

Milieunormen

Energielandgoed Wells Meer

Gemeente Bergen

719007 | v3

6 maart 2025



Pondera

Hoofdvestiging Nederland
Amsterdamseweg 13
6814 CM Arnhem
088 – pondera (088-7663372)
info@ponderaconsult.com

Postbus 919
6800 AX Arnhem

Vestiging South East Asia
Jl. Mampang Prapatan XV no 18
Mampang
Jakarta Selatan 12790
Indonesia

Vestiging North East Asia
Suite 1718, Officia Building 92
Saemunan-ro, Jongno-gu
Seoul Province
Republic of Korea

Vestiging Vietnam
7th Floor, Serepok Building
56 Nguyen Dinh Chieu Street, Da Kao Ward,
District 1 Ho Chi Minh City
Vietnam

Colofon

Soort document
Milieunormen

Projectnaam
Energie landgoed Wells Meer

Versienummer
v3

Datum
6 maart 2025

Project nummer
719007

Opdrachtgever
Gemeente Bergen

Auteur
Stefan Flanderijn

Nagekeken door
Paul Janssen

Disclaimer

In het onderzoek is gebruik gemaakt van algemeen geaccepteerde uitgangspunten, modellen en informatie die ten tijde van het opstellen van dit rapport ter beschikking stonden. Aanpassingen in de uitgangspunten, modellen of gebruikte gegevens kunnen leiden tot andere uitkomsten. De aard en de nauwkeurigheid van de gebruikte gegevens voor het onderzoek bepalen in belangrijke mate de nauwkeurigheid en de onzekerheden van de berekende uitkomsten en aanbevelingen. Pondera is niet aansprakelijk voor schade die wordt geleden door opdrachtgever(s) en/of derden uit conclusies die gebaseerd zijn op gegevens die niet van Pondera afkomstig zijn. Deze rapportage is opgesteld met de intentie dat deze alleen gebruikt wordt door de opdrachtgever en slechts voor het doel waarvoor de rapportage is opgesteld. Er mag geen beroep worden gedaan op de informatie uit deze rapportage voor andere doeleinden zonder schriftelijke toestemming van Pondera. Pondera is niet verantwoordelijk voor de consequenties die kunnen voortvloeien uit het oneigenlijk gebruik van de rapportage. De verantwoordelijkheid voor het gebruik van (de analyse, resultaten en bevindingen in) de rapportage blijft bij de opdrachtgever. De Rechtsverhouding opdrachtgevers – architect, ingenieur en adviseur conform DNR 2011 is te allen tijde van toepassing. Pondera werkt met een kwaliteitsmanagementsysteem dat door EIK gecertificeerd is volgens de ISO 9001:2015 norm.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond: uitspraak Afdeling Bestuursrecht van de Raad van State 30 juni 2021	1
1.2	Aanpak om te komen tot een normstelling	2
2	Opzet en locatie	4
2.1	Beschrijving locatie en omgeving	4
2.2	Aanwezige woningen en ander verblijfsobjecten	4
3	Geluid van windturbines	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Achtergrond Europese systematiek geluidsdosismaat L_{den} en L_{night}	7
3.3	Effecten van geluidbelasting	8
3.4	Karakterisering van windturbinegeluid	14
3.5	Alternatieven voor toetsingskader windturbinegeluid vanuit wetenschappelijk perspectief	18
3.6	Beoordeling van windturbinegeluid	19
3.7	Lokale situatie Energielandgoed Wells Meer	20
4	Conclusie en advies	29
4.1	Conclusie	29
4.2	Advies	30

1 Inleiding

1.1 Achtergrond: uitspraak Afdeling Bestuursrecht van de Raad van State 30 juni 2021

Op 30 juni 2021 heeft de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State (de ABRvS) een uitspraak gedaan in de zaak Windpark Delfzijl Zuid Uitbreiding (DZU) over -samengevat - de vraag of voor het vastleggen van milieunormen voor windturbines in het Activiteitenbesluit milieubeheer en de Activiteitenregeling milieubeheer een plan-MER-plicht bestaat op grond van de Europese SMB-richtlijn¹. De Afdeling is in die uitspraak tot het oordeel gekomen dat op grond van het Europese recht inderdaad een dergelijke beoordeling moet worden gemaakt van de gevolgen voor het milieu. Die beoordeling is inmiddels door het Rijk opgesteld en er zijn inmiddels nieuwe ontwerpnormen gepubliceerd². Deze zijn echter nog niet definitief vastgesteld en nog niet in werking getreden. Totdat deze nieuwe normen in werking treden zijn de windturbinebepalingen uit het Activiteitenbesluit en de Activiteitenregeling buiten toepassing.

De ABRvS geeft echter ook aan dat in de tussentijd het bevoegd gezag voor een concreet project eigen normen kan stellen ter vervanging van de normstelling uit het Activiteitenbesluit en de -regeling³.

Voor Energielandgoed Wellsmeer (ELWM) is op 9 februari 2021 door de gemeenteraad een bestemmingsplan vastgesteld. Ook zijn op 23 februari 2021 omgevingsvergunningen verleend. Op 25 april 2022 heeft de raad het bestemmingsplan "Energielandgoed Wells Meer" gewijzigd en opnieuw vastgesteld. Ook is op 10 mei 2022 de omgevingsvergunning gewijzigd en opnieuw vastgesteld.

Op 24 december 2024 heeft de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State (de ABRvS) een uitspraak gedaan in de zaak Energielandgoed Wellsmeer⁴. Op basis van deze uitspraak dient het college in de planregels en de vergunningvoorschriften alsnog een eigen norm voor het aspect geluid op te nemen die is voorzien van een actuele, deugdelijke, op zichzelf staande en op de aan de orde zijnde situatie toegesneden motivering. Onderhavige rapportage kan als motivering worden gebruikt bij het vaststellen van een geluidnorm voor windturbinegeluid voor de windturbines van Energielandgoed Wells Meer.

¹ ECLI:NL:RVS:2021:1395

² Ontwerpwindturbinebepalingen leefomgeving, 12 oktober 2023

³ Overweging 65 uit de uitspraak ECLI:NL:RVS:2021:1395

⁴ ECLI:NL:RVS:2024:5417

Kader 1.1 Bescherming tegen hinder versus ruimtelijke ontwikkelingen: ALARA

Het primaire doel van de Wet milieubeheer (Wm), de bijbehorende uitvoeringsbesluiten en de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo) is het beschermen van de leefomgeving tegen onaanvaardbare milieueffecten. Daarbij is het begrip milieu ruim gedefinieerd, maar wordt primair de focus gelegd op gevolgen voor mensen en hun directe leefomgeving. In een dichtbevolkt land waarin veel gebruiksfuncties op een beperkte oppervlakte samenkomen zijn enige gevolgen voor het milieu vaak niet volledig te vermijden. Daarom is het ALARA- (as-low-as-reasonably-achievable) beginsel opgenomen in de zorgplicht in artikel 1.1a Wm: "...een ieder die weet of redelijkerwijs kan vermoeden dat door zijn handelen of nalaten nadelige gevolgen voor het milieu kunnen worden veroorzaakt, verplicht is dergelijk handelen achterwege te laten voor zover zulks in redelijkheid kan worden gevergd, dan wel alle maatregelen te nemen die redelijkerwijs van hem kunnen worden gevergd teneinde die gevolgen te voorkomen of, voor zover die gevolgen niet kunnen worden voorkomen, deze zoveel mogelijk te beperken of ongedaan te maken" en volgens artikel 2.14 lid 1 c 1° Wabo neemt het bevoegd gezag bij die beslissing in ieder geval in acht: "dat in de inrichting of het mijnbouwwerk ten minste de voor de inrichting of het mijnbouwwerk in aanmerking komende beste beschikbare technieken moeten worden toegepast".

Het doel van het ALARA-beginsel is dan ook een adequaat beschermingsniveau te bieden, waarbij duurzame energie projecten nog kunnen worden gerealiseerd. Die projecten hebben – als onderdeel van de energietransitie - per saldo namelijk positieve effecten, zo stelt het RIVM in het rapport: "Klimaatakkoord; effecten op veiligheid, gezondheid en natuur" (2019). Ook als die ontwikkelingen een beperkte, doch aanvaardbare mate van hinder, opleveren voor de omgeving. Uit jurisprudentie blijkt ook dat - gelet op het ALARA-beginsel - geen nul-hinder als uitgangspunt genomen hoeft te worden (zie o.a. ECLI:NL:RVS:2018:616; ECLI:NL:RVS:2015:1702; ECLI:NL:RVS:2010:BL6187). In de toelichting op de ontwerpbevestigingen windturbines leefomgeving wordt dit ook als zodanig beschreven: "Daarbij is uitgangspunt geweest dat omwonenden recht hebben op een aanvaardbaar woon- en leefklimaat, maar niet dat omwonenden van windturbines daar helemaal geen last van mogen hebben. In dat geval zou er voor windturbines in een vol land als Nederland nauwelijks nog plaatsingsruimte overblijven, terwijl het belang van een duurzame energievoorziening ook een zwaarwegend belang is."

1.2 Aanpak om te komen tot een normstelling

Als gevolg van de uitspraak van de ABRvS inzake het Activiteitenbesluit en -regeling als kader kan voor een beoordeling van de aanvaardbaarheid van een milieueffect van windturbines niet meer worden verwezen naar de in dit besluit daarover opgenomen normen (de windturbinebepalingen).

In onderhavige rapportage is voor het milieuthema geluid:

- inzichtelijk gemaakt welke effecten optreden als gevolg van de exploitatie van de windturbines van Energielandgoed Wells Meer;
- aangegeven aan de hand van welke criteria en (reken)methodieken deze effecten inzichtelijk zijn gemaakt en beoordeeld;
- inzichtelijk gemaakt hoe deze effecten zich lokaal manifesteren in het beoogde project en;
- welke normstelling, rekening houdend met alle relevante aspecten, voldoende bescherming biedt om onaanvaardbare milieugevolgen te voorkomen.



Op basis van bovenstaande punten wordt een op de situatie en locatie toegespitste beoordeling gemaakt van het aantal ernstig gehinderden in relatie tot het energieproductieverlies bij verschillende mogelijk te hanteren geluidnormen.

2 Opzet en locatie

2.1 Beschrijving locatie en omgeving

Energielandgoed Wells Meer zal worden gerealiseerd in de gemeente Bergen (L), zie Figuur 2.1. Het plangebied ligt tussen Venray en Kevelaar (D), ten oosten van Well.

Het plangebied is grotendeels agrarisch. Het gebied rondom Energielandgoed Wells Meer is in Nederland bosrijk en ten oosten (in Duitsland) grotendeels agrarisch en er zijn al meerdere windturbines operationeel (in Duitsland).

Figuur 2.1 Plangebied Energielandgoed Wells Meer



2.2 Aanwezige woningen en ander verblijfsobjecten

Woningen

In de directe omgeving (<1 km) van Energielandgoed Wells Meer zijn weinig woningen gelegen. De meeste hiervan liggen ten westen van de windturbines van Energielandgoed Wells Meer (Wezerweg). In het eerder uitgevoerde akoestisch onderzoek voor Energielandgoed Wells Meer⁵ is een selectie gemaakt van referentietoetspunten waarop de geluidbelasting inzichtelijk is gemaakt. Voor deze toetspunten is hieronder een Tabel 2.1 opgenomen met de afstand tot de dichtstbijgelegen windturbine. In Figuur 2.2 is de ligging van de toetspunten en overige omliggende woningen weergegeven. De woning aan Wellsmeer

⁵ Pondera Consult, 21 april 2020 Akoestisch Onderzoek Energielandgoed Wellsmeer v1

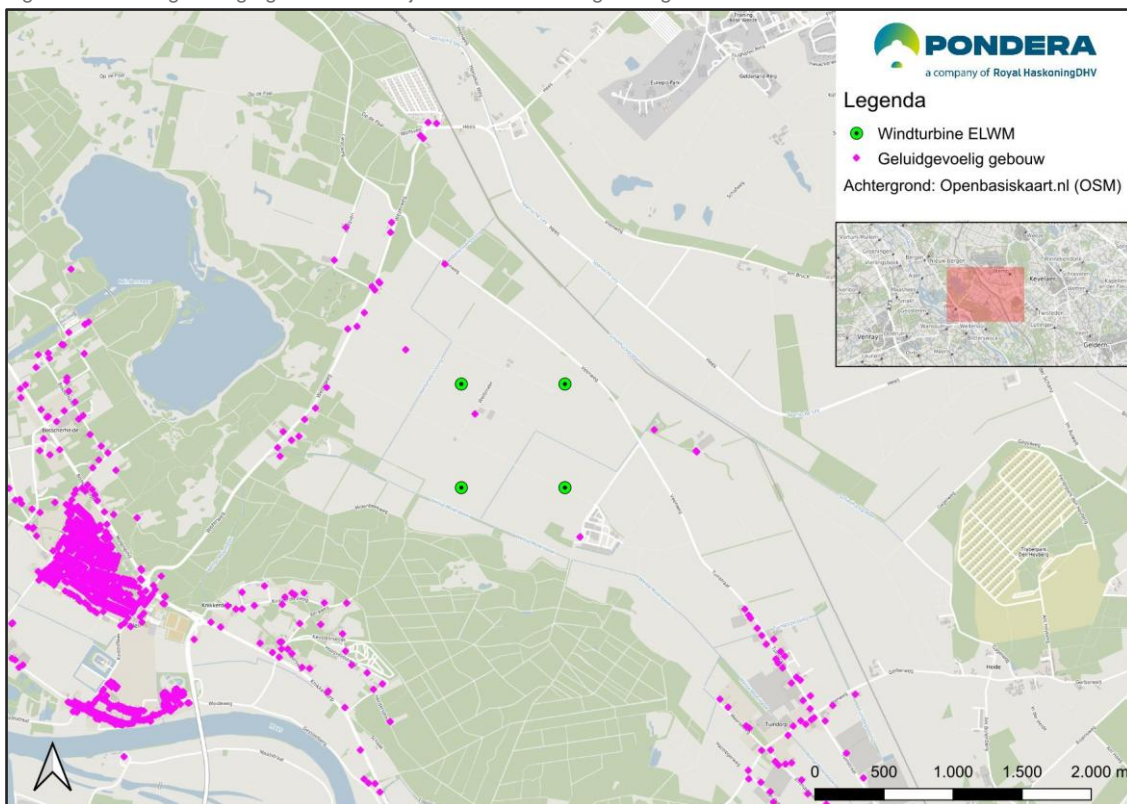
1a (op korte afstand van de meest noordwestelijke turbinepositie) betreft een woning die in het nieuwe bestemmingsplan niet meer als woning is bestemd.

Tabel 2.1 Referentiewoningen en toetspunten

Toetspunt	Adres	Afstand tot windturbine [m]
1	Veenweg 1	430
2	Veenweg 5	770
3	Veenweg 6	450
4	Tuinstraat 25	1610
5	Meerseweg 6	1950
6	Bergweg 4	1400
7	Moleneind 7	2060
8	Wezerweg 8	700
9	Wezerweg 14	470
10	Wezerweg 14a	630
11	Wezerweg 16a	420
12 *	Wellsmeer 1a	110
13	Veenweg 2	1030
14	Wezerweg 28	1930

*: Deze woning wordt ofwel geamoveerd of rechtstreeks betrokken bij het Energielandgoed en wordt derhalve niet getoetst aan de geluidnormen,

Figuur 2.2 Geluidgevoelige gebouwen nabij windturbines Energielandgoed Wells Meer



Overige verblijfsobjecten (volgens BAG)

Er is een zeer beperkt aantal verblijfsobjecten in de directe omgeving van de windturbines met een gebruiksfunctie anders dan woonfunctie.

Tabel 2.2 Overige verblijfsobjecten

Adres	Functie	Opmerking
Wellsmeer 1	Industriefunctie	Bestemming vervallen in nieuwe bestemmingsplan
Veenweg 4	Industriefunctie	Gelegen naast woning Veenweg 6, geniet daardoor nagenoeg dezelfde bescherming als een woning
Veenweg 8	Overige gebruiksfunctie	In bestemmingsplan bestemd als schaapskooi
Wezerweg 3a	Overige gebruiksfunctie	Transformatorhuisje

Gelet op de ligging en de gebruiksfunctie van de verblijfsobjecten, naast het feit dat het geen geluidgevoelige gebouwen betreffen, is er geen aanleiding om voor deze objecten een geluidnorm op te nemen.

3 Geluid van windturbines

3.1 Inleiding

Net als alle andere mechanische installaties produceren windturbines geluid. Dit geluid wordt deels veroorzaakt door de bewegende onderdelen in de gondel, maar is voornamelijk afkomstig van de bladen die door de lucht 'zoeven'. Het geluid van windturbines kan als hinderlijk worden ervaren. Net als voor andere geluidbronnen waaronder wegverkeersgeluid, industriegeluid, railverkeer- en luchtvaartgeluid is het wenselijk om normen vast te leggen voor de hoeveelheid geluid die mag optreden op de omgeving teneinde de hinder hiervan te beperken tot een aanvaardbaar niveau. Met het beperken van het geluid tot een aanvaardbaar niveau is tevens sprake van een beperking van gevolgen in het kader van de bescherming van het milieu. Om te komen tot een normstelling speelt het daadwerkelijk optredende geluidniveau, de betreffende omgeving en de hinderlijkheid van het specifieke geluid een rol.

3.2 Achtergrond Europese systematiek geluidsdosismaat L_{den} en L_{night}

Volgens richtlijn 2002/49/EG van het Europees Parlement dient omgevingsgeluid in alle lidstaten op dezelfde wijze behandeld te worden. De geluidbelasting wordt daarbij bij voorkeur in decibel (dB) L_{den} of dB L_{night} te worden uitgedrukt. De geluidbelasting in dB L_{den} wordt ook wel de dag-avond-nacht-geluidbelastingsindicator genoemd. L_{den} is een berekend gewogen jaargemiddelde van de geluidbelasting tijdens de dag-, de avond- en de nachtperiode. De avond- en nachtperiode krijgen een opslag van respectievelijk +5 en +10 dB omdat in deze periode geluid hinderlijker wordt ervaren en deze periodes worden derhalve zwaarder meegewogen. De geluidbelasting in dB L_{night} is de nacht-geluidbelastingsindicator. Voor het bepalen van de hinder wordt primair gebruik gemaakt van L_{den} . L_{night} wordt gebruikt om effecten die kunnen leiden tot slaapverstoring inzichtelijk te maken. Voor bijzondere geluidbelasting situaties zijn aanvullende indicatoren tevens mogelijk. Redenen hiervoor kunnen bijvoorbeeld zijn⁶:

- Combinatie van geluid uit verschillende bronnen;
- Relatief stille zones in het buitengebied;
- De lage frequentiecomponent (LFG) van het geluid is sterk;

Windturbinegeluid is, ten opzichte van andere geluidbronnen, relatief constant van karakter. De maximale optredende geluidniveaus die door een windturbine worden veroorzaakt zijn circa 2-4 dB(A) hoger dan de waarde van het optredende jaargemiddelde geluidniveau van een windturbine⁷. Dit betekent dat er in vergelijking met andere geluidbronnen relatief weinig verschil is tussen het gemiddelde geluidniveau en het momentaan optredende geluidniveau. Bij een geluidbelasting van 47 dB L_{den} op een punt is het daadwerkelijk optredende gemiddelde geluidniveau⁸ op de gevel (bij maximale geluidproductie van de windturbine, wanneer het hard waait) circa 43-45 dB(A).

De hoeveelheid geluid die een windturbine produceert is afhankelijk van het geluidsbronvermogen van de windturbine. Het geluid van een windturbine kan desgewenst worden beperkt door toepassing van een voorziening op de bladen of door het vermogen te reduceren. Het reduceren van het vermogen leidt tot een verlies van energieproductie. De voorzieningen die aan de bladen kunnen worden getroffen gaan

⁶ Zie bijlage 1 punt 3 van richtlijn 2002/49/EG

⁷ Nederlandse geluidsnormen in internationaal perspectief, E. Koppen, Arcadis, Windnieuws nr 4 2015

⁸ De daadwerkelijk ervaren geluidniveaus zijn lager dan het gewogen L_{den} gemiddelde omdat de gewogen L_{den} waarde strafcorrecties heeft voor geluid in de avond en de nacht.

doorgaans niet ten koste van de energieproductie. De hoeveelheid geluid heeft tevens een rechtstreeks verband met de optredende windsnelheid. Tot een bepaalde windsnelheid neemt de geluidsproductie toe, vanaf deze specifieke windsnelheid blijft de geluidsproductie gelijk. De windsnelheid is door het KNMI voor geheel Nederland op ashoogtes tussen 10 en 260 meter boven het maaiveld de windverdelingen beschikbaar gesteld. Met deze verdelingen kan een goede voorspelling per beoordelingsperiode worden gegeven van de te verwachten geluidbelasting op de omgeving.

Gezien het constante karakter van windturbinegeluid (de verschillen tussen dag-, avond- en nachtperiode zijn beperkt) is er op zichzelf geen aanleiding een L_{night} normering te stellen aanvullend op een L_{den} -normering. Bij constante geluidniveaus bedraagt het verschil tussen de geluidbelasting in dB L_{den} en dB L_{night} circa 6 dB en biedt een aparte norm voor L_{night} geen extra bescherming, tenzij deze 7 dB of meer lager is dan de L_{den} -normering. Daarnaast kan er op basis van onderzoeken nog geen conclusie worden getrokken over de samenhang tussen geluid van windturbines en slaapverstoring⁹. De WHO geeft in haar rapport van 2018 dan ook geen advies over een L_{night} -norm voor windturbines.

3.3 Effecten van geluidbelasting

3.3.1 Inleiding

Blootstelling aan geluid kan leiden tot hinder of stress gerelateerde klachten. Met name in de nachtperiode, wanneer dit kan leiden tot slaapverstoring. Een recent literatuuronderzoek van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)¹⁰ concludeert hierover specifiek voor windturbines dat *“wonen in de buurt van een windturbine of het horen van geluid van windturbines kan leiden tot chronische hinder onder omwonenden”*. Voor andere gezondheidseffecten (slaapverstoring, slapeloosheid en geestelijke gezondheidseffecten) ontbreekt consistent bewijs.

In 2018 heeft de Wereld Gezondheidsorganisatie (WHO) een rapport uitgebracht ten aanzien van geluidrichtlijnen voor verschillende geluidbronnen binnen de Europese Unie¹¹. In aansluiting op de bevindingen van het RIVM volgt uit dit rapport ook dat er geen andere gezondheidseffecten dan hinder optreden als gevolg van de aanwezigheid van windturbinegeluid. Op basis van diverse onderzoeken wordt gesteld dat op basis van een geluidniveau van 45 dB L_{den} ongeveer 10% van de omwonenden ernstige hinder buitenshuis ervaart. Het bewijs hiervoor wordt echter aangemerkt als van lage kwaliteit. Er wordt geen percentage binnenshuis genoemd, noch wordt aangegeven welke percentages verwacht worden bij andere geluidbelastingen. Omdat de kwaliteit van dit bewijs als laag wordt beschouwd, is het advies wat hieruit voortkomt, door de WHO, aangeduid als voorwaardelijk (conditional)¹². Zie ook Kader 3.1. In het rapport wordt verder opgemerkt dat effecten veroorzaakt door de houding tegenover windturbines moeilijk zijn los te koppelen van de beleving van geluid, dat het percentage van de bevolking dat wordt gehinderd door windturbinegeluid beperkt is ten opzichte van gehinderden door andere geluidbronnen en dat wordt verwacht dat zorg voor communicatie, betrokkenheid en raadpleging van omwonenden tijdens het planningsproces een positieve invloed kan hebben op de beleving van de milieueffecten van windturbines.

⁹ Factsheet gezondheidseffecten van windturbinegeluid, RIVM, augustus 2021

¹⁰ RIVM-rapport 2020-0214, Gezondheidseffecten van windturbinegeluid, I. van Kamp & G.P. van den Berg

¹¹ Environmental Noise Guidelines for the European Region, WHO, 2018,

¹² In tegenstelling tot andere geluidbronnen, zoals wegverkeer, railverkeer en luchtvaart; voor deze bronnen is een veel sterker bewijs gevonden voor hinder en wordt de aanbevolen maximale geluidbelasting ‘sterk aanbevolen’ (strong recommendation)

Kader 3.1 WHO advies en RIVM review

De WHO heeft in 2018 een advies richtlijnen gepubliceerd voor milieugeluid, waaronder windturbinegeluid. Op basis van wetenschappelijk onderzoek naar blootstellingseffectrelaties adviseert de WHO een voorlopige drempelwaarde van 45 dB L_{den}. De blootstellingseffectrelaties zijn door de WHO bepaald op basis van wetenschappelijk onderzoek tot en met eind 2014. Gezondheidseffecten worden bij deze waarde, maar ook bij hogere waarden, niet verwacht. Voor gezondheidseffecten vanwege windturbinegeluid werd op basis van het onderzoek geconcludeerd dat (i) er nog onvoldoende bewijs bestaat, (ii) het bewijsmateriaal van lage kwaliteit is en (iii) hierdoor geen betrouwbare algemene blootstelling-effectrelatie kan worden vastgesteld. Desondanks heeft de WHO een conditioneel advies met drempelwaarde uitgebracht.

Het RIVM constateert in haar update van onderzoek naar gezondheidseffecten van windturbinegeluid "Health effects related to wind turbine sound: an update" (november 2020) het volgende: "Bij de voor de WHO uitgevoerde review van Guski et al (2017) werd gekeken naar studies die tot aan eind 2014 waren gepubliceerd. In hun literatuuronderzoek hebben Van Kamp et al (2020a, 2020b) een update gegeven van de WHO-review op basis van publicaties die waren verschenen tot aan eind 2019. Hierin kwamen 9 nieuwe publicaties over windturbinegeluid en hinder naar voren (die betrekking hadden op 5 onderzoeken) die aan de inclusiecriteria voldeden. Enkele van deze onderzoeken waren al besproken in onze review uit 2017." Samengevat: de door de WHO gestelde voorlopige drempelwaarde is gebaseerd op het bewijsmateriaal van lage kwaliteit (beperkt en tot eind 2014) en niet alle actuele onderzoeken zijn meegenomen. Het RIVM heeft geconcludeerd dat er geen nieuwe informatie naar voren is gekomen uit latere onderzoeken die tot inzichten hebben geleid die tot andere conclusies zouden leiden.

3.3.2 Hinderlijkheid van windturbinegeluid

Gebruikte dosis-hinder relaties voor windturbinegeluid

Janssen/TNO & Kuwano

In de literatuur zijn dosishinderrelaties gevonden die de geluidbelasting in dB L_{den} relateren aan een percentage personen dat ernstige hinder ondervindt. Twee van deze relaties zijn ook beschreven in het WHO-rapport uit 2018 (zie ook kader 2.1), Janssen¹³ et al uit 2011 en Kuwano¹⁴ et al uit 2014. De dosishinderrelatie van Janssen et al uit 2011 is dezelfde als het TNO-rapport uit 2008¹⁵ en is vastgesteld voor zowel hinder als ernstige hinder¹⁶ binnenshuis als buitenshuis.

De dosishinderrelatie uit Kuwano et al, 2014 is gegeven voor de situatie "here at home", wat door de WHO wordt geassocieerd met (ernstige) hinder buitenshuis^{17,18}. In onderstaande grafiek zijn de

¹³ Janssen SA, Vos H, Eisses AR, Pedersen E (2011). A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. *J Acoust Soc Am*. 130(6):3746–53

¹⁴ Kuwano S, Yano T, Kageyama T, Sueoka S, Tachibanae H (2014). Social survey on wind turbine noise in Japan. *Noise Control Eng J*. 62(6):503–20

¹⁵ S.A. Janssen, H. Vos en A.R. Eisses, TNO-rapport, Hinder door geluid van windturbines: Dosis—effectrelaties op basis van Nederlandse en Zweedse gegevens, 2008-D-R1051/B

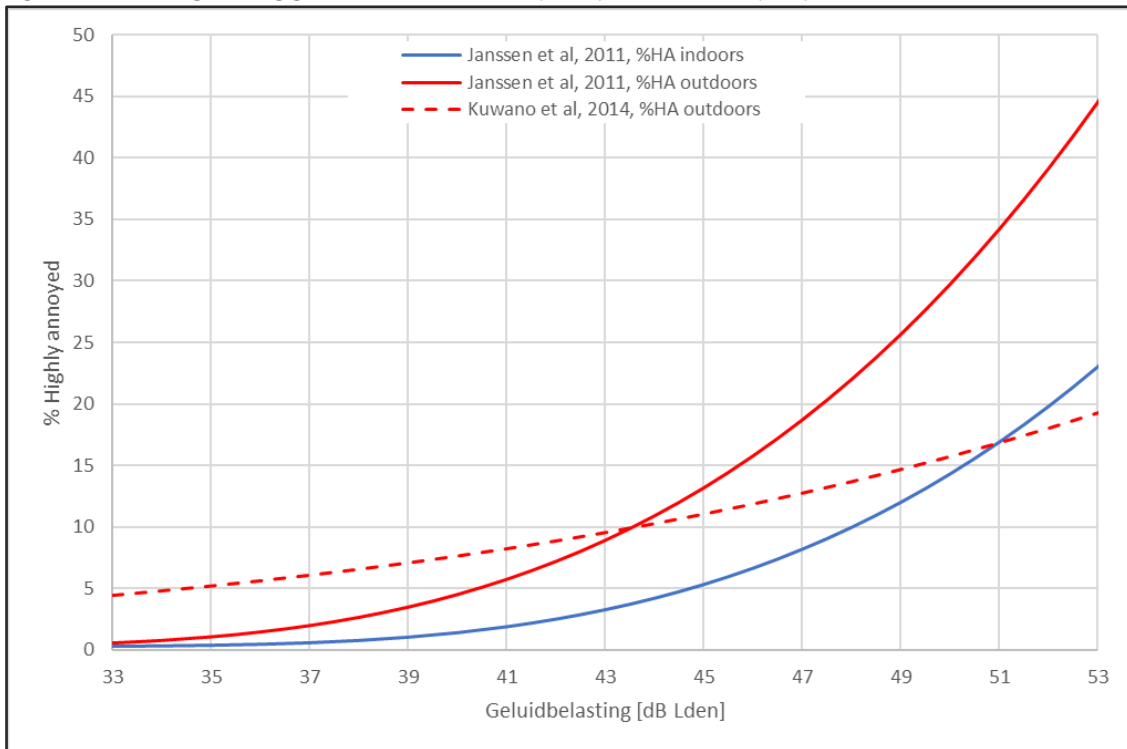
¹⁶ Volgens het TNO-rapport: "De verdeling van de hinderscores bij een gegeven geluidsniveau kan op verschillende manieren worden weergegeven. Vaak wordt het percentage antwoorden dat een zekere grens overschrijdt gerapporteerd. Als de grens 72 is op een 0-100 schaal, wordt het resultaat *het percentage "ernstig gehinderde" personen (%HA: % Highly Annoyed) genoemd, de grens van 50 geeft het percentage "gehinderde" personen (%A: % Annoyed).*"

¹⁷ Guski et al, 2017, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017,: WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance, 1539; doi:10.3390/ijerph14121539

¹⁸ Guski, R., Schreckenberg, D., & Schuemer, R. (2017). Supplementary Materials: WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14. <https://www.mdpi.com/1660-4601/14/12/1539/s1>

dosishinderrelaties (ernstige hinder, binnenshuis en buitenshuis) van Janssen et al (2011) en (ernstige hinder, buitenshuis) van Kuwano (2014) weergegeven voor geluidbelasting tussen 33 en 55 dB L_{den} .

Figuur 3.1 Percentage ernstig gehinderden binnenshuis (blauw) en buitenshuis (rood)



De ontwikkeling van de windturbinetechologie heeft door de jaren niet stilgestaan. Belangrijke kenmerken die zijn veranderd zijn de toegenomen afmetingen, het optimaliseren van windturbinebladen om windkracht maximaal en zo efficiënt mogelijk te benutten en het optimaliseren van de controle van de windturbinebladen/-rotor (zoals het individueel pitchen van bladen). Uit de literatuur volgen geen aanwijzingen dat er een verandering is opgetreden in de dosis-hinderrelatie van windturbinegeluid ondanks voornoemde ontwikkelingen in de windturbinetechologie. Zo toonde onderzoek van Hongisto et al¹⁹ aan dat voor geluidbelastingen tot 40 dB $L_{A,eq}$ de mate van ernstige hinder van een vergelijkbaar geluidniveau van windturbines tussen de 3 en 5 megawatt (hierna: MW) opgesteld vermogen overeenkomt met die van kleinere windturbines (0,15 – 3 MW)²⁰.

Andere beschouwde dosis-hinder relaties

Umwelt Bundesamt (2022)

In juni 2022 heeft de Duitse Umwelt Bundesamt (German Environment Agency) een onderzoek gepubliceerd waarin de geluideffecten van windturbines op land zijn onderzocht. Hierin is echter de geluidbelasting in een andere grootte beoordeeld (L_r i.p.v. L_{den}) en is een andere puntenschaal gehanteerd om te beoordelen of iemand ernstig gehinderd is of niet. In het onderzoek van de Umwelt

¹⁹ Hongisto, V., Oliva, D., & Keränen, J. (2017). Indoor noise annoyance due to 3–5 megawatt wind turbines—An exposure–response relationship. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 142(4), 2185-2196

²⁰ Vanwege het gebrek aan hoeveelheid data van hogere geluidniveaus kan dit voor geluidniveaus boven 40 dB $L_{A,eq}$ niet bevestigd worden

Bundesamt wordt de zogeheten 'five point verbal scale' gebruikt (aanbevolen door ICBEN, International Commission on Biological Effects of Noise) en iemand die in de bovenste twee schalen valt wordt daarbij als ernstig gehinderd beschouwd (bovenste 40%). In de onderzoeken van Janssen en Kuwano wordt echter de bovenste ~28% als ernstig gehinderd beschouwd (conform Schultz et al²¹ en wordt ook door de auteurs van het WHO-rapport¹¹ als de de facto standaard beschouwd²²). De dosis-hinderrelatie van de Umwelt Bundesamt is daarom niet rechtstreeks vergelijkbaar met de dosis-hinderrelaties van Janssen en Kuwano. Onderzoek van Gjestland²³ en Morinaga²⁴ laat zien dat de geluidbelasting²⁵ waarbij 10% van de blootgestelden ernstige hinder ondervindt met circa 5 dB verschuift wanneer i.p.v. vijfpunts ICBEN schaal hetzelfde criterium als Janssen en Kuwano wordt gehanteerd. Afhankelijk van de bronsoort bedraagt het verschil tussen de 3,9 en 6,7 dB.

Door zowel een correctie toe te passen voor de afwijkende dosismaat als de afwijkende wijze van enquêteren kan een vergelijking worden gemaakt van de waarde waarbij 10% van de blootgestelden ernstige hinder binnenshuis ondervindt uit het onderzoek van de Umwelt Bundesamt en uit het onderzoek van Janssen²⁶. Voor de dosismaat zou een correctie van 4,7 dB kunnen worden gebruikt, vergelijkbaar met Janssen. Voor de wijze van enquêteren zou bijvoorbeeld een correctie van 4,9 dB kunnen worden gehanteerd, conform het gemiddelde voor verschillende bronsoorten uit het onderzoek van Morinaga²⁴. Door $4,7 + 4,9 = 9,6$ dB op te tellen bij de waarde in L_r uit het onderzoek van Umwelt Bundesamt waarbij 10% van de blootgestelden ernstige hinder binnenshuis ondervindt, kan een vergelijking worden gemaakt met de resultaten uit het onderzoek van Janssen. De waarde waarbij 10% van de blootgestelden ernstige hinder binnenshuis ondervindt bedraagt circa 38 dB L_r (bron: figuur 60 uit onderzoek Umwelt Bundesamt). Dit komt overeen met een waarde van circa 47,6 dB L_{den} na correcties voor dosismaat en wijze van enquêteren. Tabel C.1 uit het TNO-onderzoek¹⁵ laat zien dat bij een geluidbelasting van 48 dB L_{den} 9,91% van de blootgestelden ernstige hinder binnenshuis ervaart. Of de dosis-hinderrelatie bij lagere geluidbelastingen eveneens vergelijkbaar is, is op basis van de op dit moment beschikbare informatie niet te beoordelen. Ook kan niet worden bepaald of de correctie vanwege de wijze van enquêteren van 4,9 dB voor windturbinegeluid van toepassing is (het betreft immers een gemiddelde van wegverkeer-, railverkeer- en vliegverkeerslawaai). Ondanks deze kanttekeningen lijkt de dosis-hinderrelatie van TNO daarmee nog steeds toepasbaar. Gelet op de verschillen met de onderzoeken van Janssen en Kuwano is het onderzoek van Umwelt Bundesamt niet gebruikt om het aantal ernstig gehinderden binnenshuis te bepalen. Omdat er - na correctie voor methodeverschillen – geen significante verschillen meer zijn en er voor lagere waarden belangrijke informatie ontbreekt, is er ook geen reden om de dosismaat van Umwelt Bundesamt te verkiezen boven die van TNO of Kuwano.

²¹ Schultz, T. J. (1978). Synthesis of social surveys on noise annoyance. The journal of the acoustical society of America, 64(2), 377-405.

²² Guski, R., Schreckenber, D., & Schuemer, R. (2017). WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and annoyance. International journal of environmental research and public health, 14(12), 1539.

²³ Gjestland, T. (2023). Comparing results from annoyance surveys - Factors affecting the results of a survey. 14th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem

²⁴ Morinaga, M., Nguyen, T. L., Yokoshima, S., Shimoyama, K., Morihara, T., & Yano, T. (2021). The Effect of an Alternative Definition of "Percent Highly Annoyed" on the Exposure-Response Relationship: Comparison of Noise Annoyance Responses Measured by ICBEN 5-Point Verbal and 11-Point Numerical Scales. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(12), 6258.

²⁵ Er is in de genoemde onderzoeken gekeken naar weg-, rail- en luchtverkeerslawaai.

²⁶ Het onderzoek van Kuwano maakt geen onderscheid tussen hinder binnen- en buitenshuis, derhalve wordt een vergelijking gemaakt met Janssen

Michaud (2016)

In onderzoek van Michaud²⁷ uit 2016 zijn diverse dosis-hinderrelaties met elkaar vergeleken, waarbij werd gefocust op de zogeheten Community Tolerance Level (CTL), de geluidbelasting in Day-Night Average Sound Level (DNL) waarbij 50% van de omwonenden ernstige hinder zou ervaren. Allereerst lijkt er, net als bij Kuwano en Janssen, een relatie te zijn tussen hinder en geluidniveau. Maar tussen verschillende gemeenschappen (bijk land, maar ook binnen een land kan er sprake zijn van verschillende gemeenschappen) lijken er verschillen te zijn in CTL. Er wordt gesuggereerd dat dit oa. komt door persoonlijke en situationele factoren, zoals houding t.o.v. windenergie of gevoeligheid voor geluid. De CTLs (en de door Michaud daarop gebaseerde dosis-hinderrelaties) van de gemeenschappen die zijn beschouwd in het onderzoek van Janssen / TNO zijn vergelijkbaar met de CTLs en dosis-hinderrelaties van Canadese en Japanse gemeenschappen. Hierbij moet worden opgemerkt dat Michaud uitgaat van de ervaren hinder buitenshuis⁴⁵. Onder de aanname “DNL \approx L_{den}” geldt dat 10% ernstige hinder (buitenshuis) optreedt bij gemiddeld 45 dB L_{den}. Bij Kuwano is dit circa 44 dB L_{den} en bij Janssen / TNO bedraagt de geluidbelasting circa 43 – 44 dB L_{den}. Ter indicatie is de dosis-hinderrelatie, gebaseerd op het gemiddelde van meerdere gemeenschappen, gebruikt om het aantal ernstig gehinderden buitenshuis te bepalen.

Overige onderzoeken

Ook andere onderzoeken van na 2014 beschrijven de dosis-hinderrelatie van windturbines²⁸. De uitkomsten van die onderzoeken bevestigen de uitkomst van het onderzoek van Janssen / TNO en vormen hiermee een actualisatie en validatie. Dit wordt bevestigd met de WHO richtlijnen (onderzoek tot en met 2015) en het RIVM literatuuronderzoek uit 2020 (actualisatie literatuur vanaf de WHO onderzoeksbasis).

3.3.3 Slaapverstoring als gevolg van windturbinegeluid

Zoals ook in paragraaf 3.2 beschreven blijkt het verband tussen nachtelijke geluidbelasting als gevolg van windturbines en slaapverstoring zwak. In het WHO-rapport¹¹ van 2018 wordt vanwege het ontbreken van consistent bewijs en geen bewijs in het algemeen voor het effect van L_{night} op slaap dan ook geen norm geadviseerd voor de nachtperiode.

In 2023 is een onderzoek gepubliceerd²⁹ van Godono et al; een literatuurstudie naar de effecten van windturbinegeluid op slaapstoornissen. Er wordt een hogere prevalentie van slaapstoornissen gevonden in de buurt van windturbines dan op grotere afstand, echter stellen de onderzoekers ook vast dat er nog geen conclusies kunnen worden getrokken met betrekking tot de causaliteit.

3.3.4 Windturbinegeluid in vergelijking met andersoortige geluidbronnen

Er zijn in Nederland ook voor andere vormen van geluidproducerende activiteiten geluidnormen van toepassing. Bijvoorbeeld voor weg- en railverkeer, industrie en luchtvaart. Bij de vaststelling van de

²⁷ Michaud, D. S., Keith, S. E., Feder, K., Voicescu, S. A., Marro, L., Than, J., ... & van den Berg, F. (2016). Personal and situational variables associated with wind turbine noise annoyance. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(3), 1455-1466.

²⁸ Naast Pedersen (2009) en Janssen et al. (2011) betreft dit bijvoorbeeld Pawlaczyk-Łuszczynska, M. et al. (2014 en 2018), Hongisto et al. (2017 en 2022). Deze onderzoeken zijn (m.u.v. Hongisto 2022) ook betrokken door WHO (2018) en/of RIVM (2020/2021) bij het beoordelen van de meest recente inzichten.

²⁹ Godono, A., Ciocan, C., Clari, M., Mansour, I., Curoso, G., Franceschi, A., ... & Boffetta, P. (2023). Association between exposure to wind turbines and sleep disorders: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 254, 114273.

geluidnormen voor andere bronnen wordt vaak de maximaal toegestane geluidbelasting gerelateerd aan een percentage personen die bij deze geluidbelasting ernstige hinder ondervindt³⁰. In Nederland wordt voor het beoordelen van geluidbronnen en gevolgen daarvan voor de omgeving altijd de situatie binnenshuis beoordeeld. Achterliggende reden is dat een bewoner in zijn eigen woning een goed- woon- en leefklimaat mag verwachten en daar ook optimale bescherming verdient. Ook voor windturbinegeluid wordt daarom gekeken naar de situatie binnenshuis. De volgende tabel geeft het geaccepteerde percentage potentieel ernstig gehinderden aan bij de normstelling in Nederland voor verschillende geluidbronnen. Voor windturbines ligt het verwachte percentage ernstig gehinderden bij een geluidbelasting van L_{den} 47 dB op circa 9%³¹.

Tabel 3.1 Verwacht percentage ernstig gehinderden voor verschillende geluidsbronnen³²

Geluid veroorzakende activiteit/geluidsbron	Verwacht percentage ernstig gehinderden*
snelwegverkeer	14 %
railverkeer	16 %
industrie/bedrijvigheid	9 %
grote luchthavens	54 %
windturbines	9%

* bij het maximale toelaatbare geluidniveau

In absolute aantallen gaat het in Nederland bij wegverkeer om ca. 970.000 ernstig gehinderden, bij luchtvaartverkeer ruim 260.000, bij railverkeer om bijna 100.000 en windturbines ruim 7.000 ernstig gehinderden³¹.

Niet-akoestische factoren en hinderbeleving

Wat geluidbelasting voor een individuele bewoner betekent, kan sterk verschillen: de meesten zullen weinig tot geen hinder ervaren, maar anderen kunnen er om meerdere redenen veel last van hebben. De aard van ondervonden hinder kan daarbij ook worden veroorzaakt door niet-akoestische factoren. In het kennisbericht Geluid van windturbines uit 2015 wordt hierover nog het volgende gesteld:

“Het is niet goed mogelijk de beoordeling van geluid los te zien van andere factoren. Bijvoorbeeld het zien van windturbines en de schaduwverping kunnen invloed hebben op de mate van geluidhinder. Ook heeft de manier waarop een project tot stand is gekomen, invloed op de houding en waarneming van omwonenden. Dit is bij andere geluidsbronnen niet anders.”

In de factsheet van RIVM (2021) worden niet-fysieke factoren die invloed kunnen hebben op de hinderbeleving van windturbines als volgt gecategoriseerd:

- Demografische factoren (o.a. leeftijd, geslacht, opleidingsniveau)
- Persoonlijke factoren (o.a. angst, geluidgevoeligheid)
- Situationele factoren (o.a. aanwezigheid andere geluidbronnen, type gebied)
- Contextuele (maatschappelijke/economische) factoren (o.a. betrokkenheid bij het proces, procedurele rechtvaardigheid)

³⁰ Brief van de minister van VROM, 31 209, nr 135, 28-9-2010

³¹ Zie o.a. Kamerbrief Staatssecretaris van EZK, 9 juni 2021; [DGKE-WO / 21119163](#)

³² [Brief van de minister van VROM, 31 209, nr 135, 28-9-2010](#)

Hoewel de invloed van deze factoren niet alleen een rol spelen windturbinegeluid, maar tevens bij andersoortige geluidbronnen, spelen bepaalde aspecten van persoonlijke en contextuele factoren naar verhouding een grote rol bij windturbinegeluid. Lokale betrokkenheid bij het planningsproces en gedeeld eigenaarschap zijn voorbeelden van belangrijke factoren voor de sociale acceptatie van het windpark en de hinderbeleving van omwonenden. Ook in diverse literatuur (bijv. TNO rapport uit 2008) wordt beschreven dat in geval er sprake is van (economisch) profijt van de windturbines door bewoners (contextuele factor), deze minder of in het geheel geen hinder ondervinden.

3.4 Karakterisering van windturbinegeluid

3.4.1 Laagfrequent geluid en infrason geluid

Een terugkerend thema in de discussie rond de normen voor windturbinegeluid is laagfrequent geluid (LFG) en infrageluid. Dit betreft geluidemissie in het spectrum beneden de circa 100 Hz (laagfrequent) en beneden de 20 Hz (infrason). In het kennisbericht geluid van Windturbines (2015) is het volgende opgenomen:

“Omwonenden zijn bezorgd dat door een toename van de hoogte van windturbines meer laagfrequent geluid zal ontstaan. Op basis van metingen wordt dit verschil echter gering geacht. Daarnaast wordt de nadruk op het laagfrequente aandeel onterecht genoemd omdat het normaal geaccepteerde geluid van wegverkeer meer laagfrequent geluid bevat dan wat wettelijk is toegestaan bij windturbines.”

Windturbines produceren geluid over het hele spectrum van lage en hoge tonen, net als andere geluidbronnen. Wanneer gekeken wordt naar de spectrale verdeling van de geluidemissie van windturbines is er geen sprake van een specifiek groot aandeel in de frequenties beneden de 100 Hz. Dit aandeel is bij moderne grote windturbines (circa 250 meter tiphoogte) niet significant anders dan ten tijde van het opstellen van het kennisbericht en in het verleden bij windturbines van voor deze datum. Deze conclusie wordt bevestigd in o.a. de notitie van Van Den Berg (2021) waarin wordt verwezen naar onderzoek van Soendergaard (2015)³³. Relevant in het onderzoek van Soendergaard is de opmerking dat ‘nieuwere’ grote turbines naar verwachting een beperkter aandeel LFG hebben dan ‘oudere’ grote turbines als gevolg van de techniekontwikkeling van de windturbine (het pitchen van de bladen en optimalisatie van bladontwerp).

Ook het RIVM stelt in haar recente literatuurstudie uit 2020 dat laagfrequent geluid en infrageluid van windturbines niet voor andere effecten zorgt dan ‘normaal’ geluid. Er ontbreekt bewijs dat laagfrequent geluid en infrageluid ver onder de gehoordrempel tot enig effect kan leiden. Bij blootstelling aan windturbinegeluid vormt voornamelijk het geluidniveau en de amplitudemodulatie (zie paragraaf 3.4.2) van het algehele windturbinegeluid de oorzaak van de hinder.

Kortom: het aandeel laagfrequent geluid is niet onevenredig groot bij windturbines (in tegenstelling tot bijvoorbeeld compressoren of transformatoren), het aandeel LFG is niet significant toegenomen met het formaat van de windturbine en er is geen aanleiding om te veronderstellen dat specifiek LFG en infrageluid een effect op de volksgezondheid veroorzaken of tot additionele hinder leiden ten opzichte van dat wat reeds wordt beoordeeld. Bekend is de beoordeling van het RIVM dat een geluidsnorm van 47 dB L_{den} ook

³³ Soendergaard, B. (2015). Low frequency noise from wind turbines: do the Danish regulations have any impact? An analysis of noise measurements. Int. Journal of Aeroacoustics volume 14.

voldoende bescherming biedt voor het laagfrequente deel als dit bijvoorbeeld wordt vergeleken met de Deense norm. In 2014 concludeert de Staatsecretaris van I&M³⁴ dan ook: 'De Deense norm voor laagfrequent windturbinegeluid in het binnenmilieu van een woning biedt geen extra bescherming ten opzichte van de Nederlandse norm voor de gevelbelasting in geval van een standaard geïsoleerde woning.'

Het specifiek toevoegen van een norm voor LFG van windturbines leidt daarmee dus niet tot een betere beoordeling en bescherming van de optredende effecten van geluid. Bovengenoemde bevindingen worden eveneens bevestigd in een recente review door de Expertgroep gezondheid van de gemeente Amsterdam pag. 35 uit Advies expertgroep gezondheidseffecten Windturbines, 4 april 2022):

"Windturbines produceren niet meer laagfrequent geluid en infrageluid dan andere geluidbronnen: een drukke weg die op een woning 55 dB L_{den} veroorzaakt, bevat meer laagfrequent geluid dan een windturbine bij 40 dB L_{den} . Ook wijst onderzoek uit dat grotere windturbines niet meer laagfrequent geluid en infrageluid produceren dan kleinere windturbines. De gemeten toename van laagfrequent geluid bij windturbines is evenredig met de toename van het totale geluidniveau van windturbines. De controle op laagfrequent geluid is derhalve verdisconteerd in de huidige normering voor (het volledige spectrum van) *windturbinegeluid*."

Met bovenstaande kennis kan worden geconcludeerd dat het hanteren van een L_{den} en eventueel een L_{night} norm volstaat ter bescherming van laagfrequent geluid van windturbines.

In het onderzoek van Peutz³⁵ wat is bijgevoegd bij het ontwerpbesluit windturbines leefomgeving is laagfrequent geluid als gevolg van moderne, grote windturbines onderzocht. Er wordt geconcludeerd dat bij een grenswaarde van 41 dB L_{night} en 47 dB L_{den} er bij woningen met beperkte laagfrequente geluidwering wordt voldaan aan de Vercammen-curve, bij zowel windturbines mét als zonder serrations. Bij strengere normen dan 47 dB L_{den} is dat uiteraard ook het geval. Er kan wel sprake zijn van enig hoorbaar laagfrequent geluid in woningen, maar hinder als gevolg van LFG zal beperkt zijn. Een aanvullende berekening in het kader van LFG is derhalve niet uitgevoerd.

3.4.2 Amplitudemodulatie

Uit onderzoek dat in de voorgaande paragrafen is beschreven volgt dat windturbinegeluid bij gelijke geluidsniveaus hinderlijker wordt ervaren dan ander geluid, zoals van wegverkeergeluid, bij hetzelfde geluidsniveau. Het ritmische karakter van het windturbinegeluid wordt daarbij als één van de oorzaken benoemd.³⁶ Het ritmische karakter van windturbinegeluid wordt aangeduid als 'amplitudemodulatie' (hierna: AM). Dit is een verschil in geluidsniveau (sterkte of diepte) over een terugkerende periode (frequentie), overeenkomend met de draaisnelheid van de rotorbladen vermenigvuldigd met het aantal rotorbladen (ook wel de blade pass frequency). De grootte van geluidsverschil en de snelheid van de herhaling zijn elementen die de hinderlijkheid bepalen.

³⁴ Tweede Kamer brief Structuurvisie wind op land, 31 maart 2014 (kamerstuk 33612, nr 22)

³⁵ Onderzoek naar laagfrequent geluid ten gevolge van windturbines, Peutz, F 22656-2-RA-001, 20 januari 2023

³⁶ Interessant is de conclusie uit de literatuurreview van het RIVM (2020): A number of studies showed that especially the rhythmic character of the sound (technically: Amplitude Modulation or AM) was experienced as annoying. We concluded that AM appeared to aggravate already existing annoyance, but AM did not lead to annoyance in people who were positive about or benefitted from wind turbines.

In onderzoek naar de metingen van AM in de VS³⁷ wordt geconcludeerd dat het optreden van AM niet voorspelbaar is. Deze conclusie wordt bevestigd in een studie uit 2016³⁸ in opdracht van het Britse ministerie van Energie en Klimaatverandering. AM varieert met verschillende meteorologische parameters en kan niet worden voorspeld. Er wordt wel aan een meetnorm gewerkt, maar die is momenteel nog niet beschikbaar.

Onderzoeken naar de dosis-hinderrelatie richten zich op het waargenomen windturbinegeluid en daarmee ook het aspect van de AM. De kennisbasis laat zien dat vooralsnog de aanknopingspunten ontbreken om specifiek voor AM een separate norm te stellen naast de algemene normstelling in L_{den}/L_{night} . Het normeren van het windturbinegeluid bevat daarmee ook een beperking van het optreden van AM.

3.4.3 Tonaal geluid

Men spreekt over tonaal geluid wanneer er sprake is van een duidelijk waarneembare toon in het geluid afkomstig van de windturbine (bijvoorbeeld een brom- of fluittoon). Tonaal geluid is meer opvallend voor het menselijk gehoor en zorgt daardoor doorgaans voor meer hinder. Voor industrielawaai wordt een straftoeslag van 5 dB toegepast indien het geluid ter plaatse van een geluidgevoelig object een tonaal karakter heeft.

Tonaliteit komt niet veel voor bij windturbines, en in de Meet- en rekenmethode geluid windturbines (Bijlage IVi Omgevingsregeling) is geen methode opgenomen voor het vaststellen van tonaliteit bij windturbines. In de normstelling van het Activiteitenbesluit milieubeheer werd verondersteld dat eventuele tonaliteit van windturbines reeds is verdisconteerd in de dosis-hinderrelatie die aan de normstelling ten grondslag lag, en dat een aanvullende beoordeling van tonaal geluid niet nodig was.

In het planMER dat is opgesteld ten behoeve van het ontwerpbesluit windturbines leefomgeving, wordt in overweging gegeven om een toeslag voor tonaal geluid op te nemen en een objectieve beoordelingsmethode voor te schrijven. Er worden twee beoordelingsmethodes genoemd, één op basis van IEC61400-11 voor bepaling aan de bron en één op basis van ISO 1996-2:2017 voor bepaling bij de ontvanger. Een aandachtspunt wat genoemd wordt is de toepassing van de tonaliteitstoelage op een jaargemiddelde norm. Het toepassen van de toeslag op enkel die perioden waar sprake is van tonaliteit kan zorgen voor uitmiddeling en mogelijk geen recht doen aan de dagen dat er extra hinder wordt ondervonden als gevolg van het tonale geluid.

In het ontwerpbesluit windturbines leefomgeving (toelichting) is beschreven dat in de Omgevingsregeling een objectieve methode wordt opgenomen³⁹ voor het bepalen van tonaliteit. Tevens wordt in de toelichting op het ontwerpbesluit windturbines leefomgeving een toeslag van 5 dB beschreven die wordt toegepast op het jaargemiddelde L_{den} -niveau. Ook in de toelichting wordt verondersteld dat tonaal geluid slechts in

³⁷ RSG et al, "Massachusetts Study on Wind Turbine Acoustics," Massachusetts Clean Energy Center and Massachusetts Department of Environmental Protection, 2016.

(<https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/RSG-2016-Report.pdf>) – summary:

<https://www.cesa.org/resource-library/resource/summary-of-massachusetts-study-on-wind-turbine-acoustics/>

³⁸ Wind turbine AM Review, phase 2 report, Department of Energy & Climate Change (UK), WSP | Parsons Brinckerhoff, Project No 3514482A, August 2016

(https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/562186/Phase_2_Report_-_Wind_Turbine_AM_Review_Issue_3_FINAL_.pdf):

³⁹ Deze methode is nog niet expliciet beschreven en ook nog niet opgenomen in de Omgevingsregeling. Ten tijde van schrijven is dus nog niet bekend hoe men voornemens is dit te willen beoordelen

uitzonderlijke gevallen optreedt en extra metingen n.a.v. vermoedens van tonaal geluid niet tot extra regeldruk zal leiden.

Vaststellen tonaliteit bij ontvanger

Voor Energielandgoed Wells Meer kan worden overwogen om een vergelijkbare norm op te nemen als voor industrielawaai (5 dB straftoeslag bij tonaal geluid). Dat wil zeggen dat middels metingen ter plaatse van de ontvanger wordt beoordeeld of er sprake is van tonaal geluid. Deze methode, zoals beschreven in het planMER, kan worden gebaseerd op ISO 1996-2:2017 – bijlage J⁴⁰.

Bij industrielawaai geldt voor metingen op basis van ISO 1996-2:2017 (kritische bandbreedtemethode) dat er sprake is van geluid met een duidelijk tonaal karakter indien de grootheid K_T 5 dB of meer bedraagt⁴¹. Dit komt overeen met een gemiddelde hoorbaarheid (ΔL) van meer dan 9 dB, conform tabel J.1 van ISO 1996-2:2017.

Vanwege de hoogte van een dergelijke straffactor (5 dB) en de geluidbelastingen op nabijgelegen woningen, zorgt een eventuele aanwezigheid van tonaliteit ervoor dat één of meerdere turbines al dan niet deels moeten worden stilgezet. Een reductie van 5 dB L_{den} is namelijk zeer ingrijpend en met reguliere geluidvoorzieningen niet of nauwelijks realiseerbaar.

Vaststellen tonaliteit bij bron

Vanwege de uitvoerbaarheid kan het wenselijk zijn om de tonaliteit bij de bron vast te stellen. Dichter bij de bron is het brongeluid en eventuele tonaliteit beter te onderscheiden van het achtergrondgeluid dan op verder weg gelegen locaties (zoals bij de ontvanger). De Meet- en rekenmethode geluid windturbines voorziet niet in een methode om tonaliteit door middel van een bronmeting te kwantificeren. De IEC 61400-11:2012⁴² voorziet hier echter wél in en zou derhalve als leidraad kunnen dienen voor het kwantificeren van tonaliteit.

Ook bij het kwantificeren van de mate van tonaliteit conform IEC 61400-11:2012 wordt een gemiddelde hoorbaarheid (tonal audibility) bepaald. Bij een gemiddelde hoorbaarheid van >0 dB is sprake van hoorbaar tonaal geluid⁴³. Om, net als bij industrielawaai, een straftoeslag van 5 dB toe te passen bij geluid met een duidelijk tonaal karakter kan eveneens aansluiting worden gezocht met tabel J.1 uit ISO 1996-2:2017, en dient de gemiddelde hoorbaarheid (ΔL), bepaald conform IEC 61400-11:2012, meer dan 9 dB te zijn om aangemerkt te worden als duidelijk hoorbaar tonaal.

Het is ook mogelijk om een lagere grootheid K_T , zoals in andere landen, te hanteren als grens voor “duidelijk tonaal karakter”. In Duitsland wordt een straftoeslag gehanteerd bij een K_T van 3 dB of hoger. Dit komt, volgens ISO 1996-2:2017, overeen met een gemiddelde hoorbaarheid van 5 dB of hoger. Het verlagen van de toegestane gemiddelde hoorbaarheid zorgt voor meer bescherming bij omwonenden. Er bestaat echter de kans dat windturbinegeluid ten onrechte wordt geclassificeerd als “duidelijk tonaal karakter” of dat tijdens de aanbesteding windturbinefabrikanten niet of tegen hogere prijzen willen aanbieden vanwege eventuele risico's. Het aanmerken van windturbinegeluid als “duidelijk tonaal” bij een gemiddelde hoorbaarheid van 6 dB of hoger biedt enerzijds meer bescherming tegen tonaal geluid dan de

⁴⁰ In deze bijlage J wordt verwezen naar ISO/PAS 20065, waarin een methode op basis van smalbandige FFT-metingen wordt voorgesteld.

⁴¹ Paragraaf 4.3.1 van Meet- en rekenmethode geluid industrie, bijlage IVh Omgevingsregeling

⁴² Of: NEN-EN-IEC 61400-11:2013

⁴³ Hoorbaar tonaal geluid is niet hetzelfde als geluid met een duidelijk tonaal karakter

voorgestelde methode uit het planMER en industrielawaai, maar verkleint de kans op onterechte classificering van het geluid als “duidelijk tonaal”.

Gelet op de uitvoerbaarheid van het handhaven van een dergelijke norm wordt de voorkeur gegeven aan het vaststellen van tonaliteit bij de bron (conform IEC 61400-11:2012).

3.5 Alternatieven voor toetsingskader windturbinegeluid vanuit wetenschappelijk perspectief

Er wordt eerst gekeken naar verschillende redelijkerwijs te beschouwen alternatieven voor de normen die voor windturbinegeluid kunnen worden gehanteerd. Feitelijk zijn er weinig onderbouwde (advies)normen beschikbaar welke wetenschappelijk goed gemotiveerd zijn in relatie tot het doel van hinderbeperking. De aangegeven grenzen die voor Energielandgoed Wells Meer relevant worden geacht zijn:

- Geen geluidnorm (worst-case situatie)
- 47 dB L_{den} – grenswaarde conceptnormen windturbinebepalingen en geluidnorm Activiteitenbesluit;
- 45 dB L_{den} – standaardwaarde conceptnormen windturbinebepalingen en voorwaardelijke advieswaarde WHO¹¹;
- 44 dB L_{den} – Op basis van meerdere dosis-hinderrelaties (Kuwano, Michaud, Janssen) is een geluidbelasting van circa 44 dB L_{den} de ondergrens van 10% ernstige hinder buitenshuis

Voor het stellen van een andere soort van beschermingsmaat van de geluidnorm (bijv. een bescherming bieden via het beperken van een geluidniveau omschreven als L_{95} , L_{Aeq} , o.a.) dan de L_{den} -methodiek is er geen aanleiding. Andere beschermingsmaten van de geluidnorm zijn namelijk niet voldoende vastgelegd / onderzocht in (wetenschappelijke) studies of onderbouwingen voor toepassing bij windturbinegeluid. Er is daardoor weinig bewijslast of onderzoek ten aanzien van de relatie met ervaren hinder aanwezig.

3.5.1 Equivalente geluidniveau bij maximale emissie ($L_{Aeq,max}$)

Er zijn windparken in Nederland⁴⁴ waar naast een norm in de grootheid L_{den} ook een norm in L_{Aeq} is voorgeschreven. L_{Aeq} heeft betrekking tot het geluidniveau gedurende een doorgaans korte periode, bijvoorbeeld 1 minuut of 10 minuten. Deze norm wordt doorgaans opgenomen op verzoek van omwonenden als extra handhavingsmechanisme. Het idee hiervan is dat het dan op ieder moment mogelijk is te bepalen of een windturbine de norm overschrijdt, in plaats van dat na afloop van een kalenderjaar wordt vastgesteld dat er sprake is geweest van normoverschrijding.

Voor toetsing aan de norm kan met het huidige Meet- en rekenvoorschrift geluid windturbines reeds op ieder moment worden gehandhaafd. Middels een bronmeting kan worden geverifieerd of de windturbine voldoet aan de specificaties waarmee het akoestisch onderzoek is uitgevoerd. Voor het bepalen van de jaargemiddelde geluidemissie kan zowel de langjaargemiddelde windverdeling als de windverdeling van het afgelopen kalenderjaar worden gebruikt. Zo kan vanaf moment van in gebruik name handhavend worden opgetreden.

Soms wordt beargumenteerd dat zeer hoge piekniveaus worden toegestaan en kunnen worden gecompenseerd met windstillere perioden, waardoor de geluidbelasting in dB L_{den} de norm niet overschrijdt. Windturbines zijn echter beperkt in de maximale geluidniveaus die ze kunnen veroorzaken.

⁴⁴ Bijvoorbeeld windpark Horst en Telgt of windpark Haringvlietdam

Bij lage windsnelheden draait de windturbine langzamer en wordt ook minder geluid geproduceerd. Echter de rotatiesnelheid van de windturbine neemt op een gegeven moment niet meer toe, waardoor ook de geluidproductie niet meer toeneemt. Afhankelijk van het windturbinetype en locatie ligt het maximale geluidniveau wat een windturbine veroorzaakt circa 2-4 dB(A) hoger dan het jaargemiddelde geluidniveau in de nachtperiode (of: 2-4 dB(A) lager dan de geluidbelasting in dB L_{den}). Met een begrenzing van het L_{den} -niveau wordt derhalve ook indirect een beperking gesteld aan het maximale geluidniveau in dB L_{Aeq} . Vanuit het aspect milieubescherming voegt een L_{Aeq} -norm naast een L_{den} -norm niet voldoende toe om te adviseren een dergelijke norm op te nemen.

In onderzoek⁴⁵ uit 2022 worden de mogelijkheden en meerwaarde onderzocht voor het stellen van een afstandsnorm voor windturbines tot woningen, in plaats van of additioneel aan een geluidnorm. Dit gebeurt op basis van een beoordeling van bestaand onderzoek en de praktijk in een aantal landen. Het onderzoek betreft een literatuuronderzoek (er komen geen nieuwe inzichten of nieuwe literatuur naar boven). Het literatuuronderzoek laat zien dat de achtergrond achter de (voormalige) Nederlandse geluidnorm als enige is gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek naar hinderbeleving. De inhoud van de rapportage geeft daarom geen aanwijzingen die aanleiding geven een andere afweging te maken.

Naast bovenstaande argumentatie geeft de omgeving van het windpark (zie hoofdstuk 2) geen specifieke aanleiding om een andere norm-systematiek als maat te hanteren bij dit project. Een bescherming tegen de geluidhinder op de omgeving via een maximale L_{den} maat wordt als meest effectief, geschikt en toepasbaar gezien.

3.6 Beoordeling van windturbinegeluid

Toepassing rekenmethodiek

Om de geluidbelasting te berekenen is een rekenmethodiek vereist die rekening houdt met de specifieke eigenschappen van windturbinegeluid. Bijlage IVi van de Omgevingsregeling (“Meet- en rekenmethode geluid windturbines⁴⁶”) is specifiek opgesteld voor het berekenen van windturbinegeluid. De overdrachtsberekeningen van deze rekenmethode zijn integraal overgenomen van de “Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai” (HMRI), uitgave 1999 van het Ministerie van VROM, methode II.8. Het HMRI is op zijn beurt op vele fronten vergelijkbaar⁴⁷ met ISO 9613-2, de volgens de EU-richtlijn aanbevolen methode voor overdrachtsberekeningen voor industriegeluid (windturbinegeluid wordt niet genoemd in de EU-richtlijn). Het Reken- en meetvoorschrift windturbines is gebaseerd op het HMRI, maar is aangevuld met onderdelen die specifiek voor windturbines van belang zijn. Zo komt de beschreven methode om geluidbronmetingen uit te voeren grotendeels overeen met de methode die in IEC 61400-11 wordt beschreven. Daarnaast worden, om de jaargemiddelde geluidemissie van een windturbine te bepalen, windsnelheidsverdelingen beschikbaar gesteld⁴⁸ op ashoogtes tussen 10 en 260 meter.

De betreffende bijlage is daarmee de best beschikbare methode voor het bepalen van windturbinegeluid. Het windturbinegeluid is berekend met het rekenprogramma Geomilieu® versie v2024.1, module IL-WT. Dit rekenprogramma volgt de Meet- en rekenmethode geluid windturbines. Bij de beoordeling van geluid wordt primair gekeken naar de effecten op geluidgevoelige objecten zoals die zijn gedefinieerd in artikel 1 van de Wet geluidhinder, echter in dit onderzoek is ook breder in beeld gebracht welke gevolgen windturbinegeluid voor de omgeving heeft.

⁴⁵ Koppen, E. (2022). Onderzoek afstandsnormen windturbines, Arcadis.

⁴⁶ Bijlage IVi bij Omgevingsregeling, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528/2025-01-01#BijlageIVi>

⁴⁷ CNOSSOS and industrial noise, R. Witte, DGMR, Euronoise 2018

⁴⁸ <https://rekentool.mp.nl/informatie.php>

Op basis van voorgenoemde redenen wordt het Reken- en meetvoorschrift windturbines toepasbaar geacht om geluidberekeningen uit te voeren voor windturbinegeluid. De methodiek in het Reken- en meetvoorschrift is de best beschikbare methode waarmee de gevolgen voor het milieu inzichtelijk kunnen worden gemaakt.

Kader 3.2 Alternatieve rekenmethodes

In andere landen worden naast rekenmethodes gebaseerd op ISO9613-2 ook rekenmethodes gebaseerd op bijv. NORD2000 gebruikt. Vooral in Scandinavische landen wordt dit rekenmodel gebruikt voor oa. wegverkeer maar ook voor windturbinegeluid. Complexe terreinen (met hoogteverschillen) zijn met NORD2000 beter te modelleren, echter ontbreekt een gedegen vergelijking van de resultaten voor Nederlandse situaties. Ook bij het publiceren van het ontwerpbesluit windturbines leefomgeving (eind 2023) is nog steeds de rekenmethode uit de Omgevingsregeling (en gebaseerd op ISO9613-2) voorgeschreven. Er is derhalve voor gekozen om niet een nieuwe rekenmethode te hanteren, maar om aan te sluiten bij de Meet- en rekenmethode geluid windturbines, gebaseerd op ISO9613-2.

Rekenmodel

Er is gebruik gemaakt van een akoestisch rekenmodel in Geomilieu® versie v2024.1. Dit betreft het rekenmodel dat voor het eerdere geluidsonderzoek voor Energielandgoed Wells Meer is gebruikt. Dit rekenmodel bevat informatie over de bodemgebieden voor het berekenen van de geluidoverdracht en toetspunten ter plaatse van geluidgevoelige gebouwen zoals gedefinieerd in het Bkl (Artikel 3.21). De modellering en de overdrachtsberekening zijn uitgevoerd conform de Meet- en rekenmethode geluid windturbines. Voor meer informatie over de invoergegevens van het rekenmodel wordt verwezen naar het Akoestisch onderzoek Energielandgoed Wells Meer⁴⁹.

3.7 Lokale situatie Energielandgoed Wells Meer

3.7.1 Reeds uitgevoerde onderzoeken

In een eerder stadium is voor Energielandgoed Wells Meer reeds een akoestisch onderzoek verricht. In dit onderzoek is de omgeving in kaart gebracht in een akoestisch model en is inzichtelijk gemaakt welke geluidbelasting te verwachten is op de omgeving. In dit rapport is vervolgens getoetst aan een normstelling van 47 dB L_{den} en 41 dB L_{night} .

3.7.2 Referentiesituatie

In de referentiesituatie zijn er 10 bestaande windturbines ten oosten van het plangebied, in Duitsland. Het betreffen 5 windturbines van het type Nordex N131 op 134 meter ashoogte en 5 windturbines van het type Nordex S77 op 100 meter ashoogte.

⁴⁹Akoestisch onderzoek en onderzoek naar slagschaduw Energielandgoed Wells Meer, 21-4-2020, 719007, Pondera Consult, Definitief V1

3.7.3 Gevolgen Energielandgoed Wells Meer

Uitgangspunten berekening

Bij het bepalen van de gevolgen is gekeken naar geluidgevoelige objecten die een geluidbelasting ervaren van 37 dB L_{den} of meer op basis van een representatief windturbinetype⁵⁰ van Energielandgoed Wells Meer (windturbinetype: Nordex N163/6.X met serrated edges). Volgens het TNO-rapport is het percentage ernstig gehinderden bij een geluidbelasting lager dan 37 dB L_{den} nog slechts 0,5%. Dit wordt derhalve als zeker aanvaardbaar beschouwd (zie Kader 1.1). Bovendien zijn de daadwerkelijk optredende geluidniveaus in dB(A) binnenshuis bij een geluidbelasting op de buitengevel van L_{den} 37 dB zodanig laag (uitgaande van een gevelwering van 15-20 dB(A)) dat deze niet meer redelijkerwijs waarneembaar zijn en daarmee geen relevante bijdrage aan de akoestische kwaliteit van de omgeving meer opleveren. Het doorgerekende windturbinetype zit qua afmetingen aan de bovenkant van de bandbreedte en betreft een qua geluidmissie een luid windturbinetype waarbij geluidvoorzieningen benodigd zijn om ter plaatse van woningen aan een geluidbelasting van 47 dB L_{den} of lager te kunnen voldoen.

In het plangebied en de omgeving zijn de gevoelige objecten bepaald als gedefinieerd in de Wet geluidhinder waarbij de geluidbelasting als gevolg van Energielandgoed Wells Meer 37 dB L_{den} of meer bedraagt (het onderzoeksgebied). In dit onderzoeksgebied bevinden zich 44 woningen⁵¹.

Maximale en minimale geluidbelastingen en reductieopties

De maximale geluidbelasting bij woningen in dB L_{den} als gevolg van Energielandgoed Wells Meer bedraagt (zonder toepassing van geluidemissie-reducerende voorzieningen) 49 dB L_{den} . Een hogere geluidbelasting wordt daarmee dus ook niet onderzocht. Door windturbines van Energielandgoed Wells Meer in een stillere modus te laten draaien is het mogelijk om de geluidbelasting van Energielandgoed Wells Meer te reduceren tot 47, 45 en 44 dB L_{den} . Er is bewust gekozen om het minimale geluidniveau uit te werken tot niveaus van 44 dB L_{den} (zie paragraaf 3.5).

Door bepaalde windturbines van het windpark gedurende een bepaalde periode in een gereduceerde modus te laten draaien, is het mogelijk om de geluidbelasting op de omliggende geluidgevoelige objecten te reduceren tot waarden van maximaal 47, 45 of 44 dB L_{den} . De configuratie van de windturbines om de geluidbelasting te reduceren tot 47, 45 en 44 dB L_{den} is gegeven in de bijlage van deze rapportage. Het toepassen van de voorgestelde maatregelen gaat echter wel ten koste van de energieproductie. Een alternatieve oplossing zou kunnen zijn om te kiezen voor een stiller windturbinetype, al dan niet in combinatie met geluidreducerende maatregelen.

Bepaling verwacht aantal ernstig gehinderden binnenshuis

Volgens CBS⁵² bedraagt de gemiddelde huishoudensgrootte in 2024 in de Bergen 2,3 personen per huishouden. Per huishouden/woning is de geluidbelasting bepaald en op basis van de dosishinderrelatie uit het TNO-rapport het aantal ernstig gehinderden⁵³ binnenshuis bepaald (Highly annoyed) door het percentage te vermenigvuldigen met 2,3. Als voorbeeld: een woning ervaart een geluidbelasting van 47 dB

⁵⁰ Dit is een ander windturbinetype dan eerder doorgerekend. Het windturbinetype wat destijds is doorgerekend is in die vorm niet meer leverbaar en de huidige iteratie zorgt voor aanzienlijk minder geluidproductie. Van dit nieuwe turbinetype uitgaan zou tot een onderschatting van de geluideffecten van windturbines binnen de bandbreedte leiden.

⁵¹ Daarnaast is er nog 1 woning die wordt geamoveerd (Wellsmeer 1a) en derhalve niet wordt betrokken bij het bepalen van het aantal gehinderden

⁵² CBS Statline, geraadpleegd op 19-2-2025, onderwerp: Regionale kerncijfers Nederland, <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/70072ned/table?dl=B660F>

⁵³ TNO-rapport: Hinder door geluid van windturbines, 2008-D-R1051/B, TNO, 2008

L_{den} . Het percentage ernstig gehinderden dat hiermee correspondeert is 8,09%. Als 8,09% van 2,3 personen ernstige hinder ervaart van het windturbinegeluid, resulteert dat in een verwachting van 0,19 ernstig gehinderde personen. Door dit voor een groot aantal woningen te doen en bij elkaar op te tellen, wordt het totaal verwachte aantal ernstig gehinderden berekend. Deze berekening wordt voor alle woningen die een geluidbelasting van 37 dB L_{den} of hoger kunnen ervaren (door de windturbines van Energielandgoed Wells Meer) uitgevoerd. Het aantal ernstig gehinderden dat per normstelling wordt vermeld geldt dus altijd als het totaal aantal ernstig gehinderden voor het gehele onderzoeksgebied. Het onderzoeksgebied bevat 45 woningen, waarvan 1 woning waarvan de woonbestemming vervalt. Er wordt derhalve uitgegaan van 44 woningen. Vermenigvuldigd met de gemiddelde bezetting per huishouden betekent dit dat er circa 101 personen permanent in en rond het plangebied wonen (verder: de populatie). De effecten op deze populatie worden in de beschouwing van de verschillende scenario's vergeleken.

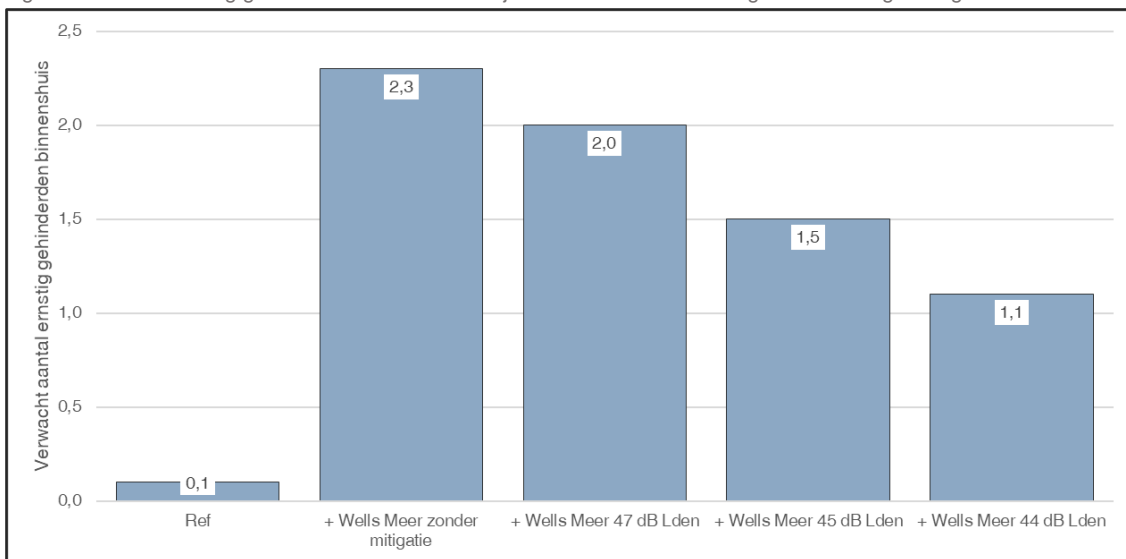
Het aantal personen dat ernstige hinder ervaart van Energielandgoed Wells Meer zonder toepassing van geluidmitigatie (maximale geluidbelasting van 49 dB L_{den}) is gegeven in Tabel 3.2. Tevens zijn de resultaten gegeven indien de maximale geluidbelasting van Energielandgoed Wells Meer⁵⁴ wordt gereduceerd naar 47, 45 en 44 dB L_{den} . Opgemerkt dient te worden dat het hier steeds gaat om een theoretische weergave van het aandeel van de bevolking dat ernstige hinder ondervindt en dat de beleving van deze hinder niet continu aanwezig is maar zal optreden op de momenten met heersende weersomstandigheden die een effect veroorzaken wat als hinderlijk wordt ervaren (o.a. afhankelijk van windsnelheid en -richting).

Tabel 3.2 Verwacht aantal ernstig gehinderden binnenshuis na realisatie van Energielandgoed Wells Meer

Situatie	Ernstig gehinderd (binnenshuis)	
	Aantal	% van de populatie
Ref. situatie (zonder Energielandgoed Wells Meer)	0,1	0,1%
Met Energielandgoed Wells Meer zonder geluidmitigatie (max. 49 dB L_{den})	2,3	2,3%
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 47 dB L_{den} teruggeregeld	2,0	2,0%
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 45 dB L_{den} teruggeregeld	1,5	1,5%
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 44 dB L_{den} teruggeregeld	1,1	1,1%

⁵⁴ Er wordt dus niet naar cumulatief 47, 45 of 44 dB L_{den} teruggeregeld, maar voor enkel Wells Meer. Cumulatief kan er dus sprake zijn van een hogere geluidbelasting.

Figuur 3.2 Aantal ernstig gehinderden binnenshuis bij verschillende normstellingen voor Energielandgoed Wells Meer



Uit bovenstaande tabel en figuur blijkt dat als Energielandgoed Wells Meer wordt geëxploiteerd zonder toepassing van geluidvoorzieningen, met toepassing van een luide windturbine (worst case), het aantal personen dat ernstige hinder ervaart als gevolg van windturbinegeluid 2,3 bedraagt. Bij een maximale geluidbelasting van 47 dB Lden op omliggende woningen, daalt het aantal ernstig gehinderden naar 2,0 personen. Een verdere reductie van de maximale geluidbelasting naar 45 dB Lden en 44 dB Lden leidt tot een aantal ernstig gehinderden van 1,5 personen en 1,1 respectievelijk.

In de bijlage bij deze rapportage is een vergelijkbare berekening gedaan voor het aantal gehinderden.

Bepaling verwacht aantal ernstig gehinderden buitenshuis

Analoog aan de analyse voor het aantal gehinderden binnenshuis is tevens het aantal ernstig gehinderden buitenshuis bepaald. Hier is gebruik gemaakt van 3 verschillende dosis-hinderrelaties⁵⁵:

- TNO / Janssen
- Kuwano
- Michaud

De beschouwde populatie is hierbij niet gewijzigd⁵⁶.

Tabel 3.3 Verwacht aantal ernstig gehinderden buitenshuis na realisatie van Energielandgoed Wells Meer

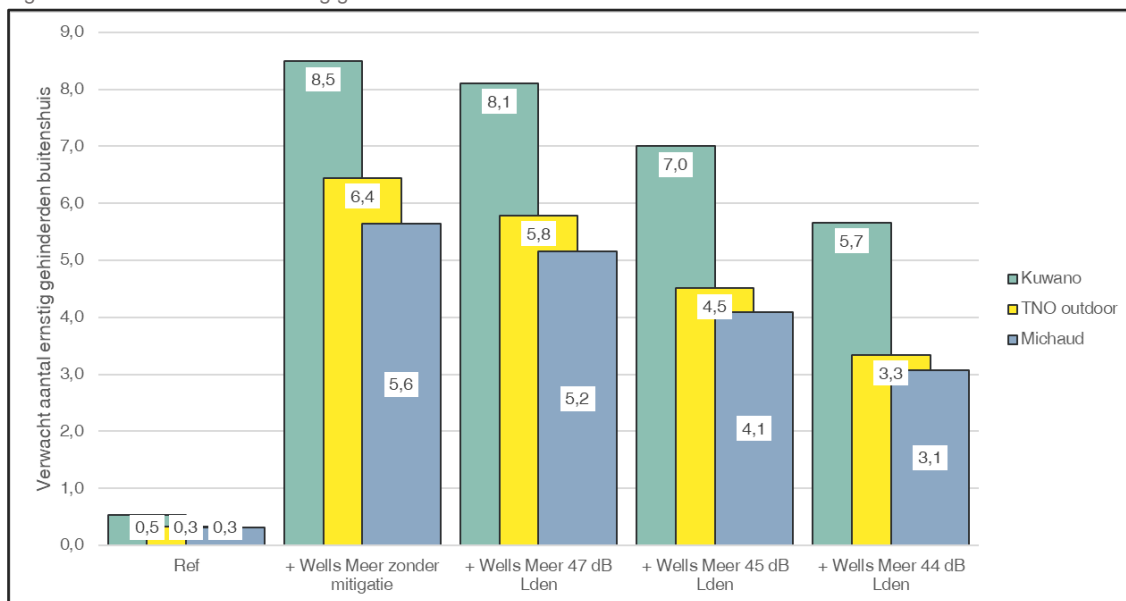
Situatie	TNO / Janssen		Kuwano		Michaud	
	Aantal	% van de populatie	Aantal	% van de populatie	Aantal	% van de populatie
Ref. situatie (zonder Energielandgoed Wells Meer)	0,3	0,3%	0,5	0,5%	0,3	0,3%
Met Energielandgoed Wells Meer zonder geluidmitigatie (max. 49 dB Lden)	6,4	6,4%	8,5	8,4%	5,6	5,6%

⁵⁵ Zie ook paragraaf 3.3.2

⁵⁶ Dat wil zeggen: de woningen waarbij zonder geluidmitigatie op basis van het type Nordex N163/6.X STE een geluidbelasting van meer dan 36 dB Lden optreedt.

Met Energielandgoed Wells Meer Tot 47 dB L _{den} teruggeregeld	5,8	5,7%	8,1	8,0%	5,2	5,1%
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 45 dB L _{den} teruggeregeld	4,5	4,5%	7,0	6,9%	4,1	4,0%
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 44 dB L _{den} teruggeregeld	3,3	3,3%	5,7	5,6%	3,1	3,0%

Figuur 3.3 Verwacht aantal ernstig gehinderden buitenshuis voor verschillende dosis-hinderrelaties

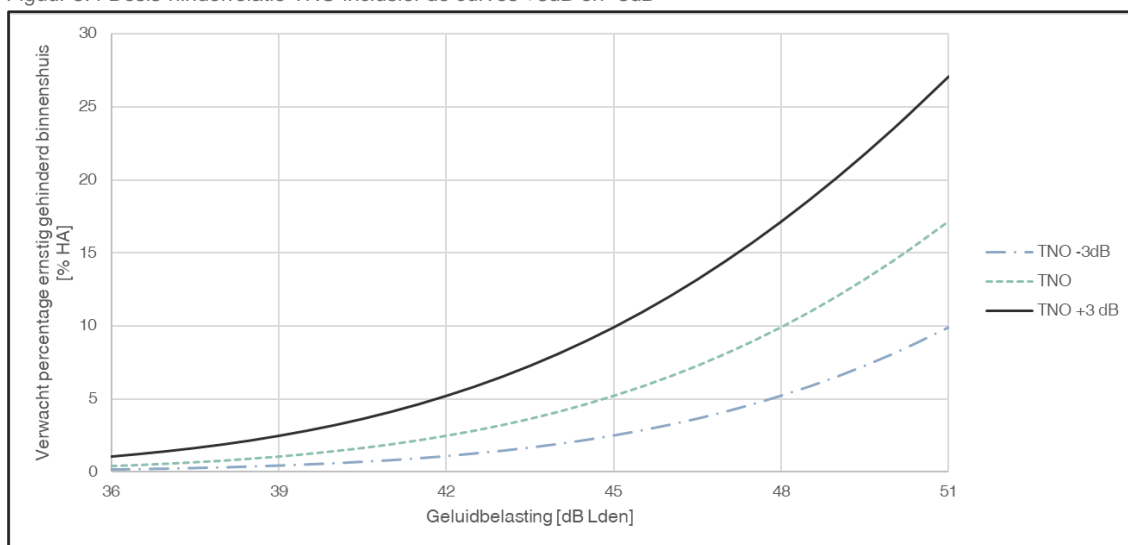


Bij een normstelling van 47 dB L_{den} voor Energielandgoed Wells Meer neemt het aantal gehinderden buitenshuis met circa 40% toe (van 5,8 naar 8,1 ernstig gehinderden) bij het hanteren van de dosis-hinderrelatie van Kuwano t.o.v. TNO. Het hanteren van de dosis-hinderrelatie van Michaud leidt tot een afname van 5,8 naar 5,2 ernstig gehinderden buitenshuis. Ten opzichte van de referentiesituatie leidt Energielandgoed Wells Meer met maximaal 47 dB L_{den} tot een toevoeging van 5,5 ernstig gehinderden buitenshuis bij het hanteren van de dosis-hinderrelatie TNO, een toevoeging van 7,6 ernstig gehinderden buitenshuis wanneer de dosis-hinderrelatie Kuwano wordt gebruikt en een toevoeging van 4,9 ernstig gehinderden buitenshuis bij het gebruik van de dosis-hinderrelatie van Michaud.

Gevoeligheidsanalyse dosis-hinderrelatie binnenshuis

Om inzicht te verlenen in wat het betekent als de dosis-effectrelatie significant anders zou zijn, is de dosis-effectrelatie opgeschoven met 3 dB in beide richtingen om zo de spreiding van de relatie weer te kunnen geven⁵⁷. Dit betekent dat enerzijds het hinderpercentage is gebruikt wat passend is bij een 3 dB hogere geluidwaarde (+3 dB) en anderzijds het hinderpercentage is gebruikt wat passend is bij een 3 dB lagere geluidwaarde (-3 dB). Een variatie van 3 dB staat voor een dubbel zo hoog energieniveau van het geluid en voor een halvering van het energieniveau van het geluid. De drie dosis-hinderrelaties zijn weergegeven in Figuur 3.4.

Figuur 3.4 Dosis-hinderrelatie TNO inclusief de curves +3dB en -3dB



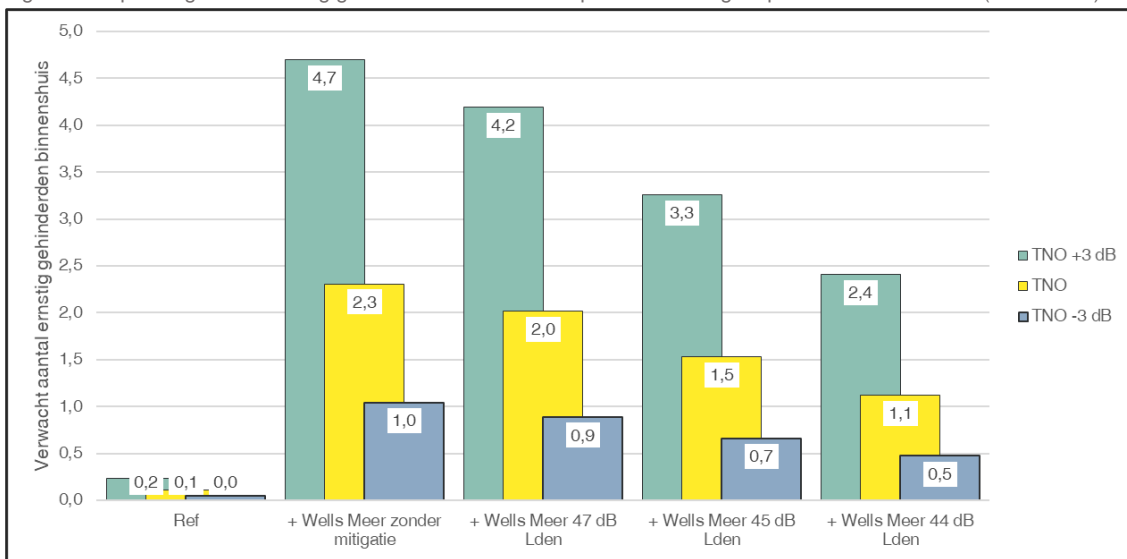
Bovenstaande dosis-hinderrelaties zijn toegepast op de woningen rondom Energielandgoed Wells Meer voor de verschillende normstellingen. De resultaten daarvan zijn hieronder weergegeven in Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Aantal ernstig gehinderden op basis van diverse dosis-hinderrelaties

Situatie	Ernstig gehinderden op basis van dosis-hinderrelatie (plus het percentage van de beschouwde populatie, 101 personen)		
	TNO	TNO +3dB	TNO -3dB
Ref. situatie (zonder Energielandgoed Wells Meer)	0,1 (0,1%)	0,2 (0,2%)	0,0 (0,0%)
Met Energielandgoed Wells Meer zonder geluidmitigatie (max. 49 dB L _{den})	2,3 (2,3%)	4,7 (4,6%)	1,0 (1,0%)
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 47 dB L _{den} teruggeregeld	2,0 (2,0%)	4,2 (4,1%)	0,9 (0,9%)
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 45 dB L _{den} teruggeregeld	1,5 (1,5%)	3,3 (3,2%)	0,7 (0,7%)
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 44 dB L _{den} teruggeregeld	1,1 (1,1%)	2,4 (2,4%)	0,5 (0,5%)

⁵⁷ De door Janssen et al 2011 (waar deze dosis-hinderrelatie op is gebaseerd) aangegeven confidence intervals zijn ruim minder dan deze interval.

Figuur 3.5 Spreiding aantal ernstig gehinderden binnenshuis per normstelling en per dosis effect relatie (+ en - 3dB)



Het hanteren van een andere dosis-hinderrelatie leidt logischerwijs tot een ander aantal verwachte ernstig gehinderden. Bovenstaande grafiek en tabel kunnen worden gezien als het te verwachten maximale aantal gehinderden binnenshuis (groen) en minimale aantal gehinderden binnenshuis (blauw). Voor wat betreft de hinder binnenshuis geldt dat bij een normstelling van 47 dB L_{den} voor Energielandgoed Wells Meer het aantal gehinderden verdubbelt (van 2,3 naar 4,7 ernstig gehinderden) bij het hanteren van de dosis-hinderrelatie TNO +3dB. Ook bij een lagere normstelling van 45 dB L_{den} is er sprake van grofweg een verdubbeling. Ten opzichte van de referentiesituatie leidt Energielandgoed Wells Meer met maximaal 47 dB L_{den} tot een toevoeging van 1,9 ernstig gehinderden bij het hanteren van de dosis-hinderrelatie TNO, en een toevoeging van 4,0 ernstig gehinderden wanneer de dosis-hinderrelatie TNO +3dB wordt gebruikt. Bij een normstelling van 45 dB L_{den} voor Energielandgoed Wells Meer is er sprake van een toevoeging van 1,4 ernstig gehinderden binnenshuis bij het hanteren van de dosis-hinderrelatie TNO en een toevoeging van 3,1 ernstig gehinderden binnenshuis wanneer TNO +3dB wordt gehanteerd.

Bij de bestuurlijke afweging dienen de gevolgen voor de belangen van de omgeving te worden afgewogen tegen die van de aanvrager/exploitant. Het opbrengstverlies van het windpark bij geluidsmitigatie, verandert niet als gevolg van het hanteren van een alternatieve dosis-hinderrelatie. De mate waarin dit verlies acceptabel is, moet worden afgewogen tegen de mate waarin een strenge geluidsnorm leidt tot milieuwinst.

3.7.4 Geluidbelasting ter plaatse van woningen

Voor Energielandgoed Wells Meer zijn meerdere verschillende situaties onderzocht, de referentiesituatie, maximaal 49 dB L_{den} (geen geluidmitigatie van Energielandgoed Wells Meer) en Energielandgoed Wells Meer teruggeregeld tot 47, 45 en 44 dB L_{den}. Voor deze verschillende scenario's is voor de 44 woningen in de omgeving de geluidbelasting in dB L_{den} bepaald en gecategoriseerd weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.5 Aantal woningen per geluidbelasting in dB L_{den}

Geluidbelasting dB L _{den}	Ref. situatie	+ ELWM Geen mitigatie max 49 dB L _{den}	+ ELWM Mitigatie naar 47 dB L _{den}	+ ELWM Mitigatie naar 45 dB L _{den}	+ ELWM Mitigatie naar 44 dB L _{den}
<37	41	0	1	5	11
37	0	3	4	3	10
38	1	4	3	11	9
39	0	6	9	9	1
40	0	14	11	3	5
41	2	3	3	5	3
42	0	4	5	3	0
43	0	5	3	0	0
44	0	0	2	2	4
45	0	2	1	2	1**
46	0	1	0	1*	0
47	0	1	2	0	0
48	0	0	0	0	0
49	0	1	0	0	0
50	0	0	0	0	0
Totalen	44	44	44	44	44

*: enkel Energielandgoed Wells Meer zorgt voor maximaal 45 dB L_{den}, vanwege cumulatie komt de geluidbelasting op 46 dB L_{den}

** : enkel Energielandgoed Wells Meer zorgt voor maximaal 44 dB L_{den}, vanwege cumulatie komt de geluidbelasting op 45 dB L_{den}

Uit Tabel 3.5 kan worden opgemaakt dat zonder geluidmitigatie er bij 3 woningen een geluidbelasting van meer dan 45 dB L_{den} optreedt. De maximale geluidbelasting is met 49 dB L_{den} fors te noemen (binnenshuis circa 12% ernstig gehinderd en buitenshuis circa 26%). Door een normstelling van 47 dB L_{den} te hanteren zijn er nog slechts 2 woningen met een geluidbelasting van meer dan 45 dB L_{den}. Bij een strengere normering van 45 dB L_{den} ondervindt nog 1 woning een geluidbelasting van meer dan 45 dB L_{den}.

3.7.5 Energieverliezen als gevolg van een lagere geluidnorm

Om het productieverlies te bepalen⁵⁸, is eerst de energieopbrengst van het windpark zonder toepassing van geluidmitigatie bepaald. Vervolgens is de energieopbrengst van het windpark bepaald met de configuratie waarmee wordt voldaan aan de geluidnorm van 47, 45 of 44 dB L_{den}. Het procentuele productieverlies om te voldoen aan een strengere geluidnorm is gegeven in Tabel 3.6. Voor de benodigde configuraties wordt verwezen naar bijlage 3. Het verlies is afhankelijk van het turbintype en ashoogte. Andere turbintypes kunnen tot andere verliezen leiden, zowel hoger als lager (procentueel en absoluut). Omdat hier met relatief luide, grote en hoge⁵⁹ windturbines wordt gerekend betreffen de berekende verliezen een conservatieve verwachting. Met stillere en/of kleinere windturbines worden kleinere verliezen (in ieder geval in MWh/yr) verwacht.

⁵⁸ Dit is een indicatie van de P50-opbrengst, berekeningen dienen als zodanig te worden geïnterpreteerd

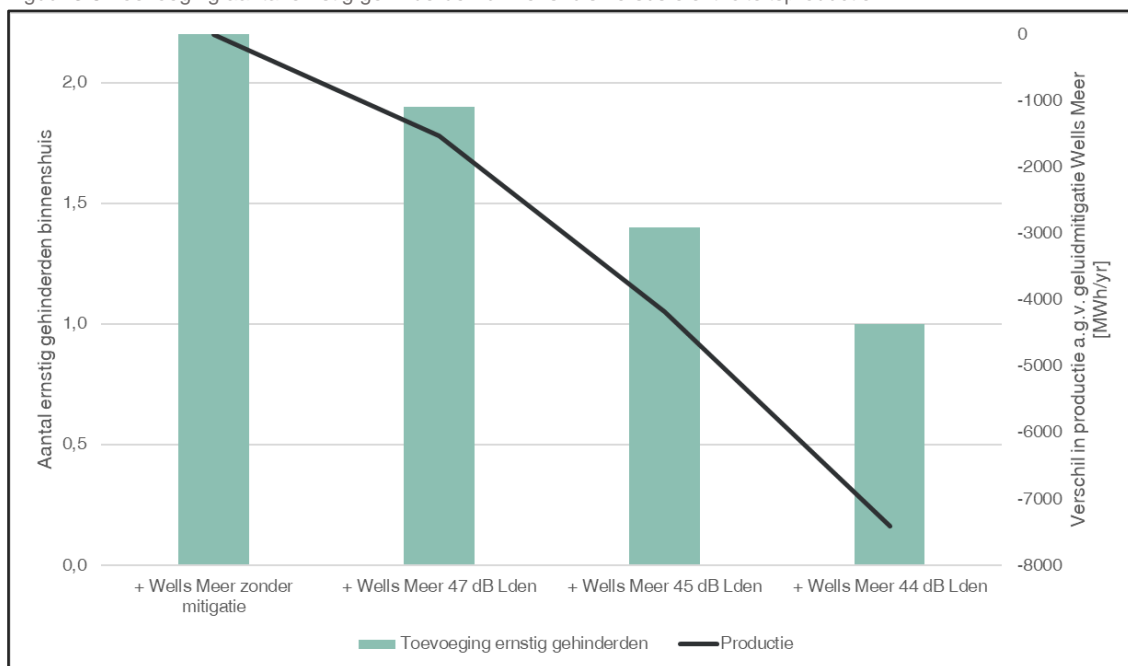
⁵⁹ Grote rotordiameter en hoge ashoogte leiden doorgaans tot grotere opbrengsten

Tabel 3.6 Verwachte productieverlies veroorzaakt door geluidmitigatie van Energielandgoed Wells Meer

Scenario	Opbrengstverlies veroorzaakt door geluidmitigatie		
	[%]	[MWh/yr]	Stroomverbruik van # huishoudens
Geen geluidmitigatie (max 49 dB L _{den})	--	--	--
Tot 47 dB L _{den} mitigeren	2%	1550	450
Tot 45 dB L _{den} mitigeren	6%	4200	1200
Tot 44 dB L _{den} mitigeren	10%	7400	2100

Het hanteren van een geluidnorm van 47 dB L_{den} zorgt voor een opbrengstverlies van circa 1550 MWh per jaar. Dit komt overeen met het elektriciteitsverbruik van circa 450 huishoudens⁶⁰. Een geluidnorm van 45 dB L_{den} zorgt voor een additioneel verlies van 2650 MWh per jaar, hetgeen overeenkomt met het elektriciteitsverbruik van circa 750 huishoudens (ten opzichte van een geluidnorm van 47 dB L_{den}). Bij een geluidnorm van 44 dB L_{den} neemt het opbrengstverlies toe met 3250 MWh per jaar, wat overeenkomt met het elektriciteitsverbruik van circa 900 huishoudens. In onderstaand Figuur 3.6 is de toename van het aantal ernstig gehinderden binnenshuis tegenover het verwachte opbrengstverlies op basis van het gehanteerde turbinetype weergegeven.

Figuur 3.6 Toevoeging aantal ernstig gehinderden binnenshuis versus elektriciteitsproductie



⁶⁰ Uitgaande van een elektriciteitsverbruik van 3.500 kWh per jaar per huishouden

4 Conclusie en advies

Op basis van de resultaten uit het uitgevoerde onderzoek wordt in dit hoofdstuk een conclusie gepresenteerd en aangegeven welke normstelling, vanuit de bescherming van het milieu enerzijds en de realisatie van het windpark anderzijds, wordt geadviseerd in deze specifieke situatie. Het is uiteindelijk aan het bevoegd gezag om in het ruimtelijke besluit een normstelling op te nemen. Onderstaande conclusies en adviezen kunnen daarbij een uitgangspunt vormen.

4.1 Conclusie

Windturbinegeluid kan hinderlijk zijn en dat maakt dat het wenselijk is geluidniveaus bij geluidgevoelige gebouwen te beperken tot een aanvaardbaar niveau, teneinde een goed woon- en leefklimaat voor omwonenden te kunnen garanderen en daarmee effecten op het milieu te kunnen minimaliseren. Uit de beschikbare wetenschappelijke onderzoeken van oa. het RIVM, WHO, TNO, Umwelt Bundesamt en diverse wetenschappelijke journals komen inzichten naar voren over de hinderlijkheid van windturbinegeluid bij verschillende niveaus.

Energielandgoed Wells Meer zal – zonder het nemen van mitigerende maatregelen – een maximale geluidbelasting van 49 dB L_{den} veroorzaken op één omliggend geluidgevoelig object. Voor circa 60% (27 van de 44 woningen) treedt een geluidbelasting van 40 dB L_{den} of lager op, zonder dat er maatregelen worden genomen. De geluidbelasting die zonder mitigerende maatregelen optreedt leidt tot een toevoeging van circa 2,2 ernstig gehinderden⁶¹ in de gehele omgeving.

Wanneer een lagere maximale geluidbelasting van 47 dB L_{den} wordt toegepast, neemt de toevoeging van het aantal ernstig gehinderden als gevolg van windturbinegeluid af tot 1,9. De maximale geluidbelasting neemt af van 49 dB L_{den} naar 47 dB L_{den} en het aantal woningen met een geluidbelasting van meer dan 45 dB L_{den} neemt af met 1. Door de maximale geluidbelasting van Energielandgoed Wells Meer verder te reduceren tot 45 dB L_{den} , neemt de toevoeging van het aantal ernstig gehinderden af tot 1,4. De maximale geluidbelasting verlagen naar 45 en 44 dB L_{den} heeft primair effect op het aantal woningen die een geluidbelasting van 40 dB L_{den} of minder ontvangen. Dit aandeel groeit naar circa 70% respectievelijk 80%.

Tabel 4.1 Aantal ernstig gehinderden binnenshuis per normstelling

Situatie	Ernstig gehinderd (binnenshuis)		Energieopbrengstverlies
	Aantal	% van de populatie	[%]
Ref. situatie (zonder Energielandgoed Wells Meer)	0,1	0,1%	--
Met Energielandgoed Wells Meer zonder geluidmitigatie (max. 49 dB L_{den})	2,3	2,3%	0%
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 47 dB L_{den} teruggeregeld	2,0	2,0%	2%
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 45 dB L_{den} teruggeregeld	1,5	1,5%	6%
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 44 dB L_{den} teruggeregeld	1,1	1,1%	10%

⁶¹ Hiermee wordt bedoeld: ernstig gehinderd binnenshuis, tenzij expliciet buitenshuis wordt genoemd

Het mitigeren van geluid naar een norm (voor Energielandgoed Wells Meer) van 47 dB L_{den} betekent een energieproductieverlies van circa 2%. Een strengere norm voor Energielandgoed Wells Meer van 45 dB L_{den} betekent een productieverlies van circa 6%. Voor een norm van 44 dB L_{den} voor Energielandgoed Wells Meer wordt een productieverlies van 10% verwacht.

Om de lagere geluidbelastingen op de gevel van omliggende woningen te kunnen realiseren bij geluidnorm van 45 dB L_{den} zijn forse mitigerende maatregelen nodig in vergelijking met het realiseren van een maximaal toelaatbare geluidbelasting van 47 dB L_{den} .

4.2 Advies

Uit de analyses blijkt dat bij realisatie van Energielandgoed Wells Meer zonder geluidvoorzieningen de maximale geluidbelasting 49 dB L_{den} bedraagt, waarbij het percentage ernstig gehinderden 2,3% telt van de omwonenden van het windpark. Er is één woning met deze geluidbelasting. De overige woningen ontvangen een geluidbelasting van 47 dB L_{den} of minder. Het reduceren van de geluidbelasting van Energielandgoed Wells Meer tot maximaal 47 dB L_{den} zorgt voor minder ernstig gehinderden (2,0% van de omwonenden of 2,0 personen). Dit gaat gepaard met een geschat opbrengstverlies van circa 2%. De gevoeligheidsanalyse, die rekening houdt met een, niet bewezen, mogelijk hogere hinderervaring bij een lagere dosis aan geluid, leidt tot maximaal 4,2 personen met ernstige hinder binnenshuis (4,1% van de omwonenden) in het geval van een conservatieve dosis-hinderrelatie.

Gezien de relatief lage belastingen (veel woningen met 40 dB L_{den} of lager) en het feit dat er vanuit wetenschappelijk perspectief (zie paragraaf 3.3) geen reden is om een lagere norm te stellen, leidt een geluidnorm van 47 dB L_{den} niet tot onaanvaardbare hinder of gezondheidseffecten. Omwonenden worden hiermee beschermd tegen geluidbelastingen van 48 of 49 dB L_{den} , die gepaard gaan met 10-12% ernstige hinder binnenshuis en 22-26% ernstige hinder buitenshuis. Bij een geluidnorm van 47 dB L_{den} wordt daarnaast geen overschrijding van de Vercammen-curve, en daarmee verwachte hinder als gevolg van laagfrequent geluid, verwacht. Bij dergelijke geluidniveaus is overschrijding van de Vercammen-curve, en daarmee verwachte hinder als gevolg van LFG, mogelijk.

Om hinder als gevolg van tonaal geluid zo veel als mogelijk te voorkomen wordt voorgesteld om een planregel / vergunningvoorschrift op te nemen waarbij in het geval van windturbinegeluid met een duidelijk tonaal karakter ter plaatse van het referentiepunt (bepaald conform IEC 61400-11:2012) een straffactor van 5 dB, net als bij industrielawaai, wordt toegepast op de berekende geluidbelasting in dB L_{den} . Deze planregel zou als volgt kunnen luiden:

"Een windturbine mag maximaal +5 dB gemiddelde tonale hoorbaarheid veroorzaken. Indien de gemiddelde hoorbaarheid meer dan 5 dB bedraagt wordt de berekende geluidbelasting ter plaatse van geluidgevoelige gebouwen en locaties verhoogd met een straftoeslag van 5 dB. Deze straftoeslag vervalt indien de tonaliteit aantoonbaar is verholpen. Dit kan middels een controlemeting worden aangetoond. "

Voorts wordt ook aanbevolen de gemiddelde tonale hoorbaarheid in de begripsbepalingen op te nemen, inclusief een verwijzing naar de methode en locatie van meten (IEC 61400-11:2012).

Het stellen van een strengere norm dan 47 dB L_{den} leidt, op basis van het geselecteerde turbinetype, tot extra productieverliezen. Dit verlies in duurzaam opgewekte elektriciteit zal, in het kader van de

duurzaamheidsdoelstellingen van gemeente Bergen (L), op een andere locatie moeten worden opgewekt. Dit kan ook tot hinder als gevolg van geluid leiden op eventuele alternatieve locaties. Overigens kan bij de keuze van het windturbinetype wellicht worden gezorgd voor een windturbine met een lagere geluidemissie, waarmee - zonder maatregelen die ten koste gaan van de energieproductie - toch een lagere belasting op de omgeving kan worden gerealiseerd.

Bijlage

Aantal gehinderden binnenshuis en buitenshuis (op basis van TNO)

Situatie	Gehinderden binnenshuis		Gehinderden buitenshuis	
	Aantal	% van de populatie	Aantal	% van de populatie
Ref. situatie (zonder Energielandgoed Wells Meer)	0,3	0,3%	0,8	0,8%
Met Energielandgoed Wells Meer zonder geluidmitigatie (max. 49 dB Lden)	5,8	5,8%	14,1	13,9%
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 47 dB Lden teruggeregeld	5,2	5,2%	13,0	12,8%
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 45 dB Lden teruggeregeld	4,1	4,1%	10,4	10,3%
Met Energielandgoed Wells Meer Tot 44 dB Lden teruggeregeld	3,0	3,0%	7,9	7,8%

Geluidmitigatie om aan normstelling te kunnen voldoen

Windturbines geluid

Windturbine	Type	X	Y	Ashoogte
B-1	Nordex N163-6.X STE	206280	398184	165
B-2	Nordex N163-6.X STE	207030	398184	165
B-3	Nordex N163-6.X STE	206280	397434	165
B-4	Nordex N163-6.X STE	207030	397434	165

Normstelling 47 dB Lden

Windturbine	Dag	Avond	Nacht
B-1	mode 0	mode 0	mode 0
B-2	mode 0	mode 0	mode 0
B-3	mode 0	mode 0	mode 0
B-4	mode 0	mode 0	mode 9

Normstelling 45 dB Lden

Windturbine	Dag	Avond	Nacht
B-1	mode 0	mode 0	mode 6
B-2	mode 0	mode 0	mode 0
B-3	mode 0	mode 0	mode 5
B-4	mode 0	mode 5	mode 17

Normstelling 44 dB Lden

Windturbine	Dag	Avond	Nacht
B-1	mode 0	mode 0	mode 9
B-2	mode 0	mode 0	mode 3
B-3	mode 0	mode 0	mode 9
B-4	mode 8	mode 8	mode 17