deze frequentie worden de bovengenoemde gezondheidseffecten niet verwacht.

Met behulp van een computerprogramma kan berekend worden of de schaduw over een woonhuis valt. Als de schaduw langer dan een bepaalde tijd aanhoudt op een nabije woning is een stilstandvoorziening nodig; de turbine wordt dan automatisch tijdelijk gestopt. Volgens een regeling bij het Activiteitenbesluit (12) is dat het geval als (zie Bijlage 2):

- de afstand tussen de windturbine en de woningen of andere ‘slagschaduwgevoelige’ bestemmingen minder dan 12 x de rotordiameter bedraagt; en
- de slagschaduweffecten gemiddeld meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten per dag kunnen optreden.

#### **4.1.4 Lichtschittering**

Lichtschittering kan optreden als gevolg van reflectie van zonnestralen op de rotorbladen. Dit zou als hinderlijk kunnen worden ervaren en indirect kunnen leiden tot een negatieve invloed op het algemeen welbevinden. Bij moderne windturbines komt dit verschijnsel echter niet tot nauwelijks meer voor, aangezien standaard een anti-reflectielaag wordt aangebracht op de rotorbladen zoals vereist volgens het Activiteitenbesluit (zie Bijlage 2).

## **4.2 Geluid**

Bij oudere windturbines kon het mechanische, tonale geluid van apparatuur in de gondel (zie figuur 1) soms het overheersende geluid zijn. Bij moderne windturbines is dat niet meer het geval, maar is vooral het aerodynamische, ruisachtige geluid van de wieken of rotorbladen hoorbaar. Dat geluid ontstaat vooral aan de achterrand van de wieken en is sterk afhankelijk van de snelheid van de wieken. Omdat de uiteinden van de rotorbladen de hoogste snelheid hebben, dragen zij het meest bij aan de totale geluidproductie. De wieken passeren tijdens hun rondgang de mast en luchtlagen met verschillende windsnelheden. Daardoor kan de geluidsterkte variëren in het ritme van de ronddraaiende wieken.<sup>2</sup> Dit kan leiden tot een ritmisch, soms impulsachtig geluid (13).

### **4.2.1 Maten voor geluid**

Het geluidniveau, de ‘sterkte’ van een geluid, wordt uitgedrukt in decibel (dB). Meestal wordt daarop een correctie toegepast omdat we geluiden van verschillende frequenties niet even goed kunnen waarnemen. Na toepassing van deze correctie (de zogenoemde A-weging) wordt het geluidniveau uitgedrukt in dB(A): dat is (ongeveer) het geluidniveau zoals mensen dat waarnemen.

---

<sup>2</sup> Dichtbij een turbine kan men dit niet horen omdat daar tijdens het draaien de afstand tussen waarnemer en wiektip sterk varieert, men de wiek steeds onder een andere hoek ziet (de wieken stralen niet in alle richtingen evenveel geluid uit) en door de hoge tipsnelheid Dopplerversterking optreedt in de voorwaartse richting. Dichtbij is daardoor het geluid het luidst tijdens de neerwaartse beweging van een wiek. Op grotere afstand van een windturbine zijn deze effecten echter van veel minder belang.

Het geluidniveau wordt gemiddeld over een zekere tijd, waarbij meestal de dagperiode, de avond en de nacht worden onderscheiden. Zodoende wordt vaak het over day, evening of night gemiddelde geluidniveau gebruikt. Omdat een geluidniveau met L wordt aangeduid, verkrijgt men aldus het Lday, Levening of Lnight

Het is daarnaast 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 10 respectievelijk 5 dB te verlagen.

Vanwege Europese regelgeving wordt in Nederland bij transportlawaai het over dag, avond en nacht gemiddelde geluidniveau berekend, inclusief de toeslagen. Het resultaat is het Lden: het over day, evening en night gemiddelde geluidniveau, inclusief een toeslag van 5 dB voor de avond en 10 dB voor de nacht. Bij windturbines zal het Lden waarschijnlijk ook gebruikt gaan worden, maar in de huidige regelgeving wordt het geluidniveau nog bij verschillende windsnelheden getoetst (zie verder Bijlage 3).

#### **4.2.2 Regelgeving over windturbinegeluid**

De regelgeving is te complex om in kort bestek correct en compleet weer te geven. Onderstaande tekst is bedoeld om toch enig inzicht te geven.

Als binnen 300 m van één of meer windturbines van 50 m masthoogte of meer (met een maximum van negen turbines of 15 MW) een woning staat moet volgens het Activiteitenbesluit een akoestisch onderzoek worden uitgevoerd naar de geluidbelasting van die woning; bij lagere windturbines gelden kleinere afstanden (12). Bij grotere afstanden is geen vergunning nodig en volstaat in principe een melding aan het bevoegd gezag, maar dient de exploitant zich wel aan de regels in het Activiteitenbesluit te houden. Een selectie van relevante regelgeving is gegeven in Bijlage 2. De grens bij 300 meter is in feite achterhaald doordat bij moderne, grote windturbines ook op grotere afstanden het toelaatbare geluidniveau overschreden kan worden (zie Bijlage 3). Vaak wordt echter bij wat grotere afstanden toch een akoestisch rapport opgemaakt. Bij grotere windparken (meer dan negen turbines of meer dan 15 MW) moet een milieuvergunning worden aangevraagd. In de vergunning wordt opgenomen hoeveel geluid de windturbine mag veroorzaken op de gevel van woningen. Het Activiteitenbesluit is begin 2008 van kracht geworden. Daarvoor werden windturbines beoordeeld volgens het Besluit Voorzieningen en Installaties Milieubeheer van 2001, dat voor windturbines echter dezelfde beoordelingscriteria kende.

Bij de bestaande regelgeving voor windturbines zijn enkele kanttekeningen te plaatsen. In Nederland (en vele andere landen) wordt bij de vaststelling van de hoeveelheid geluid tengevolge van windturbines geen rekening gehouden met het windgedrag op hoogtes waar de rotorbladen van moderne, grote windturbines zich bevinden. Er wordt altijd gerekend met een toename van de windsnelheid volgens een betrekkelijk simpel model (het 'logaritmisch windprofiel') dat 's nachts echter vaak niet geldt. 's Nachts waait het op grotere hoogte vaak aanzienlijk harder dan dat model voorspelt. Als gevolg daarvan wordt, vooral 's avonds en 's nachts, de hoeveelheid bij bewoners invallend geluid onderschat omdat deze berekend wordt bij lagere windsnelheden op rotorhoogte dan er feitelijk optreden. Omdat de grenswaarde afhankelijk is van de windsnelheid op 10 m hoogte, wordt de hoeveelheid invallend geluid daardoor met de verkeerde (hogere) grenswaarde vergeleken. Zie voor een uitgebreidere toelichting Bijlage 3. Begin 2010 zal de regelgeving vermoedelijk veranderd worden zodat de vaststelling van het geluidniveau wel correct zal plaatsvinden.

#### **4.2.3 Onderzoeken naar geluidhinder en slaapverstoring**

In de wetenschappelijke literatuur zijn vier onderzoeken naar geluidhinder rond windturbines gepubliceerd. Daaraan is in 2008 het rapport van een Nederlands onderzoek toegevoegd. Van dit

onderzoek wordt in 2009 een publicatie in een wetenschappelijk tijdschrift verwacht. De eerste twee onderzoeken zijn uitgevoerd in Denemarken, Duitsland en Nederland in de vroege jaren '90 (14-16). Een decennium later zijn twee onderzoeken uitgevoerd in Zweden (17,18) Het laatste onderzoek is in 2007 in Nederland uitgevoerd (11). Sinds de eerste onderzoeken is de grootte van windturbines toegenomen: in de eerste studies betrof het windturbines tot 150 kW vermogen en ca. 30 m hoogte, in de Zweedse onderzoeken ging het om windturbines tot 1,5 MW en 65 m hoogte. In de Nederlandse studie betrof het windturbines tot 3 MW en 100 m hoogte. Bovendien ging het in de vroegere studies vooral om solitaire windturbines, terwijl de laatste, Nederlandse studie zich juist op windparken richtte. Dit laatste onderzoek is het meest relevant voor Nederland, maar komt in belangrijke mate tot dezelfde conclusies als de Zweedse onderzoeken.

#### *Uitkomsten voor geluidhinder*

Welke conclusies kunnen worden getrokken uit de genoemde onderzoeken naar geluidhinder door windturbines? Daarvoor kijken we vooral naar de uitkomsten van het Nederlandse onderzoek. Dit onderzoek omvatte 725 respondenten die allen volwassen omwonenden (binnen ca. 2,5 km) waren van windparken met tenminste twee turbines van minimaal 500 kW elektrisch vermogen. Uit dit onderzoek blijkt het volgende (11):

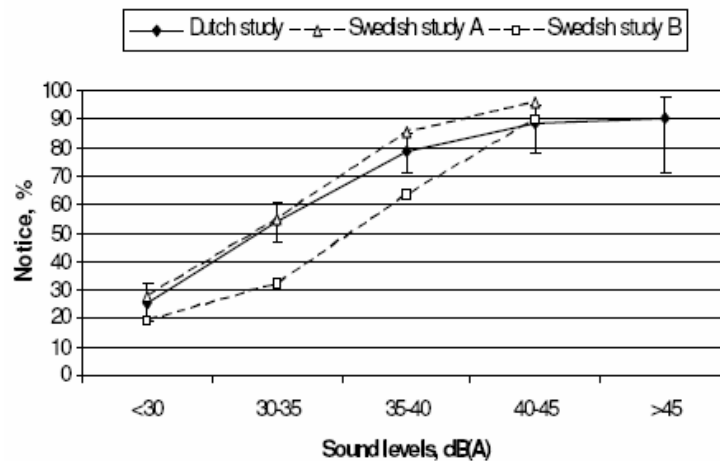
- Geluid was het meest hinderlijke aspect van windturbines. Het berekende geluidniveau blijkt echter sterk gecorreleerd met de grootte van windturbines in het blikveld (berekend als het percentage dat de windturbines beslaan van het totale blikveld). De visuele en auditieve blootstelling zijn daardoor moeilijk te onderscheiden en hebben bovendien een gezamenlijke invloed op de ervaren hinder.
- Bij geluidniveaus op de woning vanaf ca. 35 dB(A) hoorde 80% 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% van de respondenten vond het geluid 's nachts luider (tegenover 22% die het dan minder luid vonden), ondanks dat de windsnelheid (nabij de grond) 's nachts gemiddeld lager is.
- Respondenten die geen windturbine konden zien vanuit hun woning konden bij overeenkomstig geluidniveau de windturbines minder vaak horen dan respondenten die de turbines wel konden zien, en rapporteerden ook minder hinder.
- Driekwart van de respondenten vond 'zoeven' of 'zwiepen' een juiste beschrijving van het geluid van windturbines. De gekozen beschrijving van het geluidskarakter bleek te correleren met de ervaren hinder.

In het Nederlandse onderzoek had 14% van de respondenten economisch belang bij één of meer windturbines. Deze respondenten woonden gemiddeld dicht bij de windturbines en werden dan ook aan hogere geluidniveaus blootgesteld. Zij hoorden de windturbines even goed als andere respondenten bij hetzelfde geluidniveau en gebruikten dezelfde termen om het geluid te karakteriseren. Desondanks rapporteerden ze vrijwel geen hinder. De groepen verschilden onderling wel: de respondenten met een economisch belang waren gemiddeld vaker man, minder oud, beter opgeleid, werkten vaker in/bij huis, hadden minder vaak chronische gezondheidsklachten en hadden minder problemen met inslapen. Omdat het voor een belangrijk deel om ondernemende boeren gaat, karakteriseren de onderzoekers deze groep als 'healthy farmers'. De afwezigheid van hinder hangt samen met een positievere kijk op windturbines in het landschap en kan mogelijk ook verklaard worden door de financiële voordelen en door de mogelijkheid controle uit te oefenen op de windturbine(s) (11).

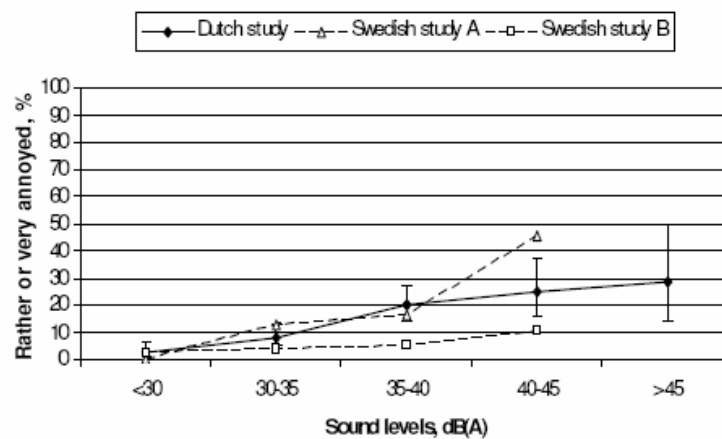
In figuur 2 is voor de Zweedse en Nederlandse onderzoeken het percentage respondenten weergegeven dat het windturbinegeluid opmerkte bij het aangegeven geluidniveau. Figuur 3 geeft het percentage respondenten weer dat door dat geluidniveau matig of ernstig werd gehinderd. Het geluidniveau is het



geluid op de gevel van de woningen van respondenten terwijl de windturbines draaien bij een windsnelheid van 8 m/s (in een neutrale atmosfeer). 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 de Zweedse onderzoeken geen respondenten waren met economische belangen in windturbines zijn deze in de Nederlandse data in deze figuren eveneens buiten beschouwing gelaten.



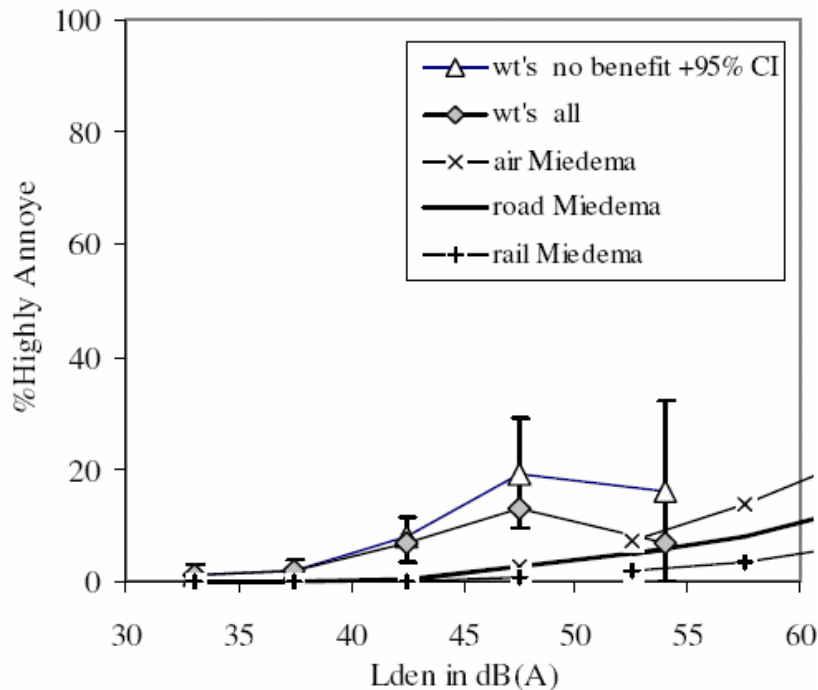
Figuur 2 Percentage respondenten dat geluid van windturbines bij een bepaald geluidniveau opmerkte (geluidniveau bij 8 m/s windsnelheid op 10 m, neutrale atmosfeer) (11)



Figuur 3 Percentage respondenten dat matige of ernstige hinder ondervond van windturbines bij een bepaald geluidniveau (geluidniveau bij 8 m/s windsnelheid op 10 m, neutrale atmosfeer) (11)

Windturbines blijken qua geluid hinderlijker dan andere veel voorkomende bronnen als vliegtuigen en wegverkeer (11). Om dat te constateren is het nodig alle geluidniveaus op dezelfde manier uit te drukken. Dat kan door van alle bronnen het geluidniveau te berekenen volgens de Europese geluidmaat Lden (zie 4.2.1). In figuur 4 is de in het Nederlandse onderzoek geconstateerde geluidhinder uitgezet tegen het geluidniveau Lden, zowel voor alle respondenten (“wt’s all”) als voor de respondenten zonder economisch voordeel (“wt’s no benefit”). Bij deze laatste groep is ook het 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven, waaruit blijkt dat de afname in ernstige hinder boven 50 dB(A) niet significant is. Ter vergelijking is het percentage ernstig gehinderden van vlieg-, weg-, en treinverkeer

opgenomen (afkomstig uit onderzoek van Miedema, zie verder (11)). Uit de figuur blijkt dat er bij een Lden vanaf ca. 40 dB(A) een groter percentage mensen ernstige hinder ondervindt van windturbines dan van de verschillende vormen van verkeer.



Figuur 4 Vergelijking percentage ernstig gehinderden door windturbines, vlieg-, weg-, en treinverkeer uitgezet tegen het geluidniveau Lden (11)

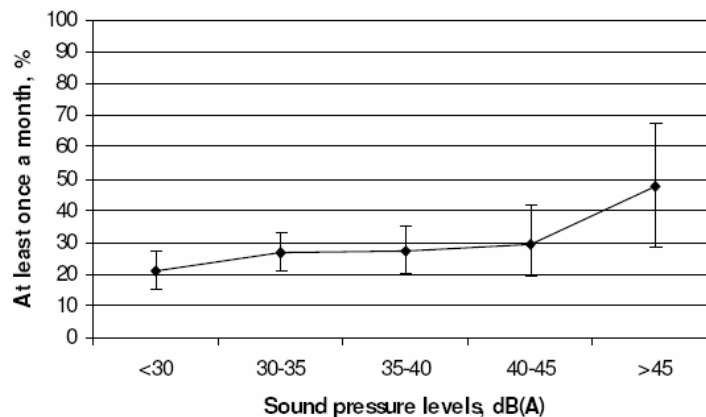
Op grond van de eigenschappen van het geluid zijn er verschillende verklaringen mogelijk waarom windturbines relatief hinderlijk zijn (11). Ten eerste blijkt het zoevende karakter significant samen te hangen met de hinder. Ook verschilt de verdeling van de geluidsfrequenties (het geluidsspectrum) nogal van dat van wegverkeer (minder met vliegverkeer). Wat vermoedelijk ook een rol speelt is dat gemiddeld genomen het geluid van verkeer 's avonds afneemt terwijl het bij hoge windturbines gelijk blijft of zelfs toeneemt. Mogelijk spelen ook andere niet-akoestische factoren een rol, zoals de onvoorspelbaarheid van windturbinegeluid door variaties in de wind, angst voor afbrekende delen of de samenhang met de visuele invloed. Tenslotte is wellicht ook de vraagstelling van invloed geweest: bij de windturbines betrof de vraag de direct buiten de woning ervaren hinder, bij de overige onderzoeken is niet expliciet naar beleving binnen- of buitenshuis gevraagd.

#### *Uitkomsten voor slaapverstoring*

In het Nederlandse onderzoek werd geconstateerd dat het geluid van windturbines geen invloed had op problemen met in slaap vallen (11). Mensen die problemen hadden met in slaap vallen zijn vaak oudere en vrouwelijke respondenten en respondenten die geen economische voordelen hadden van windturbines.

In die gevallen waarin na het inslapen de slaap werd verstoord door een geluid bleek dat 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. Dit is in figuur 5 te zien voor de gehinderden zonder economische voordelen. De toename in verstoorde slaap (tenminste eens per maand 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 m hoogte in een neutrale atmosfeer).



Figuur 5 Percentage respondenten zonder economische voordelen dat minstens eens per maand wakker wordt door een geluid, uitgezet tegen het geluidniveau op de woning tengevolge van windturbines (11)

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 (19). Er wordt dan vanuit gegaan dat de gevel het geluid met 15 dB(A) dempt. De drempelwaarde voor slaapverstoring ligt daarom op 30 dB(A) in de slaapkamer. In een heel stille omgeving zou dat nog bij lagere niveaus kunnen zijn. Als de geluidisolatie van de gevel minder is, wat bij een ver geopend raam mogelijk is, dan zal slaapverstoring kunnen optreden bij wat lagere waarden dan 45 dB(A) op de gevel.

#### 4.2.4 Effect van het karakter van windturbinegeluid

Er zijn verschillende directe biologische reacties op nachtelijk geluid mogelijk: versnelde hartslag, wakker worden, moeilijker inslapen en meer bewegingsonrust tijdens het slapen (20). Volgens de Gezondheidsraad is, bij een gegeven waarde van het gemiddelde geluidniveau 's nachts ( $L_{night}$ ), de meest ongunstige situatie niet als dat geluid het gevolg is van een paar luide geluidgebeurtenissen. De meest ongunstige situatie treedt op als alle gebeurtenissen vlak boven (ongeveer 5 dB) de drempel voor die reactie liggen. Nu kan een bepaald, over de nacht gemiddeld, geluidniveau het gevolg zijn van enkele hoge piekwaarden, maar het kan ook bestaan uit vele kleinere piekwaarden. In dat laatste geval doen zich dus veel gebeurtenissen voor en als deze boven de reactiedrempel liggen is dus de kans op een reactie het grootst.

Afzonderlijke geluidgebeurtenissen in windturbinegeluid kunnen bestaan uit de geluidpiekjes die zich voordoen als het geluid een zwiepend karakter krijgt en uit minder vaak voorkomende geluiden die optreden als bijvoorbeeld de turbine stopt of gaat kruien (draaien). In het eerste geval betreft het veel voorkomende en niet zeer luide geluidpieken. Deze geluiden liggen gemiddeld 5 dB boven de meer constante ruis die de windturbine uitstraalt (13). Als deze pieken in de slaapkamer net boven de drempelwaarde liggen komt dit overeen met de door de Gezondheidsraad geschetste 'worst case'.

In het (eerste) Zweedse onderzoek bleek dat de hinder samenhang met het karakter van het windturbinegeluid, het sterkst met zoeven of zwiepen (correlatiecoëfficiënt 0,72) (17). In een laboratoriumstudie werden geluidopnamen van windturbines gepresenteerd aan studenten die niet gewend waren aan windturbinegeluid. Hieruit bleken de geluiden die werden beschreven als ‘zoeven’, ‘kabbelen’ of ‘fluiten’ het meest hinderlijk. Het minst hinderlijke geluid was ‘knarsend’ en ‘laagfrequent’ (21). Tenslotte bleek bij interviews dat mensen zich geërgerd voelden doordat de windturbines hun leven binnendrongen, vooral door het zoevende geluid, de variërende schaduw en de voortdurende draaibeweging (22). In het Nederlandse onderzoek vond 75% van de respondenten die windturbinegeluid konden horen de beschrijving ‘zoeven / zwiepen’ de beste beschrijving van het geluid (11). In het Verenigd Koninkrijk is onderzoek uitgevoerd bij drie woningen waar klachten waren over het geluid van windturbines. Met metingen werd geconstateerd dat binnenshuis het ritmische karakter van het geluid waarneembaar was en dat niet het vermeende laagfrequente geluidkarakter de klachten veroorzaakte (23). Geconstateerd werd dat de ‘amplitude-modulatie’ (regelmatige sterktevariatie) van het geluid de oorzaak kon zijn van klachten. Een vervolgonderzoek werd geheel anders uitgevoerd, namelijk als enquête onder milieuambtenaren die met windparken te maken hadden gehad (24). De conclusie daarvan was dat er in enkele gevallen sprake leek te zijn van amplitude-gemoduleerd geluid, maar in de meeste gevallen niet.<sup>3</sup>

#### 4.2.5 Laagfrequent geluid

Met ‘laagfrequent’ wordt geluid bedoeld met frequenties beneden 100 à 200 hertz. Infrageluid maakt daar deel van uit en bestaat uit geluidgolven met frequenties beneden 20 tot 30 hertz. Laagfrequent geluid wordt, in vergelijking met ‘gewoon’ geluid, minder sterk gedempt en het is moeilijker af te schermen. Laagfrequent geluid is relatief slecht waarneembaar omdat de waarneemdrempel met afnemende frequentie sterk toeneemt. Het is daarom van groot belang bij laagfrequent geluid (en zeker bij infrageluid) om het niveau te vergelijken met de waarneemdrempel. Zie ook de GGD-Richtlijn Laagfrequent geluid (25).

Laagfrequent geluid is buiten van nature aanwezig, maar is meestal onhoorbaar omdat het onder de gehoordrempel blijft. Windturbines produceren zeker laagfrequent geluid. Uit een overzichtsonderzoek van Jakobsen blijkt dat het infrasone geluid van windturbines in gerapporteerde gevallen 10 dB of meer onder de waarneemdrempel ligt (26). Zoals hierboven genoemd was volgens Hayes niet het laagfrequente karakter de oorzaak van klachten, maar de amplitude-modulatie van het geluid (23). Alves-Pereira stelt dat laagfrequent geluid de oorzaak kan zijn van VAD (Vibro-Acoustic Disease) en meent dat dat ook bij een windturbine kan optreden (27). Ze geeft daarvoor geen bewijs, zoals het overschrijden van een drempelwaarde voor het effect of dat een concrete windturbine inderdaad als oorzaak kon worden aangemerkt. Op de conferentie waar zij deze stelling presenteerde werd de plausibiliteit van haar aannames sterk in twijfel getrokken. Wellicht kan het laagfrequente deel van het geluid van windturbines tot extra hinder leiden, maar er is nog weinig aanleiding om te menen dat dat een factor van belang is. Dat het door bewoners belangrijk wordt geacht zou kunnen liggen aan spraakverwarring. De laagfrequente (ca. 1 hertz) modulatie van het geluid van een windturbine, hetgeen ervaren wordt als hinderlijk fluctuerend geluid (zie ‘variëaties in geluidniveau’ in Bijlage 3), wordt soms verward met een lage geluidsfrequentie.

---

<sup>3</sup> De waarde van dit onderzoek is onduidelijk omdat voor de meeste milieu-ambtenaren deze typering vermoedelijk geen rol had gespeeld bij de beoordeling (volgens de officiële Britse richtlijn treedt ‘swishing’ (zoeven) niet in belangrijke mate op), en omdat de onderzoekers subjectieve interpretaties hadden van de gegeven antwoorden.

De laagfrequente geluidgolven en ook de geluidstoten in het ritme van het toerental kunnen ramen doen rammelen waardoor geluid van hogere frequenties (het gerammel) ontstaat. Gezien de laagfrequente geluidsniveaus rond windturbines en de ritmische geluidsterktevariaties is dat zeker mogelijk bij loszittende enkelglas ramen, maar minder waarschijnlijk bij goed gemonteerde dubbelglas ramen. Het is niet bekend of dit in Nederland is voorgekomen.

#### 4.2.6 Overige gezondheidseffecten

Uit het Nederlandse onderzoek blijkt dat er een significant verband is tussen hinder van windturbinegeluid en stress, problemen met inslapen en verstoring van slaap (11). Het is echter niet mogelijk vast te stellen of er een oorzakelijk verband is tussen stress en hinder. Door stress is een persoon eerder gehinderd, of wellicht andersom, als men hinder ondervindt voelt men meer stress. Er is daarnaast een significant verband geconstateerd tussen het geluidniveau van windturbines en diabetes en slaapverstoring. Het verband met diabetes kon niet worden verklaard.

Andere gezondheidseffecten, zoals verhoogde bloeddruk, ischemische hartziekten en gehoorverlies, zijn als gevolg van het geluid van windturbines niet te verwachten; bij verkeersgeluid treden deze effecten pas op bij aanzienlijk hogere geluidsniveaus (vanaf ca. 65 dB(A)).

### 4.3 Veiligheid

Windturbines worden geplaatst onder toezicht van bevoegde instanties en volgens veiligheidseisen. Een windturbine moet jaarlijks door een deskundige worden nagekeken op de goede werking. Indien er een gebrek is of wordt vermoed waarbij de veiligheid voor de omgeving geschaad zou kunnen worden, moet een turbine worden stilgezet (artikel 3.14 Activiteitenbesluit). Toch is er een kans dat er iets misgaat tijdens de levensduur van een windturbine (tenminste 20 jaar). Ijsafzetting op de rotorbladen kan na verloop van tijd naar beneden vallen, er kan mastbreuk optreden (bijvoorbeeld door blikseminslag) of de rotor zelf kan naar beneden vallen. Behalve onder de rotor is er ook buiten de rotordiameter een kans op ongelukken: een rotorblad kan breken en weggeslingerd worden. De maximale afstand waarover een afgebroken bladtip of een stuk ijs kan worden weggeslingerd is ongeveer 500 meter (uitgaande van windturbine met 80 m masthoogte, 40 m wielklemt, rotor draait met 18 omwentelingen per minuut).

De kans op zo'n ongeluk is echter klein. Uit de opgetreden voorvallen blijkt dat een voorval ongeveer eens per 500 turbinejaren optreedt. Dus bij een windpark met 10 turbines zal er statistisch eens per 50 jaar zo'n voorval zijn. De kans dat vervolgens een gebouw of installatie wordt getroffen is kleiner, want dan moet het afgebroken deel ook nog op dat gebouw of die installatie terecht komen en niet ergens anders. De kans dat een passerende persoon wordt getroffen is nog weer kleiner, omdat die persoon ook nog juist op de tijd van het voorval aanwezig moet zijn. De kans dat er wat getroffen wordt blijft echter aanwezig maar moet volgens overheidsbeleid voldoende klein zijn: het risico op overlijden van een individu door een mogelijk onveilige inrichting mag niet hoger zijn dan eens in de miljoen jaar.

Indien een turbine nabij snelwegen, spoorlijnen of gevaarlijke industriële installaties wordt geplaatst, stellen Rijkswaterstaat, de Nederlandse Spoorwegen en de centrale overheid vaak aanvullende veiligheidseisen. Er is door Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) een handboek ontwikkeld om per locatie de risico's van het plaatsen van een windturbine te beoordelen (28). Daarin worden de verschillende ongevallenscenario's (breken van een blad, afvallen van onderdelen of ijsafzetting etc.) bekeken en getoetst aan criteria voor het aanvaardbaar risico (29). Hierbij kan ook een vergelijking worden gemaakt tussen verschillende locaties die de gemeente op het oog heeft voor het plaatsen van windturbines. Ook kunnen maatregelen worden voorgesteld waardoor de risico's verminderen (voor een voorbeeld zie (30)).

## 5 Conclusie

De invloed die moderne, grote windturbines door hun formaat, uiterlijk en aantal op het landschap hebben, is een belangrijk onderwerp in vrijwel elk lokaal debat over de implementatie van windenergie. Als de windturbine of het windpark er is blijkt het geluid ervan een belangrijk hinderaspect. Het blijkt gekoppeld te zijn aan het visuele aspect. Mensen die de invloed van windturbines op het landschap negatief vinden en mensen die windturbines kunnen zien vanuit hun woning, ervaren, bij hetzelfde geluidniveau, meer hinder dan zij die de invloed niet negatief vinden of ze niet kunnen zien.

Het geluid van windturbines blijkt relatief hinderlijk. Geluid van windturbines zorgt, bij hetzelfde geluidniveau, voor meer hinder dan geluid van weg- en vliegverkeer. Dat is mogelijk het gevolg van het karakter van het geluid. De meeste omwonenden vinden zoeven of zwiepen hiervoor een juiste beschrijving. Ook het dagelijkse ritme is van invloed. Moderne, grote windturbines worden 's avonds en 's nachts gemiddeld genomen niet stiller, maar zelfs iets lawaaiiger, terwijl verkeerslawaaï 's avonds meestal wel afneemt. Wat verder een rol zou kunnen spelen bij de hinder is de onvoorspelbaarheid van het geluid (bijvoorbeeld voor de komende avond of nacht), de onmogelijkheid voor omwonenden daar wat aan te doen en de angst voor afbrekende delen. Bij bewoners die economisch voordeel van een of meer windturbines hebben, treedt echter nagenoeg geen hinder op.

Wat verstoring van de slaap door geluid betreft moet voorlopig worden geconcludeerd dat deze kan optreden bij geluidniveaus vanaf 45 dB(A). Verder onderzoek is nodig om deze waarde beter te bepalen. Andere van geluid bekende effecten op de gezondheid (verhoogde bloeddruk, ischemische hartziekten, gehoorverlies) zijn bij windturbines op grond van de toelaatbare geluidniveaus niet te verwachten.

## 6 Advisering door GGD'en

Bij de planning van windparken wordt niet altijd voldoende rekening gehouden met de hinder ervan voor omwonenden. Het is wenselijk dat lokaal betrokkenen meer invloed krijgen en dat de vrees voor een verslechterde leefomgeving serieuzer wordt genomen en niet afgedaan als NIMBY-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 Effecten op de leefomgeving

#### *Visuele aspecten*

Ten aanzien van visuele aspecten is zorgvuldige informatie nodig ten behoeve van besluitvorming:

- Inpassing in het landschap is een factor van groot belang, maar wordt in belangrijke mate door de visie op het landschap en de wensen en verwachtingen van de eigen leefomgeving bepaald. Een uitwisseling van visies kan hier verheldering brengen, maar niet noodzakelijkerwijs een oplossing.
- De slagschaduw van een windturbine kan berekend worden met een computerprogramma. In de Regeling algemene regels voor inrichtingen (art. 3.12) (zie Bijlage 2) staat aangegeven wat is toegestaan met betrekking tot slagschaduw van een turbine.
- Belangrijk is verder dat aandacht wordt besteed aan de geluidhinder en visuele hinder samen. De geluidhinder kan niet los worden gezien van de visuele hinder omdat beide percepties elkaar beïnvloeden.

#### *Geluid*

Windturbinegeluid blijkt relatief hinderlijk te zijn. Een goede afweging tot plaatsing van windturbines zou in ieder geval de onderstaande informatie moeten bevatten:

- Hoeveel hinder toelaatbaar wordt geacht wordt bepaald door de in de regelgeving verstrekte grenswaarden, waarbij grote windparken anders (kunnen) worden beoordeeld dan kleinere ( $\leq 9$  turbines of  $< 15$  MW). Deze waarden vormen de uitkomst van een afweging van verschillende factoren, waaronder volksgezondheid. Enige hinder kan dus door de wetgever toelaatbaar worden geacht. Afwijking van de grenswaarden moet worden beargumenteerd door het bevoegd gezag.
- Akoestisch onderzoek is vereist voor woningen binnen 300 meter van een windturbine (minder bij turbines met een rotordiameter  $\leq 50$  m). Maar wees ook alert op windturbines die op meer dan 300 meter afstand staan. Moderne, grote windturbines kunnen ook bij grotere afstanden het toelaatbare geluidniveau overschrijden.
- Bij berekening van het invallende geluidniveau bij woningen moet rekening worden gehouden met de reële atmosfeer. Dit houdt in dat (ook) de windsnelheid op rotorhoogte moet worden onderzocht omdat die de geluidproductie bepaalt.
- Het karakter van het geluid is mede bepalend 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. Op dit moment wordt met het karakter van het geluid geen rekening gehouden, maar dit zou bij de nieuwe beoordelingsmethode kunnen veranderen.

*Veiligheid*

De te plaatsen windturbine moet getoetst worden aan criteria voor het aanvaardbaar risico. Dit is uitgewerkt in het handboek van ECN (28).

## 6.2 Communicatie

Er is een groot draagvlak voor duurzame energie, maar dat draagvlak is niet vanzelfsprekend aanwezig voor elk plan in de eigen leefomgeving. Pas bij een concreet plan kunnen de voordelen van duurzame energie worden beoordeeld op concrete gevolgen voor de eigen omgeving. In het lokale debat is er weinig oprechte discussie over de verschillende visies die er leven op het gebied van windenergie en windturbines in het landschap. Dit draagt bij aan onbegrip over andere visies en polarisatie in de lokale debatten over nieuwe windparken. In die debatten moet uiteindelijk de nationale wens tot meer duurzame energie gewogen worden tegen de effecten op de eigen leefomgeving. Lokale betrokkenheid bij een windpark zorgt voor een groter draagvlak voor dat park en daardoor -vermoedelijk- tot minder hinder. In Bijlage 1 zijn aanbevelingen gegeven ten aanzien van dat debat. Deze zijn afkomstig uit een publicatie van Wolsink (4).

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 zowel voor 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;
- Voor betrokkenen die baat (economisch voordeel) hebben bij de plannen zou een hoger geluidniveau toelaatbaar kunnen zijn.

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 aankondigingen voor dergelijke plannen in de gaten te houden. Dit zijn bijvoorbeeld aanvragen of meldingen in het kader van de Wet Milieubeheer. Ook kun je als GGD voordat dergelijke ontwikkelingen spelen al contacten leggen met verantwoordelijken binnen de gemeenten. 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.



## Referenties

- (1) VROM Dossier Windenergie (<http://www.vrom.nl/pagina.html?id=6984>), geraadpleegd 19-9-2008
- (2) CBS. Duurzame energie in Nederland 2006. Centraal Bureau voor Statistiek, 2007
- (3) WSH. Overzicht per provincie dd. 15-7-2008 op [home.wxs.nl/~windsh/statsnl.html](http://home.wxs.nl/~windsh/statsnl.html), geraadpleegd 17-9-2008
- (4) Wolsink M. Maatschappelijke acceptatie van windenergie; Houdingen En Oordelen Van De Bevolking. Thesis Publishers, Amsterdam, 1990
- (5) van As M, Duijn M, Ellen GJ, Pot M, Puylaert H, Werksma H. Wind gewogen - Tussenevaluatie BLOW 2e (herziene) druk. TNO Bouw en Ondergrond, rapport EPS 2005-10, 2005
- (6) Breukers SC. Changing institutional landscapes for implementing wind power. Proefschrift Universiteit van Amsterdam, 2007
- (7) Bosch & van Rijn. Projectenboek Windenergie - Analyse van windenergieprojecten in voorbereiding. Eindrapport 27 juni 2008, Utrecht, 2008
- (8) Elsman-Domburg MG. GGD-Richtlijn Risicocommunicatie, 2006
- (9) Schöne MB. Windturbines in het landschap. Alterra, rapport 1501, Wageningen, 2007
- (10) Landscape Institute and Institute of Environmental Management and Assessment (IEMA). Guidelines for landscape and visual impact assessment. Spon Press, Londen, 2002
- (11) van den Berg F, Pedersen E, Bouma J, Bakker R. Project WINDFARMperception – Visual and acoustic impact of wind turbine farms on residents. Final report, Universiteit Groningen, UMCG en Universiteit Göteborg, 2008
- (12) Activiteitenbesluit (officieel 'Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer'). Besluit van 19 oktober 2007, nr. 07.001133, 2007
- (13) van den Berg GP. 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
- (14) Wolsink M, Sprengers M, Keuper A, Pedersen TH, Westra CA. Annoyance from wind turbine noise on sixteen sites in three countries. Proceedings of European Community Wind Energy Conference, 8–12 March, Lübeck, Travemünde, 1993: 273–276
- (15) Wolsink M, Sprengers M. Windturbine noise. a new environmental threat? Proceedings of the Sixth International Congress on the Biological Effects of Noise, ICBEN, Nice, France, Vol. 2, 1993: 235–238
- (16) Pedersen TH, Nielsen KS. Genvirkning af støj fra vindmøller (Annoyance by noise from wind turbines), Report 150, DELTA Acoustic & Vibration, Lydtekniske Institut, Kopenhagen, Denemarken, 1994
- (17) Pedersen E, Persson Wayne K. Perception and Annoyance due to Wind Turbine Noise – a Dose-Response Relationship. J. Acoust. Soc. Am **116** (6) 2004: 3460-3470
- (18) Pedersen E, Persson Wayne K. Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and wellbeing in different living environments. Occup Environm Med, 64 2007: 480 – 486
- (19) WHO. Guidelines for Community Noise, World Health Organization (Geneva) and Institute of Environmental Epidemiology (Singapore), 2000
- (20) Gezondheidsraad. Over de invloed van geluid op de slaap en de gezondheid, Advies 2004/14, Gezondheidsraad, Den Haag, 2004
- (21) Persson Wayne K, Öhström E. Psycho-acoustic characters of relevance for annoyance of wind turbine noise. J. Sound Vib. 250 (1) 2002: 65-73

- (22) Pedersen E, Persson Waye K, Hallberg LRM. Living Close to Wind Turbines–A Qualitative Approach to a Deeper Understanding. proc. Internoise2004, Prague 2004
- (23) Hayes M. The measurement of low frequency noise at three UK wind farms. Hayes McKenzie Partnership Ltd en Department of Transport and Industry, Groot Britannië, 2006
- (24) Moorhouse A, Hayes M, von Hünerbein S, Piper B, Adams M. Research into Aerodynamic Modulation of Wind Turbine Noise. Final report, University of Salford en Department for Business, Enterprise & Regulatory Reform, Groot Britannië, 2007
- (25) GGD-Richtlijn Laag Frequent Geluid, 2002
- (26) Jakobsen J. Infrasound emission from Windturbines. Journ Low Freq Noise Vib Active Control **24** (3) 2005: 145-155
- (27) Alves-Pereira M, Castelo Branco NAA. In-home wind turbine noise is conducive to Vibroacoustic Disease. Proceedings of the 2nd International Conference on Wind Turbine Noise, Lyon, 2007
- (28) Braam H, van Mulekom GJ, Smit RW. Handboek risicozonering windturbines, 2<sup>e</sup> geactualiseerde versie. ECN en SenterNovem, 2005
- (29) Braam H, Rademakers LWHM. Guidelines on the environmental risk of wind turbines in the Netherlands. ECN, publicatie ECN-RX--04-013, 2004
- (30) Braam H, Souillie PP. Risico-analyse windturbine nabij de Staart te Houten. ECN, publicatie CX-02-100, 2002

## Dankwoord

Dit informatieblad is een geactualiseerde versie van het eerdere informatieblad 'Windturbines; invloed op de omgeving' van het Landelijk Centrum Medische Milieukunde uit 2006. We willen de auteurs van dat blad bedanken voor het voorwerk dat ze hebben gedaan: Tiny Habets (GGD Rotterdam-Rijnmond) en Annelike Dusseldorp (centrum Gezondheid en Milieu (RIVM)). Zij hebben tevens een conceptversie van dit informatieblad van commentaar voorzien. Ook Aletta Zijlstra, Jaap de Wolf (beiden GGD Regio IJssel-Vecht) en Nelly van Brederode (centrum Gezondheid en Milieu (RIVM)) willen we voor hun commentaar bedanken.

## Bijlage 1 Aanbevelingen voor omgang met omwonenden

Hieronder zijn aanbevelingen opgenomen voor omgang met omwonenden bij plaatsing van windturbines. De aanbevelingen zijn overgenomen uit “Maatschappelijke acceptatie van windenergie; Houdingen en oordelen van de bevolking” van M. Wolsink (Thesis Publishers, Amsterdam, 1990).

“Puntsgewijs zal in deze paragraaf een reeks aanbevelingen worden gedaan. Ze kunnen gezien worden als samenvatting van de consequenties die uit de voorgaande paragrafen zijn te trekken. (.....).

Uitgangspunt bij de aanbevelingen is de wenselijkheid van een ruime toepassing van windenergie.

- Met de voorkeur voor windenergie van de bevolking moet zorgvuldig worden omgesprongen.
- De steun voor windenergie moet niet gebruuskeerd worden door of misbruikt worden voor het doordrukken van plannen op slecht gekozen locaties.
- Initiatiefnemers moeten inzien dat algemene steun voor het gebruik van windenergie niet betekent dat men akkoord gaat met ieder plan om windturbines te bouwen.
- Een initiatiefnemer moet er niet van uitgaan dat zijn project niet voor verbetering vatbaar is.
- Eventuele tegenstand moet niet als uiting van cynisme (NIMBY-syndroom) worden gezien. Tegenstand moet ook niet in die termen beschreven worden, dat verhardt de oppositie slechts.
- Opposanten zijn niet irrationeel of slecht geïnformeerd en moeten ook niet als zodanig worden bejegend.
- Het idee dat tegenstand voortkomt uit onwetendheid is een misvatting. Informatie rond een project is belangrijk, maar voorlichting is geen probaat middel om oppositie weg te nemen.
- Argumenten van opposanten tegen een project moeten in principe serieus worden genomen.
- Het inzicht dat windenergie bijdraagt aan een beter milieu bestaat al bij een groot deel van de bevolking. Het is voor de steun aan een project echter alleen van indirect belang en voorlichting hierover heeft daarom weinig invloed op de oppositie.
- De voorlichting aan de bevolking met de meeste overtuigingskracht bestaat uit goed gesitueerde, goed beheerde en onderhouden, en dus draaiende turbines.
- Over een aantal aspecten van windturbines bestaat onzekerheid. Als initiatiefnemers die onzekerheden niet zelfstandig aangeven, wordt alle informatie die zij verstrekken gewantrouwd.
- De Decide-Announce-Defend (DAD) strategie heeft grote risico's. De strategie mislukt snel; zo'n mislukking is definitief en belast nieuwe pogingen op dezelfde locatie.
- Aantasting van het landschap, het belangrijkste bezwaar tegen turbines, is qua aard moeilijk te compenseren. Omdat de NIMBY-attitude zo'n beperkte verklaring is voor tegenstand, zal de compensatiestrategie bij een klein aantal tegenstanders werken.
- Compensatie van werkelijke schade kan in bepaalde gevallen zinvol zijn. Deze moet niet pas aangeboden worden na gebleken verzet, want dan lijkt het op omkoping.
- De grootste kans op succes bij windenergieprojecten bestaat bij een strategie waarin participatie in de besluitvorming voor alle betrokken partijen mogelijk is.
- Voor besluitvorming over windenergieprojecten moet rekening gehouden worden met de normale duur van procedures. Initiatiefnemers moeten inzien dat betrokkenen minstens de mogelijkheid hebben om met formele procedures de besluitvorming te vertragen en dat ze dat ook altijd zullen doen als de DAD-strategie wordt toegepast.
- Bezwaar- en beroepsmogelijkheden zijn bedoeld voor zorgvuldige besluitvorming. Deze zorgvuldigheid is bij windturbines niet minder noodzakelijk.
- Bij plannen die binnen een jaar gerealiseerd moeten worden, voelen vele betrokkenen zich onder druk gezet. Met het beschikbaar krijgen van locaties moet daarom veel eerder begonnen worden dan een jaar voor de gewenste in werking stelling.

- Wie negatieve publiciteit via de pers wil vermijden, moet zorgen dat over een windenergieproject geen langdurige politieke strijd ontstaat. Als bij voorbeeld een gemeente niet meewerkt, is het beter te stoppen, want doorgaan levert alleen negatieve beeldvorming op.”

## Bijlage 2 Selectie van regelgeving die op windturbines betrekking heeft

### **Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer, 19 oktober 2007, nr. 07.001133, 2007**

Onderstaande teksten zijn een selectie uit het besluit. Het gaat om alle artikelen die het woord windturbine bevatten.

#### Hoofdstuk 1 Algemeen

##### § 1.1.2 Reikwijdte en andere procedurele bepalingen

##### Afdeling 1.2 Melding

##### Artikel 1.11

(.....)

3. Bij de melding, bedoeld in artikel 1.10, wordt een rapport van een akoestisch onderzoek gevoegd indien er sprake is van het omzetten van windenergie in elektrische energie in één of meer windturbines en de afstand van een windturbine tot het dichtstbijzijnde gevoelige object kleiner is dan.

- a. 100 meter voor een windturbine met een rotordiameter vanaf 20 meter en tot 30 meter;
- b. 200 meter voor een windturbine met een rotordiameter vanaf 30 meter en tot 50 meter; en
- c. 300 meter voor een windturbine met een rotordiameter vanaf 50 meter.

4. Het bevoegd gezag kan besluiten dat het overleggen van een rapport van een akoestisch onderzoek als bedoeld in het eerste, tweede, of derde lid niet is vereist, indien aannemelijk is dat het langtijdgemiddelde beoordelingsniveau (L<sub>Ar</sub>,L<sub>T</sub>) en de maximale geluidniveaus (L<sub>Amax</sub>) veroorzaakt door de inrichting niet meer bedragen dan de waarden, bedoeld in de artikelen 2.17, 2.19 dan wel 2.20.

5. (...)

6. Het bevoegd gezag kan binnen vier weken na ontvangst van de melding, bedoeld in artikel 1.10, besluiten dat een rapport van een akoestisch onderzoek wordt overgelegd indien de inrichting is gelegen op een gezoneerd industrieterrein en een rapport van een akoestisch onderzoek noodzakelijk is voor zonebeheer.

7. Uit het rapport van een akoestisch onderzoek blijkt op grond van verrichte geluidsmetingen of geluidsberekeningen of aan de waarden, bedoeld in de artikelen 2.17 en 2.19 dan wel de op grond van artikel 2.20 door het bevoegd gezag vastgestelde waarde kan worden voldaan. In het rapport wordt aangegeven welke voorzieningen worden getroffen om te voorkomen dat de in de eerste volzin bedoelde waarden worden overschreden.

8. Het akoestisch onderzoek wordt uitgevoerd overeenkomstig de Handleiding meten en rekenen industrielawaai.

#### Hoofdstuk 3 Bepalingen met betrekking tot activiteiten in inrichtingen, tevens geldend voor inrichtingen type C

##### § 3.2.3 In werking hebben van een windturbine

##### Artikel 3.13

Deze paragraaf is van toepassing op.

- a. windturbines met een rotordiameter groter dan twee meter;
- b. windturbines die elk afzonderlijk een vaste verbinding hebben met de bodem of de waterbodem in de vorm van een mast;
- c. windturbines die zijn voorzien van een horizontale draaias van de rotor;
- d. windturbines met een gezamenlijk vermogen kleiner dan 15 megawatt;
- e. inrichtingen met maximaal negen windturbines; en
- f. windturbines waarbij de afstand tussen de afzonderlijke windturbine en de dichtstbijzijnde woning of andere gevoelige objecten, ten minste viermaal de ashoogte bedraagt.

### Artikel 3.14

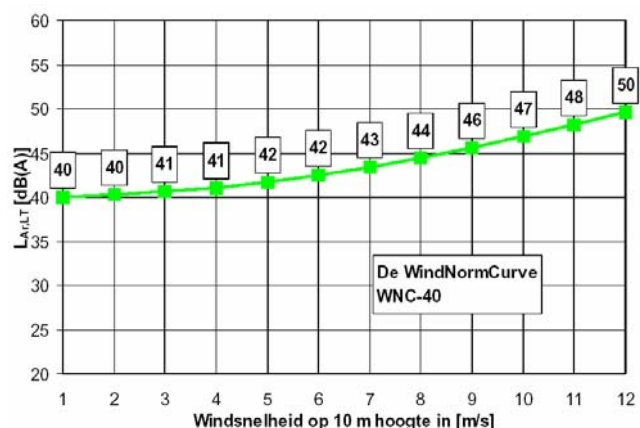
1. Een windturbine wordt ten minste eenmaal per kalenderjaar beoordeeld op de noodzakelijke beveiligingen, onderhoud en reparaties door een deskundige op het gebied van windturbines.
2. Indien wordt geconstateerd of indien het redelijk vermoeden bestaat dat een onderdeel of onderdelen van de windturbine een gebrek bezitten, waardoor de veiligheid voor de omgeving in het geding is, wordt de windturbine onmiddellijk buiten bedrijf gesteld en het bevoegd gezag daaromtrent geïnformeerd. De windturbine wordt eerst weer in bedrijf genomen nadat alle gebreken zijn hersteld.
3. Indien een windturbine als gevolg van het in werking treden van een beveiliging buiten bedrijf is gesteld, wordt deze pas weer in werking gesteld nadat de oorzaak van het buiten werking stellen is opgeheven.
4. Bij het inwerking hebben van een windturbine worden ten behoeve van het voorkomen of beperken van slagschaduw en lichtschittering de bij ministeriële regeling te stellen maatregelen toegepast.
5. Een windturbine voldoet ten behoeve van het voorkomen van risico's voor de omgeving en ongewone voorvallen, dan wel voor zover dat niet mogelijk is het zoveel mogelijk beperken van de risico's voor de omgeving en de kans dat ongewone voorvallen zich voordoen en de gevolgen hiervan aan de bij ministeriële regeling te stellen eisen.

### Artikel 3.15

1. Metingen van de geluidemissie ter bepaling van de bronsterkte van een windturbine worden uitgevoerd volgens NEN-EN-IEC 61400-11 Generatorsystemen voor windturbines- Deel 11 of een naar het oordeel van het bevoegd gezag daaraan ten minste gelijkwaardige meetmethode.
2. Metingen worden uitgevoerd bij een gemiddelde windsnelheid van 7 meter per seconde waarbij een maximale afwijking is toegestaan van plus of min 2 meter per seconde. De bronsterktespectra worden bepaald in octaafbanden.
3. Metingen ten behoeve van de bepaling van het langtijdgemiddeld beoordelingsniveau ( $L_{A,r},L_T$ ) op de gevel van een gevoelig gebouw of op de erfrens van een gevoelig terrein en de beoordeling daarvan, worden uitgevoerd met inachtneming van de windnormcurve, bedoeld in grafiek 3.15.
4. Een meting als bedoeld in het eerste lid kan indien nodig op een van NEN-EN-IEC 61400-11 afwijkend meetpunt worden uitgevoerd indien het bevoegd gezag daarmee instemt.
5. Tijdens het uitvoeren van de metingen overeenkomstig het eerste lid wordt gelijktijdig de ter plaatse heersende windsnelheid gemeten op een hoogte van ten minste 10 meter boven het maaiveld. Indien naar het oordeel van het bevoegd gezag een meethoogte van 10 meter redelijkerwijs niet kan worden gerealiseerd, kan het bevoegd gezag bij maatwerkvoorschrift de eerste zin niet van toepassing verklaren en een andere meethoogte aanwijzen.
6. Indien voor de inrichting een andere norm  $L_{A,r},L_T$  dan 40 dB(A) in de nachtperiode is vastgesteld, wordt de windnormcurve, bedoeld in grafiek 3.15, met deze hogere of lagere waarde in overeenstemming gebracht.

### Grafiek 3.15 Windnormcurve (WNC)

Zie figuur hiernaast



### **Bijlage 1 Activiteitenbesluit. Lijst van vergunningplichtige inrichtingen**

De in artikel 8.1, eerste lid van de wet opgenomen verboden gelden voor de volgende categorieën van inrichtingen.(.....)

Inrichtingen voor.

- het omzetten van windenergie in mechanische, elektrische of thermische energie, waarbij
  - de windturbines niet elk afzonderlijk een vaste verbinding hebben met de
  - bodem of waterbodem in de vorm van een mast;
  - de windturbines geen horizontale draaias van de rotor hebben, of
  - de afstand tussen een afzonderlijke windturbine en het dichtstbijzijnde
  - gevoelige object kleiner is dan viermaal de ashoogte;
- het omzetten van hydrostatische energie in elektrische of thermische energie;
- het omzetten van elektrische energie in elektromagnetische stralingsenergie met een vermogen van meer dan 4 kilowatt;
- het omzetten van thermische energie in elektrische energie;

### **Ter aanvulling. Artikel 8.1 Wet Milieubeheer**

1. Het is verboden zonder daartoe verleende vergunning een inrichting waartoe een gpbv-installatie behoort.

- a. op te richten;
- b. te veranderen of de werking daarvan te veranderen;
- c. in werking te hebben.

2. Bij algemene maatregel van bestuur kunnen andere categorieën van inrichtingen worden aangewezen, waarvoor de in het eerste lid bedoelde verboden gelden.

### **Passages uit de Regeling algemene regels voor inrichtingen**

Regeling van 9 november 2007, nr. DJZ 2007104180 houdende algemene regels voor inrichtingen milieubeheer

#### § 3.2.3 In werking hebben van een windturbine

##### Artikel 3.11

Deze paragraaf is van toepassing op windturbines als bedoeld in artikel 3.13 van het besluit.

##### Artikel 3.12

1. Ten behoeve van het voorkomen of beperken van slagschaduw en lichtschildering is de windturbine voorzien van een automatische stilstandvoorziening die de windturbine afschakelt indien slagschaduw optreedt ter plaatse van gevoelige objecten voor zover de afstand tussen de windturbine en de geluidgevoelige objecten minder dan 12 maal de rotordiameter bedraagt en gemiddeld meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten per dag slagschaduw kan optreden en voor zover zich in de door de slagschaduw getroffen uitwendige scheidingsconstructie van geluidgevoelige gebouwen of woonwagens ramen bevinden. De afstand geldt van een punt op ashoogte van de windturbine tot de gevel van het geluidgevoelige object.

2. Het bevoegd gezag kan met betrekking tot het in werking hebben van een windturbine aanvullend maatwerkvoorschriften stellen ten behoeve van het voorkomen of beperken van hinder door slagschaduw indien het eerste lid in een specifiek geval niet toereikend is.

##### Artikel 3.13

1. Ten behoeve van het voorkomen of beperken van slagschaduw en lichtschildering wordt lichtschildering bij het in werking hebben van een windturbine zoveel mogelijk voorkomen of



beperkt door toepassing van niet reflecterende materialen of coatinglagen op de betreffende onderdelen. Het meten van reflectiewaarden vindt plaats overeenkomstig NEN-EN-ISO 2813 of een daaraan ten minste gelijkwaardige meetmethode.

2. Het bevoegd gezag kan met betrekking tot het in werking hebben van een windturbine aanvullend maatwerkvoorschriften stellen ten behoeve van het voorkomen of beperken van hinder door lichtschildering indien het eerste lid in een specifiek geval niet toereikend is.

#### Artikel 3.14

1. Ten behoeve van het voorkomen van risico's voor de omgeving en ongewone voorvallen, dan wel voor zover dat niet mogelijk is het zoveel mogelijk beperken van de risico's voor de omgeving en de kans dat ongewone voorvallen zich voordoen en de gevolgen hiervan voldoet een windturbine aan de veiligheidseisen opgenomen in.

a. NEN-EN-IEC 61400-2;

b. NVN 11400-0.

2. Aan het eerste lid wordt voldaan indien voor de windturbine een certificaat is afgegeven door een certificerende instantie waaruit blijkt dat de windturbine voldoet aan deze regels. De certificerende instantie is geaccrediteerd voor het afgeven van certificaten, overeenkomstig de normen bedoeld in het eerste lid bij de Raad voor Accreditatie of bij een accrediterende instantie die erkend is door een andere staat, aangesloten bij de Multilateral Agreement on European Accreditation of Certification.

## Bijlage 3 Beoordeling windturbinegeluid

### Algemene grenswaarden bedrijfsmatige activiteiten

Het Activiteitenbesluit geeft grenswaarden voor het geluidniveau op woningen als gevolg van bedrijfsmatige activiteiten. Als standaardgrenswaarde voor het over lange duur gemiddelde geluidniveau op de gevel geldt.

- 50 dB(A) voor de dagperiode (07.00 – 19.00 uur);
- 45 dB(A) voor de avondperiode (19.00 – 23.00 uur);
- 40 dB(A) voor de nachtperiode (23.00 – 07.00 uur).

Het bevoegd gezag –de gemeente- kan afwijken van deze waarden door het beargumenteerd stellen van een hogere of lagere eis ('maatwerkvoorschrift' als bedoeld in artikel 8.42 van de Wet milieubeheer).

### Beoordeling geluid windturbines

De geluidsproductie van windturbines is afhankelijk van de windsnelheid: hoe harder het waait, hoe meer geluid een windturbine maakt omdat de wieken sneller draaien. De veronderstelling (die later niet helemaal juist is gebleken; zie hieronder) was dat het achtergrondgeluid, o.a. het geruis van vegetatie, dan ook toe zou nemen. Daardoor wordt het windturbinegeluid (deels) 'gemaskeerd': het wordt minder goed of zelfs onhoorbaar. Daarom zou de grenswaarde bij hogere windsnelheden hoger kunnen liggen zonder dat het hogere geluidniveau tot meer hinder zou leiden. Bij windturbines zijn daarom grenswaarden gesteld die afhankelijk zijn van de windsnelheid. Bij lage windsnelheid (beneden 3 m/s, stil tot zwakke wind, windkracht 0 tot 1) is de grenswaarde in de nachtperiode gelijk aan de standaardwaarde van 40 dB(A). Bij toenemende windsnelheid neemt de grenswaarde toe tot 50 dB(A) bij 12 m/s (krachtige wind, windkracht 6). Het betreft hier windsnelheden op 10 m hoogte zoals ook het KNMI die normaliter gebruikt. De met de windsnelheid oplopende grenswaarden worden met de term windnormcurve aangeduid (zie bijlage 2, art. 3.15). Voor de dagperiode is geen overeenkomstige curve, maar geldt de standaard dagwaarde van 50 dB(A).

De beoordeling volgens de windnormcurve bestaat sinds de inwerkingtreding van het Besluit Voorzieningen en Installaties Milieubeheer (1-12-2001), dat inmiddels (per 1-1-2008) is opgevolgd door het Activiteitenbesluit. Tot december 2001 werd het geluid van windturbines getoetst aan de Circulaire Industrielawaai, waarbij het niveau van het heersende achtergrondgeluid bij een woning maatgevend was.

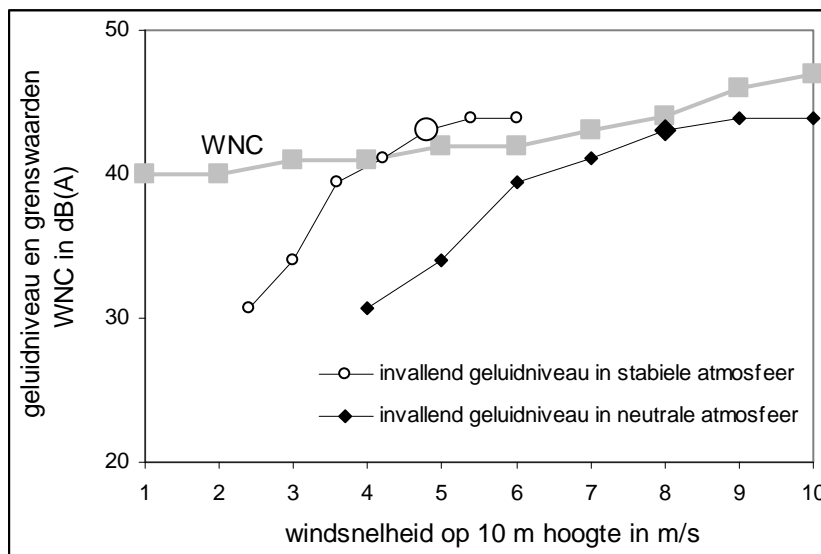
### Invloed atmosfeer

Bovengenoemde veronderstelling dat als een windturbine meer geluid gaat maken er ook meer achtergrondgeluid is, klopt niet altijd. De veronderstelling is namelijk gebaseerd op het verloop van de windsnelheid met de hoogte, het zogeheten windprofiel, in een neutrale atmosfeer. In een neutrale atmosfeer zijn thermische invloeden op de luchtverplaatsing (door verwarming of afkoeling van de bodem) van ondergeschikt belang. In dat geval hangt de windsnelheid op rotorhoogte eenduidig samen met de windsnelheid nabij de grond. In het algemeen echter wordt het windprofiel ook door de toestand van de atmosfeer bepaald. Rond zonsondergang begint, door afkoeling van de bodem, de lucht direct daarboven af te koelen en wordt daarbij min of meer ontkoppeld van de luchtlagen erboven. Dan zal, als het overdag waaide, de wind nabij de grond 's avonds gaan liggen. Op grotere hoogte blijft het echter doorwaaien, of gaat het - op hoogtes boven 60 tot 80 meter - zelfs harder waaien. De atmosfeer is dan in een stabiele toestand. Het gevolg is dat het achtergrondgeruis van vegetatie afneemt terwijl een hoge windturbine niet stiller wordt of zelfs meer geluid gaat produceren. Dit verschijnsel doet zich in de hele gematigde klimaatzone voor, waarbij het deel van de tijd dat de atmosfeer stabiel is afhangt

van geografische omstandigheden (zoals afstand tot zee, breedtegraad). In Nederland is de atmosfeer stabiel gedurende 10% tot 35% van de tijd (a). Overdag is de atmosfeer vaak instabiel, waarbij echter minder grote verschillen optreden ten opzichte van de neutrale atmosfeer. In een instabiele atmosfeer veroorzaken windturbines, bij een gegeven windsnelheid op 10 m hoogte, zelfs wat minder geluid dan verwacht in een neutrale atmosfeer.

### Gevolgen van stabiele atmosfeer voor geluidniveau windturbine(s)

Het is gebruikelijk dat uitgegaan wordt van een neutrale atmosfeer. In dat geval is boven vlak land met lage begroeiing (ruwheidshoogte 10 cm) de verhouding van de windsnelheden op 100 m en op 10 m hoogte gelijk aan 1,5. Bij een windsnelheid op 10 m hoogte van 7 m/s is dus de windsnelheid op 100 m hoogte 10,5 m/s: deze wind drijft de rotor aan en bepaalt daarmee de geluidproductie van de turbine. In een stabiele atmosfeer echter gaat dezelfde windsnelheid van 10,5 m/s op 100 m hoogte gepaard met lagere windsnelheden nabij de grond. In een stabiele atmosfeer bedraagt dan de windsnelheid op 10 m hoogte ca. 4 m/s (dit hangt af van de mate van stabiliteit). Dezelfde geluidproductie komt dan dus bij een lagere 10-m windsnelheid voor, hetgeen in figuur 6 is geïllustreerd voor een Enercon E-70 van 98 m ashoogte en een maximaal elektrisch vermogen van 2,3 MW. Uit het figuur blijkt dat het geluidniveau, berekend voor een punt op 300 m afstand, op zichzelf niet verandert, maar door de invloed van de stabiele atmosfeer bij een lagere 10-m windsnelheid voorkomt. Het gevolg is dat het geluidniveau boven de grenswaarde kan komen liggen.



Figuur 6 Geluidniveau op 300 m van een Enercon E-70 windturbine in een neutrale en stabiele atmosfeer. Bij de vergrote punten is de windsnelheid op ashoogte (98 m) in beide gevallen 10,5 m/s, maar is de windsnelheid op 10 m hoogte in een stabiele atmosfeer aanmerkelijk lager dan in een neutrale atmosfeer.

### Wijziging regelgeving

Als gevolg van het bovenstaande worden de geluidniveaus bij omwonenden van windparken niet juist berekend, met name 's nachts bij windsnelheden tot 6 m/s. Dat is, binnen de bestaande wetgeving, wel mogelijk mits juiste aannames over het windprofiel worden gebruikt. Aanbevelingen daarvoor (b,C) zijn door de bedrijfstak niet overgenomen en door de overheid niet afgedwongen. Er wordt sinds medio 2008 gewerkt aan een aanpassing van de wetgeving welke op zijn vroegst per 1 januari 2010 kan worden gerealiseerd. Daarbij wordt de huidige beoordelingswijze verlaten en wordt het geluidniveau beoordeeld volgens de Europese dosismaat Lden. Het Lden is het gemiddelde geluidniveau over dag,

avond en nacht met inbegrip van een toeslag van 5 dB voor de avond en 10 dB voor de nacht (omdat de gevoeligheid voor geluid 's avonds en vooral 's nachts groter is dan overdag). De daarbij te hanteren grenswaarde is bij het schrijven van deze tekst (oktober 2008) niet bekend. In antwoord op kamervragen schrijft de minister van VROM hierover: "Bij het vaststellen van het beschermingsniveau en bijbehorende planologische en bedrijfsmatige consequenties wordt rekening gehouden met de laatste inzichten op het gebied van dosis-effect relaties en met de noodzaak tot opwekking van duurzame energie. De noodzakelijke aanpassing betekent niet dat er minder ruimte zal zijn voor windturbines, deze ruimte zal ongeveer gelijk blijven" (f).

### Variaties in geluidniveau

De oorzaak van periodieke variaties in het geluidniveau van windturbines is dat het door de wieken (vooral door de snel bewegende uiteinden) geproduceerde geluid varieert tijdens de omwenteling (d). Als de bladhoeken optimaal zijn ingesteld produceert een bladtip bovenin de rotor wat minder en onderin de rotor wat meer geluid dan gemiddeld over de rotor. Onderin komt daar nog wat extra bij als het blad de mast passeert. Dit treedt het sterkst op in een (zeer) stabiele atmosfeer, wanneer er grote windsnelheidsverschillen zijn tussen verschillende hoogten. Het gevolg is een regelmatige variatie in het geluid die door mensen als fluctuerend geluid wordt ervaren<sup>4</sup>. Dit kan nog sterker worden als de variaties in het geluid van verschillende windturbines bij een waarnemer samenvallen. Bij frequenties van 1 tot 4 hertz zijn mensen het meest gevoelig voor variaties in de geluidsterkte, vermoedelijk omdat dat overeenkomt met luidheidsvariaties in de spraak. Bij moderne windturbines komt een dergelijke frequentie vaak voor (n.b. het gaat om de frequentie waarmee de fluctuaties of pulsen elkaar opvolgen, niet om een geluidfrequentie).

Een geluid dat opvallend is zal eerder tot hinder kan leiden dan een minder opvallend geluid, zeker als het negatief gewaardeerd wordt. In de Nederlandse regelgeving wordt bij tonaal en bij impulsief geluid daarom bij het vastgestelde geluidniveau een toeslag van 5 dB opgeteld alvorens het geluid wordt beoordeeld. In andere landen (bijvoorbeeld Groot Brittannië, Nieuw Zeeland) wordt zo'n toeslag ook gebruikt bij geluiden waarvan de sterkte regelmatig varieert (amplitude-modulatie).

### Schatting van hoeveelheid invallend geluid (immissieniveau)

Met een relatief simpele formule kan een schatting worden gemaakt van het immissiegeluidniveau (= niveau invallend geluid) tengevolge van een windturbine op afstand R (in meters) van het immissiepunt:

$$L_{imm} = L_w - 20 \cdot \log R - 9 - 0.005 \cdot R \text{ dB(A)}$$

waarin  $L_w$  de bronsterkte van de windturbine (bij een gegeven windsnelheid). Blijkens toepassing bij windparken heeft de schatting een nauwkeurigheid van ongeveer  $\pm 3$  dB (e). Bijvoorbeeld, een windturbine met een bronvermogen van 106 dB(A) zal op 500 meter afstand een geluidniveau veroorzaken van  $L_{imm} = 106 - 20 \cdot \log(500) - 9 - 0,005 \cdot 500 = 45$  dB(A) (n.b.:  $\log(500) = 2,48$ ). Bij meerdere turbines dient men de afzonderlijke geluidniveaus logaritmisch op te tellen. (N.B. het getal -9 in de formule blijkt een betere benadering te geven dan de gebruikelijke waarde van -8) (e).

### Referenties

- (a) van den Berg GP. Wind turbine power and sound in relation to atmospheric stability, Wind Energy 11 2008: 151-169
- (b) van den Berg GP. Windturbines. een verschil van dag en nacht. Geluid, maart 2004

---

<sup>4</sup> Zie ook voetnoot bij paragraaf 4.2

- (c) Brief van staatsecretaris VROM (PLBA van Geel) over Beoordeling geluidmetingen Natuurkundewinkel RUG bij De Lethé (gem. Bellingwedde), 2004
- (d) van den Berg GP. 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, 24 (1) 2005: 1-24
- (e) Pedersen E, Bouma J, Bakker R, van den Berg F. Project WINDFARMperception – Visual and acoustic impact of wind turbine farms on residents. Universiteit Groningen, UMCG en Universiteit Göteborg, 2008
- (f) Minister Cramer van VROM. Antwoorden op de schriftelijke vragen van het lid Jansen (SP) over geluidsproductie van hoge windturbines, brief met kenmerk RM2008050371 dd.13-6-2008

## **Bijlage 4 Meer informatie over windenergie**

- Beurskens J, van Kuik G. Alles in de wind - vragen en antwoorden over windenergie, Maastricht/Petten, 2004
- Deense Wind Industrie Associatie, over werking van windturbines: [www.windpower.org/en/core.htm](http://www.windpower.org/en/core.htm)
- Ministerie VROM, dossier windenergie: [www.vrom.nl/pagina.html?id=6984&term=windturbines](http://www.vrom.nl/pagina.html?id=6984&term=windturbines)
- Nationaal Kritisch Platform Windenergie: [www.nkpw.nl](http://www.nkpw.nl)
- Nederlandse Windenergie Associatie: [www.nwea.nl](http://www.nwea.nl)
- SenterNovem, informatie over windenergie: <http://windenergie.nl>
- Wind Service Holland, gegevens geplaatste windturbines: <http://home.wxs.nl/~windsh/>
- KNMI, over windsnelheden op hoogtes van moderne windturbines: [http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/nadere\\_toelichting\\_op\\_het\\_nachtelijk\\_windmaximum.pdf](http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/nadere_toelichting_op_het_nachtelijk_windmaximum.pdf)

**RIVM**

Rijksinstituut  
voor Volksgezondheid  
en Milieu

Postbus 1  
3720 BA Bilthoven  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)