

**29-07-2019**

# Windturbines en gezondheid

## Inleiding

Door Windpark Goyerbrug bv zijn plannen ontwikkeld voor een windpark met vier windturbines langs het Amsterdam-Rijnkanaal bij de Goyerbrug in de gemeente Houten. Door de gemeente Houten is in verband hiermee aan de GGD gevraagd om een overzicht te produceren van de actuele wetenschappelijke kennis over windturbines in relatie tot gezondheid.

## Samenvatting

Gezondheidseffecten van windturbines worden veroorzaakt door blootstelling aan windturbinegeluid en visuele aspecten, waaronder slagschaduw en het zicht hebben op windturbines. Trillingen, extreem laagfrequente elektromagnetische velden, radiofrequente straling en infrageluid spelen hierbij geen rol.

Slaapverstoring is een belangrijk en bekend effect van geluid van allerlei geluidbronnen. Slaapverstoring door geluid van windturbines is wetenschappelijk echter (nog) niet aangetoond.

Bovengenoemde visuele en auditieve stimuli kunnen wel aanleiding geven tot (ernstige) hinder. Wanneer mensen zich gehinderd voelen kan dit leiden tot een verminderd welbevinden, stress en vermoeidheid. Maar hinder kan op zichzelf ook als gezondheidseffect worden gezien.

Hinder wordt beïnvloed door contextuele factoren (zoals proces rond plaatsing, media aandacht, maatschappelijke acceptatie) en individuele factoren zoals geluidgevoeligheid en algemene houding ten opzichte van windturbines (positief/negatief). Onderzoek laat zien dat het mogelijk is dat sommige mensen al in de planfase van een windturbineproject hinder kunnen ervaren.

Voor andere dan bovengenoemd mechanisme (via hinder) voor de invloed van windturbines op gezondheid is geen bewijs.

## Geluid van windturbines

### Geluidsfrequenties die worden geproduceerd door windturbines

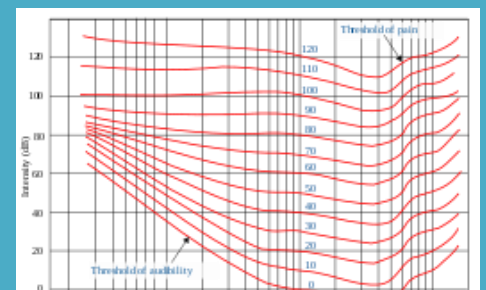
Het kennisbericht Geluid van windturbines Versie 1.0 Juni 2015 van de Pilot Kennisplatform Windenergie (Pilot Kennisplatform Windenergie, 2015) geeft een overzicht van de geluidsfrequenties die worden geproduceerd door windturbines:

De voornaamste bronnen van geluid van een windturbine hangen allemaal samen met de luchtstroming rond de wieken:

1. Het dunne laagje lucht dat direct langs het oppervlak van een wijk stroomt, wordt verderop steeds turbulenter (er ontstaan dan kleine wervelingen). Die turbulentie wekt vooral aan de scherpe achterkant of achterrand van de wieken geluid op: achterrandgeluid ('trailing edge noise'). Dit geluid is ruisachtig en het best hoorbare deel ligt in het frequentiegebied van ongeveer 400 tot 2000 Hz. Het niveau van dit geluid neemt sterk toe met de snelheid van de wijk: een verdubbeling van de snelheid geeft een 15 dB hoger geluidniveau. Daardoor ontstaat het achterrandgeluid vooral bij de wijkuiteinden (omdat die het snelst bewegen). De frequenties van dit geluid zijn vergelijkbaar met bandengeruis door autoverkeer.
2. Doordat de wind zelf turbulent is is er ook turbulentie aan de voorkant van een wijk. Die windgedragen turbulentie veroorzaakt geluid als deze het bladoppervlak treft: instroomgeluid ('inflow turbulence sound'). Dit geluid is ook ruisachtig, maar is meer laagfrequent met frequenties tot ongeveer 200 Hz. De frequenties van dit geluid zijn vergelijkbaar met motorgeluid door het wegverkeer. Dit geluid kan worden getypeerd als laag frequent geluid.
3. Bij een plotselinge zijwaartse beweging van de wijk, bijvoorbeeld door een plotselinge verandering in windsnelheid, ontstaat geluid waarvan de frequentie wordt bepaald door het toerental van de rotor: verdringingsgeluid ('thickness sound'). Het bevat vooral frequenties van ongeveer 1 tot 20 Hz. Dit geluid kan worden getypeerd als infrageluid. Storm en de branding van de zee zijn bekende natuurlijke bronnen van infrageluid. Een bekende antropogene bron zijn vliegtuigmotoren.

### Menselijk gehoor

Het menselijk gehoor kan geluid met frequenties van 20 Hz – 20 kHz waarnemen. De gevoeligheid voor frequenties lager dan 20 Hz (infrasoof of infrageluid) en frequenties hoger dan 20 kHz (ultrasoof geluid) is zeer laag. Laagfrequent geluid (LFG) is geluid met frequenties van < 100 à 200 Hz. Daarnaast is het van belang dat de gevoeligheid van het menselijk gehoor voor verschillende frequenties verschillend is. Lage en hoge tonen worden minder goed gehoord dan middentonen. Als geluiden harder worden wordt de hoorcurve vlakker (zie figuur hieronder); de verschillen in gevoeligheid voor verschillende frequenties worden kleiner. De veelgebruikte A weging (die ook bij de geluidsnormen voor windturbines wordt toegepast) benadert de isofoof van 40 foof. De referentie geluidsdruk van  $2 \times 10^{-5}$  Pa die gebruikt wordt voor de definitie van de decibel is gelijk gesteld aan de gehoordrempel bij 1000 Hz van een gemiddelde persoon. De gehoordrempel bij 1000 Hz bedraagt derhalve 0 dB.



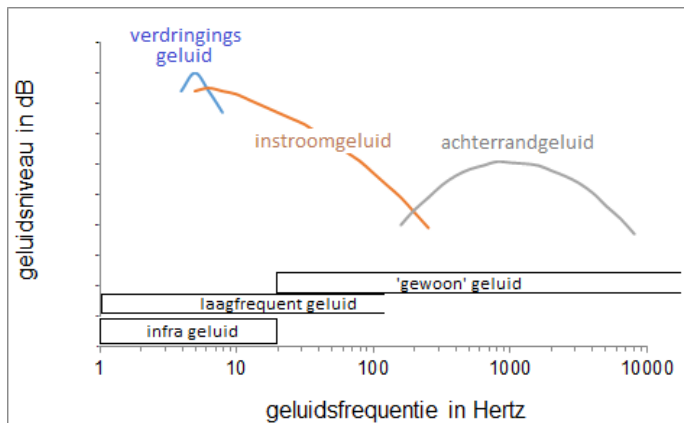


Figure 1 geluidsfrequenties die worden geproduceerd door windturbines. Overgenomen uit Kennisbericht Geluid van windturbines Versie 1.0 Juni 2015 van de Pilot Kennisplatform Windenergie.

### Amplitude modulatie

Naast het frequentie spectrum wordt windturbine geluid gekenmerkt door amplitude modulatie (het zweepende/zoevende karakter van windturbinegeluid). De sterkte van het geluid varieert ('moduleert') met de frequentie waarmee een wijk een bepaald punt (bijvoorbeeld de mast) passeert, ok wel 'bladpasseerfrequentie' genoemd. Met een driebladige rotor is dat drie keer het toerental van de rotor en dat ligt rond de één keer per seconde.

### Hoorbaarheid van windturbine geluid

#### *Infrasoon geluid*

Het menselijk gehoor is relatief ongevoelig voor infrason geluid (frequenties < 20 Hz). Infrason geluid van windturbines is door mensen niet daarom niet hoorbaar op plekken waar mensen wonen (Bolin K, 2011). Sommige auteurs suggereren dat infrason geluid door mensen weliswaar niet hoorbaar is, maar wel voelbaar; dit is echter wetenschappelijk niet aangetoond (Moller H, 2004 ).

#### *Hoorbaar geluid*

Trailing edge noise kan goed worden waargenomen, net als instroomgeluid (20-100 Hz). Belangrijk bij laagfrequent (< 100 Hz) geluid is dat het minder goed door schermen en gevels wordt gedempt dan hogere frequenties; het geluid van alle geluidbronnen bevat daarom na afscherming en gevelwering naar verhouding meer laagfrequent en minder midden- en hoogfrequent geluid.

De waarneembaarheid van een geluid wordt naast de hoogte van het achtergrondgeluid ook bepaald door andere factoren. Een relatief zacht tonaal<sup>1</sup> geluid ten opzichte van een breedbandig<sup>2</sup> achtergrond geluid kan toch nog duidelijk hoorbaar zijn. Vanwege de amplitude modulatie (het zoevende/zweepende karakter van windturbinegeluid) is het mogelijk om dit geluid te horen boven een hoger achtergrondgeluid. Hierdoor is het mogelijk dat een windturbine toch hoorbaar is, terwijl het achtergrondgeluid duidelijk hoger is.

<sup>1</sup> Een voorbeeld van tonaal geluid is de bromtoon van 50 Hz van elektrische apparatuur

<sup>2</sup> Breedbandig geluid is bijvoorbeeld het geluid van autoverkeer

## Gezondheidseffecten van geluid van windturbines

### Gezondheidseffecten van windturbinegeluid – algemeen

*Welke gezondheidseffecten kan geluid van windturbines veroorzaken?*

*Slaapverstoring* is een belangrijk en bekend effect van geluid van allerlei geluidbronnen. Daarnaast speelt *hinder* door geluid een rol bij het ontstaan van gezondheidseffecten. Wanneer mensen slaapgestoord zijn en/of gehinderd zijn kan dit leiden tot een verminderd welbevinden, stress en vermoeidheid. Zowel hinder als slaapverstoring worden ook op zichzelf als gezondheidseffect gezien. Bij slaapverstoring wordt bedoeld op de kwaliteit van de slaap. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen zelfgerapporteerde (subjectieve) slaapverstoring en objectieveerbare/meetbare fysiologische reacties tijdens de slaap (ontwaakreacties/motiliteit<sup>3</sup>, veranderingen in EEG patroon). In de meeste onderzoeken naar slaapverstoring bij windturbines is gekeken naar zelfgerapporteerde slaapverstoring.

Naast waarneming van geluid spelen ook zogeheten niet-akoestische factoren een rol bij de hinder die mensen van windturbines kunnen ervaren. Niet-akoestische factoren zijn weer onder te verdelen in situationele/fysische factoren, persoonlijke/contextuele (veelal betrekking hebbend op beleving, terug te voeren op personen) en contextuele (niet-objectiveerbare, niet terug te voeren op personen) factoren.

Voorbeelden van situationele factoren zijn: het optreden van slagschaduw (bewegende schaduw van de rotorbladen), de mate van zichtbaarheid van de windturbines inclusief het draaien van de rotor.

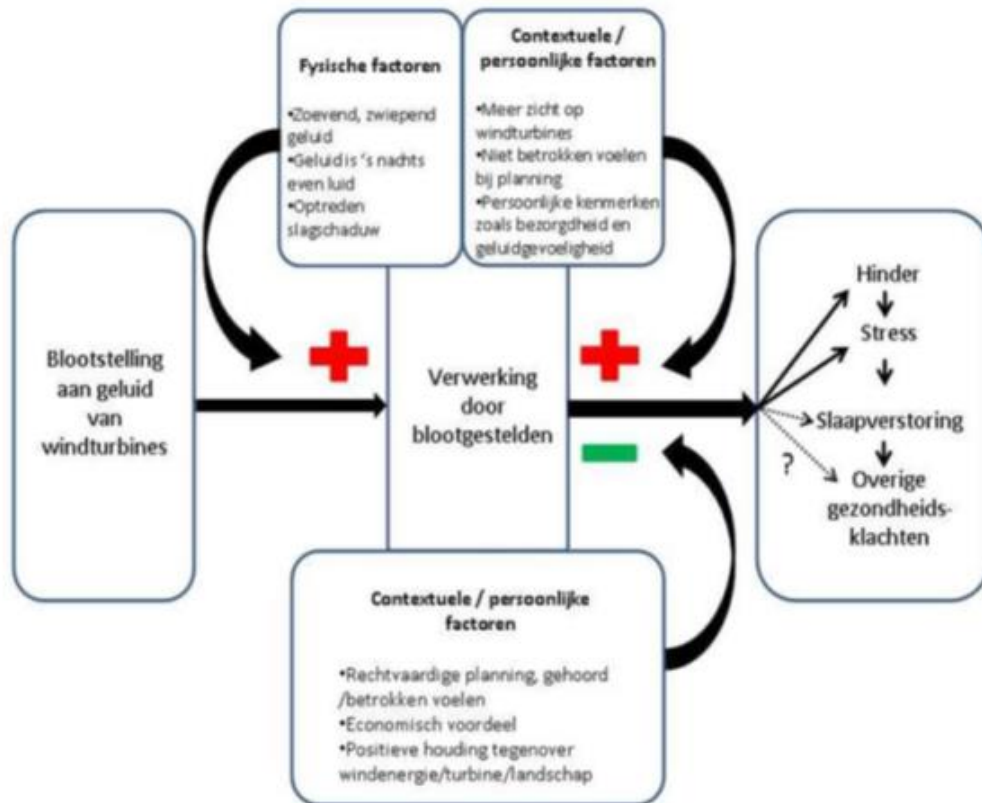
Voorbeelden van persoonlijke factoren zijn, het al dan niet geluidgevoelig zijn, de mate waarin iemand zich betrokken voelt bij het tot stand komen van de plannen, het al dan niet hebben van economisch voordeel bij een windpark.

Voorbeeld van een contextuele factor zijn de heersende maatschappelijke opvattingen over windenergie, de wijze waarop de plannen voor een project tot stand zijn gekomen (planproces).

In de onderstaande afbeelding, overgenomen uit het kennisbericht 2015 (Pilot Kennisplatform Windenergie, 2015) is gevisualiseerd hoe blootstelling aan geluid van windturbines kan leiden tot gezondheidseffecten (stress, vermoeidheid en verminderd welbevinden).

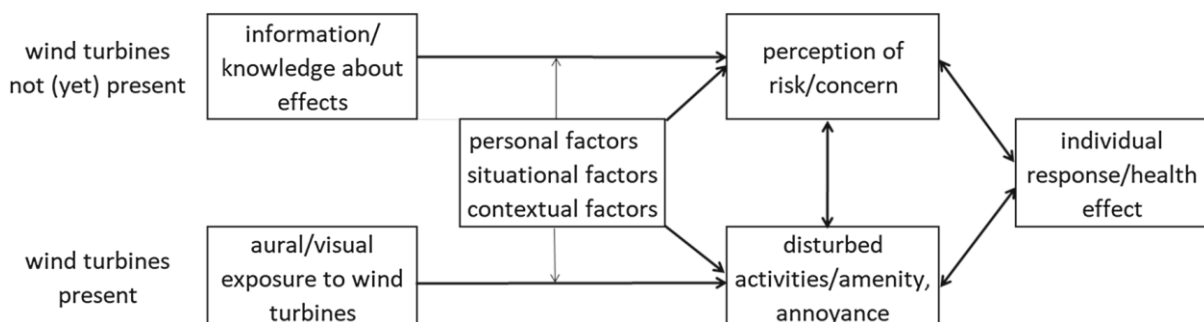
---

<sup>3</sup> Beweeglijkheid



Figuur 2 Model afkomstig uit Kennisbericht Geluid van windturbines Versie 1.0 Juni 2015 van de Pilot Kennisplatform Windenergie

Meer recent is door Michaud ea (Michaud DS, 2016) een model ontwikkeld dat ook rekening houdt met mogelijke gezondheidseffecten van windturbineprojecten in de planfase, dus wanneer er nog geen enkele windturbine is opgericht. (Mis)informatie en kennis over mogelijke gezondheidseffecten leidt in dit model tot gevoelens als boosheid/bezorgdheid/machteloosheid, wat vervolgens aanleiding kan geven tot gezondheidseffecten. Volgens dit model is het in principe ook mogelijk dat mensen visuele hinder van windturbines ervaren zonder geluid te horen. In het eerste model zijn visuele aspecten een effectmodifier, volgens Michaud ea zijn visuele aspecten, net als geluid, een oorzaak.



Figuur 3 aangepast overgenomen uit (Michaud DS, 2016)

## Hinderlijkheid windturbinegeluid

### *Laagfrequent geluid*

Laagfrequent geluid (van verschillende geluidbronnen) is geassocieerd met hinder (Baliatsas C, 2016). Zoals hierboven uiteengezet produceren windturbines ook laagfrequent geluid. Hinder van windturbinegeluid wordt echter niet in de eerste plaats veroorzaakt door laagfrequent geluid, het hele geluidsspectrum draagt hieraan bij (David S. Michaud, 2016).

### *Oorzaken hinderlijkheid windturbinegeluid*

Het geluid van windturbines wordt bij gelijke geluidsniveaus als hinderlijker ervaren dan dat van andere geluidbronnen zoals industrie-, vliegtuig-, spoor- en wegverkeersgeluid (David S. Michaud, 2016), (Janssen SA, 2011). Dit heeft waarschijnlijk te maken met amplitudemodulatie. Wat vermoedelijk ook een rol speelt, is dat het geluid van vrijwel alle bronnen 's avonds afneemt, terwijl het geluid van windturbines gelijk blijft of zelfs toeneemt. Hierdoor worden windturbines 's avonds beter hoorbaar. Hinder door windturbinegeluid treedt mogelijk niet op als het geluid van het wegverkeer minstens 20 dB hoger is dan het geluid van een windturbinepark, en als het geluid van de windturbines beperkt is (35-40 dB) (Pedersen E, 2010).

Zoals hierboven uiteengezet spelen ook niet-akoestische factoren een rol bij de ervaren hinderlijkheid van windturbinegeluid.

### *Voorspellende variabelen voor hinder*

Verbanden tussen (geluid)hinder en voorspellende variabelen worden internationaal onderzocht door middel van vragenlijsten onderzoek. Hierbij wordt aan respondenten gevraagd in welke mate zij gehinderd zijn, of zij zicht hebben op windturbines, slagschaduw ervaren, naar geslacht, leeftijd, inkomen etcetera. Deze data worden door de onderzoekers gekoppeld aan een aantal objectieve variabelen: het (meestal berekende) geluid<sup>4</sup> op de woning, de afstand tot de woning en andere variabelen (zoals slagschaduw).

Er is veel onderzoek verricht naar welke variabelen de beste voorspellers van hinder zijn, maar in het onderzoek van Pawlaczyk-Łuszczynska uit 2018 zijn deze op overzichtelijke wijze onder elkaar gezet. De beste voorspellers van hinder van windturbine geluid buiten (in volgorde van toenemende voorspellende waarde) waren (Pawlaczyk-Łuszczynska, 2018): windturbine geluid (of afstand), vorm van het terrein (vlak/heuvel- of bergachtig), geluidgevoeligheid, houding ten opzichte van windturbines in het algemeen. Voor hinder van windturbine geluid buiten was de volgorde: windturbine geluid (of afstand), verkeersintensiteit in de omgeving (geen of weinig verkeer vs verhoogde intensiteit), geluidgevoeligheid, houding ten opzichte van windturbines in het algemeen. In verschillende onderzoeken worden verschillende vragenlijsten gehanteerd en dit maakt dat bovenstaande opsomming van voorspellers per onderzoek kan verschillen. Ook verschillen onderzoekspopulaties en lokale factoren. Denk bijvoorbeeld aan een situatie waarbij op dunbevolkt platteland een groot aantal kleinere windturbines staat dat eigendom is van agrarische ondernemers. In die situatie zullen de mensen die potentieel het meest gehinderd zijn ook degenen zijn die economisch voordeel van de windturbines hebben. (Pedersen E., 2009) toonde in Nederland een verband aan tussen economisch voordeel van een windturbine en verminderde hinder.

---

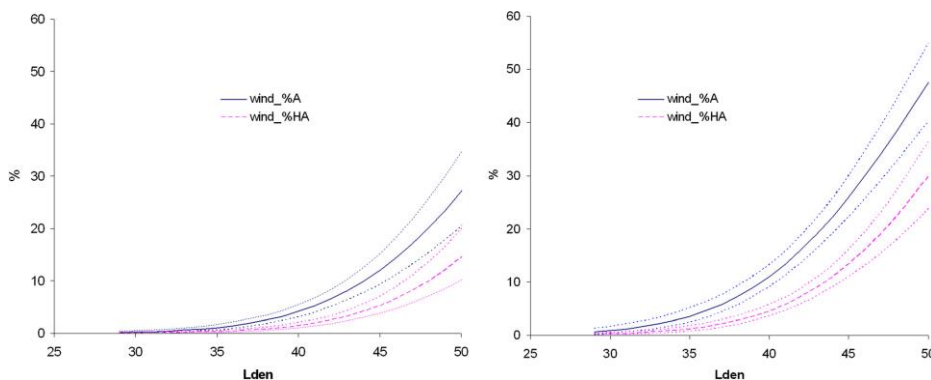
<sup>4</sup> Hinder wordt in verband gebracht met Lden, het gemiddelde geluidniveau van de dag-, avond- en nachtperiode.

### Mate van hinder voorspellen

Bij de Nederlandse normstelling van 47 dB  $L_{den}$  is rekening gehouden met de relatieve hinderlijkheid van het geluid van windturbines. De WHO beveelt een andere normstelling (< 45 dB  $L_{den}$ ) aan, met oog op de te verwachten hinder buitenshuis (WHO, 2018). Zowel de Nederlandse als de WHO advieswaarde voor windturbinegeluid zijn beleidsmatige waarden; in beide gevallen is er sprake van een bepaald percentage gehinderden.

Bij een  $L_{den}$  van 47 dB bedraagt het verwachte percentage dat *binnenshuis* ernstig gehinderd is (%HA) circa 7%, het percentage gehinderden (%A) bedraagt circa 17% (Janssen SA, 2011). Bij een  $L_{den}$  van 47 dB bedraagt het verwachte percentage dat *buitenshuis* ernstig gehinderd is circa 20%, het percentage gehinderden bedraagt circa 34%.

Deze percentages zijn indicatief en zullen, onder invloed van bovengenoemde niet-akoestische factoren, per situatie sterk kunnen variëren. Zelfs de voorgeschiedenis van een project (bijvoorbeeld de manier waarop en de mate waarin omwonenden betrokken zijn bij het totstandkomen ervan) heeft invloed op wat de hinder in de gerealiseerde situatie zal zijn. Dit maakt het lastig om in een gegeven situatie (project) te voorspellen welke mate van hinder kan worden verwacht.



Figuur 4 Overgenomen uit Janssen ea, 2011

### Slaapverstoring door geluid

Het is in de eerste plaats de vraag of slaapverstoring in de Nederlandse context überhaupt mogelijk is. De Nederlandse norm voor windturbinegeluid 's nachts is 41 dB (gemiddeld over de nachtperiode, van 23.00-07.00<sup>5</sup>). Dit terwijl het lowest observed adverse effect level (LOAEL<sup>6</sup>) voor nachtelijk geluid buiten 40 dB  $L_{night}$  bedraagt (Hurtley, 2009).

41 dB is iets hoger dan de ondergrens voor slaapverstoring (40 dB  $L_{night}$ ). En, hierbij is geen rekening gehouden met het specifieke karakter (amplitudemodulatie) van windturbinegeluid. En 41 dB  $L_{night}$  is een jaargemiddelde waarde, een deel van de tijd is de geluidproductie (beperkt) hoger; maximale geluidsniveaus van windturbines zijn, afhankelijk van de plaats en het type, 1-3 dB hoger dan de jaargemiddelde waarde (van Kamp & van den Berg, 2018).

Nog weer een andere manier om hier tegen aan te kijken is dat de drempelwaarde voor slaapverstoring in de slaapkamer ligt op circa 30 dB (een geluidniveau typisch voor eens stille slaapkamer bedraagt 25-30 dB). Bij een gemiddelde woning is de geluidwering met de ramen dicht

<sup>5</sup> Het gemiddelde geluidniveau tussen 23.00-07.00 wordt ook wel vereenvoudigd weergegeven als  $L_{night}$

<sup>6</sup> Laagste geluidsniveau waarbij effecten op de slaap zijn waargenomen



circa -20 dB. Bij een raam op een kier is de gevelwering circa -15 dB. Bij een ver geopend raam bedraagt de gevelwering circa -10 dB (bron: GGD richtlijn geluid *in voorbereiding*). Dit betekent dat bij een dicht slaapkamerraam, bij een gemiddelde geluidproductie, de geluidbelasting binnen circa 21 dB bedraagt. Bij gesloten raam lijkt slaapverstoring daarom niet waarschijnlijk. Bij raam op een kier en ver geopend raam bedraagt de geluidbelasting in de slaapkamer 26 dB respectievelijk 31 dB. Met name bij een ver geopend slaapkamerraam lijkt slaapverstoring bij een beperkt percentage van de hoogst blootgestelden daarom niet op voorhand te kunnen worden uitgesloten.

#### *Wetenschappelijk bewijs voor slaapverstoring door windturbines*

Uit de thans beschikbare wetenschappelijke data is (nog) niet gebleken dat er een verband is tussen nachtelijk geluid van windturbines en (zelfgerapporteerde) slaapverstoring. In de studie van Michaud (Michaud DS, 2016) werd bijvoorbeeld geen verband gevonden tussen nachtelijk windturbine geluid en subjectieve (zelfgerapporteerde) parameters van slaapverstoring. De resultaten van een aantal andere studies lijken hiermee in tegenspraak, de resultaten van de onderzoeken zijn daarom niet eenduidig.

De WHO doet, vanwege dit gebrek aan solide wetenschappelijk bewijs, geen aanbeveling voor de  $L_{\text{night}}$  voor windturbinegeluid (WHO, 2018). Voor andere geluidbronnen, zoals weg- en railverkeer is wel een verband aangetoond tussen zelfgerapporteerde slaapverstoring en nachtelijk geluid. Voor wegverkeer geldt dat bij 45,4 dB  $L_{\text{night}}$  3% ernstig slaapverstoorden te verwachten zijn. Voor railverkeer worden bij 43,7 dB  $L_{\text{night}}$  3% ernstig slaapverstoorden verwacht. Dit geeft aanleiding voor de WHO om 45 dB en 44 dB als maximum aan te bevelen voor respectievelijk nachtelijk wegverkeer en nachtelijk railverkeer.

En er bestaat een sterke associatie tussen zelfgerapporteerde slaapverstoring en zelfgerapporteerde hinder van windturbines (van Kamp & van den Berg, 2018). Het is daarom mogelijk dat in de toekomst, op basis van nog meer onderzoeken, wel een verband tussen zelfgerapporteerde slaapverstoring en nachtelijk geluid van windturbines kan worden aangetoond.

Michaud (Michaud DS, 2016) vond in een grote studie geen verband tussen nachtelijk geluid van windturbines en objectieve (fysiologische) parameters van slaapverstoring.

#### Windturbine syndroom en vibro-akoestische ziekte

Er is geen wetenschappelijk bewijs voor het bestaan van deze aandoeningen. Beide aandoeningen worden uitgebreid besproken in het Kennisbericht Geluid van windturbines (Pilot Kennisplatform Windenergie, 2015).



## Visuele hinder

Het is aangetoond dat visuele en auditieve aspecten sterk verweven zijn (Pedersen, 2007). Daarom is het ook moeilijk om de afzonderlijke invloed ervan op hinder vast te stellen. Geluidhinder beïnvloedt de mate van visuele hinder, en vice versa.

### Visuele verstoring

De meeste bezwaren tegen windturbines richten zich op de visuele kwaliteit van de windturbine(s) in het landschap. Een deel van de bevolking vindt ze niet passen in het landschap en ervaart de draaiende wieken en veranderlijke schaduwen negatief. Windturbines kunnen echter ook als positief worden ervaren: ze zijn dynamisch en maken windrichting en -snelheid op grotere hoogte zichtbaar. In zijn algemeenheid kan men stellen dat een object dat groter is of meer contrasteert met de omgeving opvallender is. Als het object ongewenst is zal dat tot meer verstoring leiden, als het object gewenst is kan het juist meer worden gewaardeerd. Een moderne windturbine zal minder opvallen in een kunstmatige, 'technische' omgeving (zoals een industrieterrein) en dus zal men dan minder visuele verstoring verwachten dan bijvoorbeeld bij een windturbine in een mooie natuurlijke omgeving. In een onderzoek naar typisch Belgische landschappen bleek dat windturbines afbreuk doen aan een aantrekkelijk landschap maar juist de kwaliteit van een lelijk landschap wat verhogen (Van Rompaey A, 2010). Een belangrijke eigenschap van windturbines, in vergelijking met andere bouwwerken, is dat ze vrijwel voortdurend bewegen. Deze beweging verhoogt de opvallendheid ervan en het contrast met de omgeving hetgeen bijvoorbeeld in fotomontages niet tot uiting komt.

Er is geen methode bekend (behalve door mensen te bevragen) om visuele verstoring te kwantificeren. Visuele verstoring kan niet objectief worden vastgesteld (zoals geluid of slagschaduw). De visuele invloed wordt weliswaar bepaald door beeldgrootte en contrast met de omgeving, maar dat zegt nog niets over de waardering daarvan. Er kunnen wel argumenten en gezichtspunten worden uitgewisseld om te onderzoeken welke zichtbare eigenschappen (zoals opstelling, grootte, kleur, draaisnelheid) meer of minder worden gewaardeerd. Daarbij is de houding t.o.v. de omgeving en de windturbines ook van belang. Accepteert men verandering van de omgeving, een nieuw en mogelijk bepalend uitzicht?

### Slagschaduw

Het kan zijn dat de zon tijdens het draaien van de rotor steeds even geheel achter een wiek verdwijnt. Als de schaduw van de wiek dan op een raam valt, dan kan dat binnenshuis sterke verschillen in lichtsterkte veroorzaken. De variatie in lichtsterkte door de draaiende wieken wordt slagschaduw genoemd. Deze kan erg hinderlijk zijn en op grond van vrij beperkt onderzoek is geconcludeerd dat slagschaduw op een raam niet te lang moet duren om de hinder beperkt te houden. Buitenshuis zijn de lichtsterktewisselingen veel minder groot omdat het licht vanuit andere richtingen ervoor zorgt dat het effect van de wiekschaduwen beperkt is.

Soms wordt geopperd dat door de wisselingen in lichtsterkte of lichtflikkeringen een ('fotogene') epileptische aanval kan optreden. Daarvoor is echter de frequentie van de flikkeringen van belang en bij windturbines is deze frequentie te laag. Er is dus geen risico op fotogene epileptische aanvallen door windturbines. Dergelijke aanvallen lijken vooral door tv-beelden e.d. (zoals videospelletjes) te kunnen worden opgeroepen.

Bij < 10 minuten (jaarlijks maximum dagelijks aantal minuten slagschaduw) slagschaduw was het percentage ernstig gehinderden 4%, bij  $\geq 30$  minuten bedroeg het percentage ernstig gehinderden 21% (Voicescu SA, 2016). Het optreden van slagschaduw draagt bij aan de ervaren hinder van een windpark en moet daarom zoveel als redelijkerwijs mogelijk is worden voorkomen. Er is een wettelijke grens aan de duur dat een woning slagschaduw mag ontvangen: gemiddeld mag er niet meer dan 17 dagen per jaar meer dan 20 minuten slagschaduw kunnen optreden. In de rechtspraak wordt vaak een maximale duur van 6 uur slagschaduw per jaar gehanteerd. De wettelijke grens is een afweging tussen het tegengaan van hinder en verlies aan opgewekt elektrisch vermogen. Met andere woorden: als aan het wettelijk voorschrift wordt voldaan kan toch er toch sprake zijn van beperkte hinder, maar de wetgever vindt dit aanvaardbaar.

## Overige milieufactoren in relatie tot gezondheid

### Extreem laagfrequente elektromagnetische velden

Hoogspanningslijnen en transformatorhuisjes zijn voorname bronnen van extreem laagfrequente elektromagnetische velden buitenshuis. De magnetische component daarvan kan, in tegenstelling tot de elektrische, niet worden afgeschermd. Ook binnenshuis bevinden zich extreem laagfrequente elektromagnetische velden: bijvoorbeeld van stofzuiger, scheerapparaat en föhn. Windturbines hebben ook een extreem laagfrequent elektromagnetisch veld. Dit veld is zo klein dat het effect zich beperkt tot het grondvlak onder de windturbine. De benodigde elektriciteitskabels hebben ook elektromagnetische veld, direct in de buurt van de kabel. Dit betekent dat een afstand aangehouden moet worden tot woonbebouwing van circa 5 tot 10 meter, afhankelijk van het spanningsniveau van de kabels.

### Radiofrequente elektromagnetische velden

Mobiele telefoons en zendmasten zijn voorname bronnen van radiofrequente elektromagnetische velden. De elektronica in de gondel van een windturbine produceert ook in geringe mate radiofrequente straling, maar veel minder dan bijvoorbeeld een antenne (zendmast) voor mobiele telefonie. Van de geringe hoeveelheid radiofrequente straling van een windturbine zijn geen gezondheidseffecten te verwachten, net zo min als van een antenne van een mobiele telefoon.

### Trillingen

Windturbines veroorzaken trillingen door het draaien van de wieken. Echter is in het algemeen te zeggen dat er geen sprake is van trillinghinder, omdat de afstand vanwege geluid tussen turbine en woningen daarvoor al groot is.

## Conclusies

- Op basis van de beschikbare wetenschappelijke data kan er (nog) geen verband worden aangetoond tussen nachtelijk geluid van windturbines en zelfgerapporteerde slaapverstoring (uit de verschillende wetenschappelijke studies die hiernaar zijn uitgevoerd komt tot nu toe geen verband naar voren, dit sluit niet uit dat dit in de toekomst, met meer onderzoek, wel het geval kan zijn).
- Geluid en visuele stimuli afkomstig van windturbines (zoals slagschaduw en het zicht hebben op) kunnen leiden tot (ernstige) hinder.
- Windturbines produceren ook laag frequent geluid maar er is geen bewijs voor een apart effect van laag frequent geluid op de gezondheid, anders dan voor het midden- en hoogfrequente deel van het geluidsspectrum van windturbines.
- Hinder van windturbines is lastig te voorspellen, omdat zowel fysieke, persoonlijke en contextuele factoren hierbij een rol spelen.
- Het wordt mogelijk geacht dat een windpark al in de planfase kan leiden tot hinder.
- Voor gezondheidseffecten veroorzaakt door (laagfrequente én radiofrequente) elektromagnetische velden, infrageluid en trillingen van windmolens is geen wetenschappelijk bewijs.
- Voor het bestaan van aandoeningen als 'vibro-akoestische ziekte' en 'windturbinesyndroom' is geen wetenschappelijk bewijs.

## Referenties

- Baliatsas C, v. K. (2016). Health effects from low-frequency noise and infrasound in the general population: Is it time to listen? A systematic review of observational studies. *J Sci Total Environ*(557), 163-169.
- Bolin K, B. G. (2011). Infrasound and low frequency noise from wind turbines: exposure and health effects. *Environ Res Lett*, 6, 1-6.
- David S. Michaud, S. E. (2016). Personal and situational variables associated with wind turbine noise annoyance. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139, 1455.
- Hurtley, C. (2009). *Night Noise Guidelines (NNGL) for Europe*. WHO Regional Office Europe.
- Janssen SA, V. H. (2011, Dec). A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 3746-53.
- Michaud DS, F. K. (2016). Effects of wind turbine noise on self-reported and objective measures of sleep. *Sleep*, 97.
- Moller H, P. C. (2004 ). Hearing at low and infrasonic frequencies. *Noise and health* 6(23), 37.
- Pawlaczyk-Łuszczczyńska, M. Z.-D. (2018). Response to Noise Emitted by Wind Farms in People Living in Nearby Areas. *International journal of environmental research and public health*, 15(8), 1575.
- Pedersen E, e. (2010). Pedersen E ea. Can road traffic mask sound from wind turbines? Response to wind turbine sound at different levels of road traffic sound. *Energy Policy* 38, 2520–2527.
- Pedersen E., V. d. (2009). Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *J. Acoust. Soc. Am*, 126, 634–643.
- Pedersen, E. ,.-M. (2007). Living in the Vicinity of Wind Turbines — A Grounded Theory Study. *Journal Qualitative Research in Psychology*(Volume 4(1-2)), 49-63.
- Pilot Kennisplatform Windenergie. (2015). *Kennisbericht Geluid van windturbines 1.0 Juni 2015*.
- van Kamp, I., & van den Berg, F. (2018). Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound. *Acoustics Australia*, 1839-2571.
- Van Rompaey A, S. S. (2010). *Landscape capacity and social attitudes towards wind energy projects in Belgium. Final report (phase I) SP2223*. Brussels.
- Voicescu SA, M. D. (2016). Estimating annoyance to calculated wind turbine shadow flicker is improved when variables associated with wind turbine noise exposure are considered. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1480.
- WHO. (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. WHO.