

Onderzoek milieunormen windenergie

Windpark Bijsterhuizen

Stichting Wiek II

719050 | v5.0

4-5-2023



Pondera

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

Postadres
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

Colofon

Soort document
Onderzoek milieunormen windenergie

Projectnaam
Windpark Bijsterhuizen

Versienummer
v5.0

Datum
4-5-2023

Project nummer
719050

Opdrachtgever
Stichting Wiek II

Auteur
Stefan Flanderijn, Bouke Vogelaar, Joris Pierrot

Nagekeken door
Jan-Willem Broersma

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. Pondera is niet aansprakelijk voor gederfde inkomsten of 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 Raad van State 30 juni 2021	1
1.2	Aanpak om te komen tot een normstelling	2
1.3	Leeswijzer rapportage	3
2	Opzet en locatie	4
2.1	Beschrijving locatie	4
2.2	Beschrijving omgeving	4
3	Geluid van windturbines	8
3.1	Inleiding	8
3.2	Achtergrond Europese systematiek geluidsdosismaat L_{den} en L_{night}	8
3.3	Effecten van geluidbelasting	10
3.4	Karakterisering van windturbinegeluid	14
3.5	Alternatieven voor toetsingskader windturbinegeluid vanuit wetenschappelijk perspectief	16
3.6	Beoordeling van windturbinegeluid	17
3.7	Lokale situatie in project WP Bijsterhuizen	18
4	Slagschaduw en lichtschittering van windturbines	26
4.1	Inleiding	26
4.2	Achtergrond: inzichtelijk maken van slagschaduw	26
4.3	Beoordelingskader voor slagschaduw	31
4.4	Lokale situatie in project WP Bijsterhuizen	32
4.5	Normstelling voor slagschaduw en gevolgen voor windpark	36
4.6	Uitbreiding bedrijventerrein	38
4.7	Lichtschittering	40
5	Externe veiligheid	41
5.1	Inleiding: plaatsgebonden risico als beoordelingsmaat	41
5.2	Achtergrond: veiligheid en kansen	41
5.3	Rekenmethodiek	43
5.4	Resultaten	45
5.5	Interne veiligheid windturbines (bouw- en ontwerpnormen)	53
5.6	Uitbreiding bedrijventerrein	53
6	Conclusies en advies	55
6.1	Afweging	55
6.2	Geluid	55
6.3	Slagschaduw	56
6.4	Externe veiligheid	57

Bijlage 1	Eigenschappen windturbines i.r.t. externe veiligheid en toetspunten	1
Bijlage 2	Geluidgegevens windturbines	5
Bijlage 3	Instellingen geluidmitigatie	8
Bijlage 4	Aantal (ernstig) gehinderden	9
Bijlage 5	Geluidcontouren	10
Bijlage 6	Slagschaduw voorbeeldgrafieken	18
Bijlage 7	Laagfrequent geluid	20

1 Inleiding

1.1 Achtergrond: uitspraak Afdeling Bestuursrecht 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 zal in eerste instantie door het Rijk worden opgesteld. Totdat die beoordeling is gemaakt zijn de windturbinebepalingen (zie Kader 1.2) 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 -regeling².

Voor Windpark Bijsterhuizen (WP Bijsterhuizen) loopt momenteel een traject om te komen tot een vergunning voor de oprichting van de windturbines. Omdat voor ruimtelijke besluitvorming niet meer rechtstreeks mag worden uitgegaan van de windturbinebepalingen uit het Activiteitenbesluit is een projectspecifieke afweging nodig. De initiatiefnemer van het project heeft Pondera Consult gevraagd hiertoe inzichtelijk te maken welke gevolgen het windpark heeft voor de omgeving en welke normstelling op basis van die effecten recht doet aan de belangen van de bescherming van het milieu enerzijds en de realisatie van het project anderzijds. De initiatiefnemer is voornemens op basis van dit onderzoek het bevoegd gezag – de gemeente Wijchen - te verzoeken deze normen vast te stellen als voorschrift te verbinden aan de omgevingsvergunning.

Voor de besluitvorming geldt dat de te hanteren normen die nu projectspecifiek moeten worden vastgelegd, moeten worden voorzien van een actuele, deugdelijke, op zichzelf staande en op de aan de orde zijnde situatie toegesneden motivering. Dit document geeft een onderbouwing voor de vaststelling van dergelijke projectspecifieke normen voor WP Bijsterhuizen.

¹ ECLI:NL:RVS:2021:1395

² Overweging 65 uit de uitspraak ECLI:NL:RVS:2021:1395

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 recente 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).

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 de milieuthema's die eerder genormeerd zijn in het Activiteitenbesluit en -regeling (geluid, slagschaduw, externe veiligheid en lichtschittering):

- inzichtelijk gemaakt welke effecten optreden als gevolg van de exploitatie van de windturbines van WP Bijsterhuizen;
- 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.

Kader 1.2 Windturbinebepalingen uit Activiteitenbesluit en Activiteitenregeling in het kort

Milieunormen

- Een windturbine of een combinatie van windturbines voldoet ten behoeve van het voorkomen of beperken van geluidhinder aan de norm van ten hoogste 47 dB L_{den} en aan de norm van ten hoogste 41 dB L_{night} op de gevel van gevoelige gebouwen, tenzij deze zijn gelegen op een geluidgezoneerd industrieterrein, en bij gevoelige terreinen op de grens van het terrein, waarbij:
 - door middel van maatwerkvoorschriften normen met een lagere waarde vastgesteld kunnen worden ten aanzien van de windturbines of een combinatie van windturbines;
 - bij maatwerkvoorschrift in verband met bijzondere lokale omstandigheden normen met een andere waarde vastgesteld kunnen worden;
 - geen rekening gehouden hoeft te worden met een windturbine of een combinatie van windturbines van voor 1 januari 2011.
- Ten behoeve van het voorkomen of beperken van slagschaduw en lichtschittering is de windturbine voorzien van een automatische stilstandvoorziening die de windturbine afschakelt indien slagschaduw optreedt ter plaatse van gevoelige objecten voor zover:
 - de afstand tussen de windturbine en de gevoelige objecten minder dan 12 maal de rotordiameter bedraagt, en;
 - gemiddeld meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten per dag slagschaduw kan optreden, en;
 - voor zover zich in de door de slagschaduw getroffen uitwendige scheidingsconstructie van gevoelige gebouwen zich ramen bevinden.
- Het plaatsgebonden risico voor een buiten de inrichting gelegen kwetsbaar object, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, is niet hoger dan 10⁻⁶ per jaar;
- Het plaatsgebonden risico voor een buiten de inrichting gelegen beperkt kwetsbaar object, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, is niet hoger dan 10⁻⁵ per jaar.

Overige normen

- Een windturbine wordt ten minste eenmaal per kalenderjaar beoordeeld op de noodzakelijke beveiligingen, onderhoud en reparaties door een deskundige op het gebied van windturbines.
- Ten behoeve van het voorkomen of beperken van slagschaduw en lichtschittering wordt lichtschittering bij het in werking hebben van een windturbine zoveel mogelijk voorkomen of beperkt door toepassing van niet reflecterende materialen of coatinglagen op de betreffende onderdelen.
- Ten behoeve van het voorkomen van risico's voor de omgeving en ongewone voorvallen, dan wel voor zover dat niet mogelijk is het zoveel mogelijk beperken van de risico's voor de omgeving en de kans dat ongewone voorvallen zich voordoen en de gevolgen hiervan voldoet een windturbine aan de veiligheidseisen opgenomen in NEN-EN-IEC 61400-1, NEN-EN-IEC 61400-2 en NEN-EN-IEC 61400-3.

Voor de behandeling van bovenstaande punten wordt gebruik gemaakt van de actuele stand van wetenschappelijke kennis op de verschillende milieuthema's.

1.3 Leeswijzer rapportage

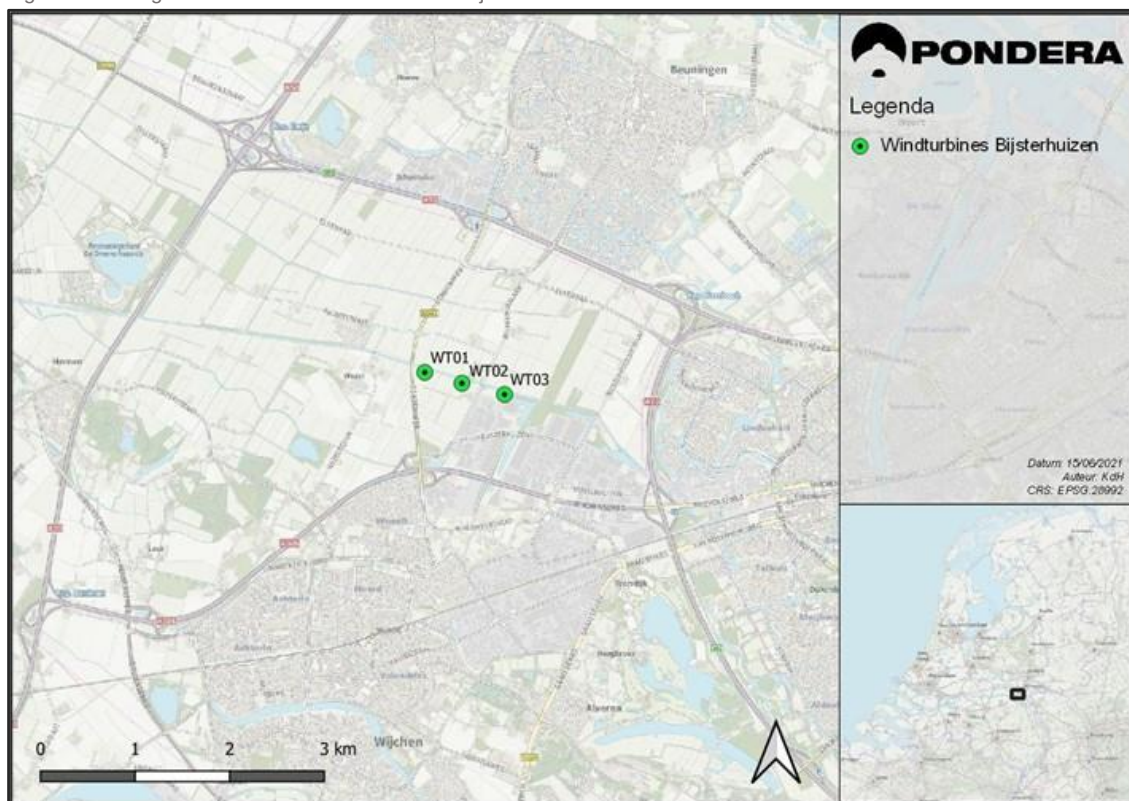
Dit rapport bestaat uit zeven hoofdstukken. In hoofdstuk 2 wordt de locatie van de windturbines en de eigenschappen van de omgeving beschreven. In hoofdstuk 3, 4 en 5 wordt per milieuthema (geluid, slagschaduw en lichtschittering en (externe) veiligheid) ingegaan op de beoordeling en normstellingsystematiek en wordt een voorgestelde norm voor het project onderbouwd. In hoofdstuk 6 volgt een conclusie en voorstel voor een norm per milieuthema.

2 Opzet en locatie

2.1 Beschrijving locatie

Wind bij Wijchen B.V. heeft het voornemen om drie nieuwe windturbines te realiseren nabij het bedrijventerrein Bijsterhuizen in de gemeente Wijchen. In Figuur 2.1 is een overzicht van het plangebied gegeven, met daarbij de beoogde locaties van de windturbines. Het windpark wordt aangeduid als windpark Bijsterhuizen (WP Bijsterhuizen).

Figuur 2.1 Plangebied nieuwe windturbines WP Bijsterhuizen



2.2 Beschrijving omgeving

Het plangebied ligt in de gemeente Wijchen in de provincie Gelderland. Ten zuiden van de windturbinelocatie ligt de plaats Wijchen met op ongeveer 1 km afstand de woonwijk Woezik. Ten oosten/zuidoosten van de windturbinelocatie ligt het bedrijventerrein Bijsterhuizen. Op ongeveer 2 km ten oosten van het plangebied ligt de woonwijk Lindenholt van de stad Nijmegen, op 2 km ten noorden ligt een woonwijk van het dorp Beuningen en op 1 km ten westen ligt de buurtschap Wezel. Het plangebied ligt nabij diverse hoofdwegen met ten westen de N847 en A50, ten zuiden de A326 en ten noorden en oosten de A73. De omgeving bestaat uit voornamelijk grasland en de locatie van de meest oostelijke windturbine (WT03) ligt bij het bedrijventerrein Bijsterhuizen.

2.2.1 Aanwezige woningen en andere verblijfsobjecten

In de omgeving van WP Bijsterhuizen zijn diverse objecten gelegen, waaronder woningen en bedrijfsgebouwen. Voor deze objecten wordt toegelicht waar en op welke afstand van de windturbines deze objecten zijn gelegen.

Woningen

De meest nabijgelegen woningen in de omgeving van WP Bijsterhuizen liggen ten noorden van de Bijsterhuizen. Verder bevinden zich ten westen en ten zuiden nog woningen. In oostelijke richting zijn enkel op grotere afstand (>1 km) woningen aanwezig. In een eerder uitgevoerd akoestisch onderzoek³ voor WP Bijsterhuizen 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 de Wilhelminalaan 60 betreft een woning die betrokken is bij het windpark als molenaarswoning.

Tabel 2.1 Afstanden tot windturbine van referentiewoningen en toetspunten

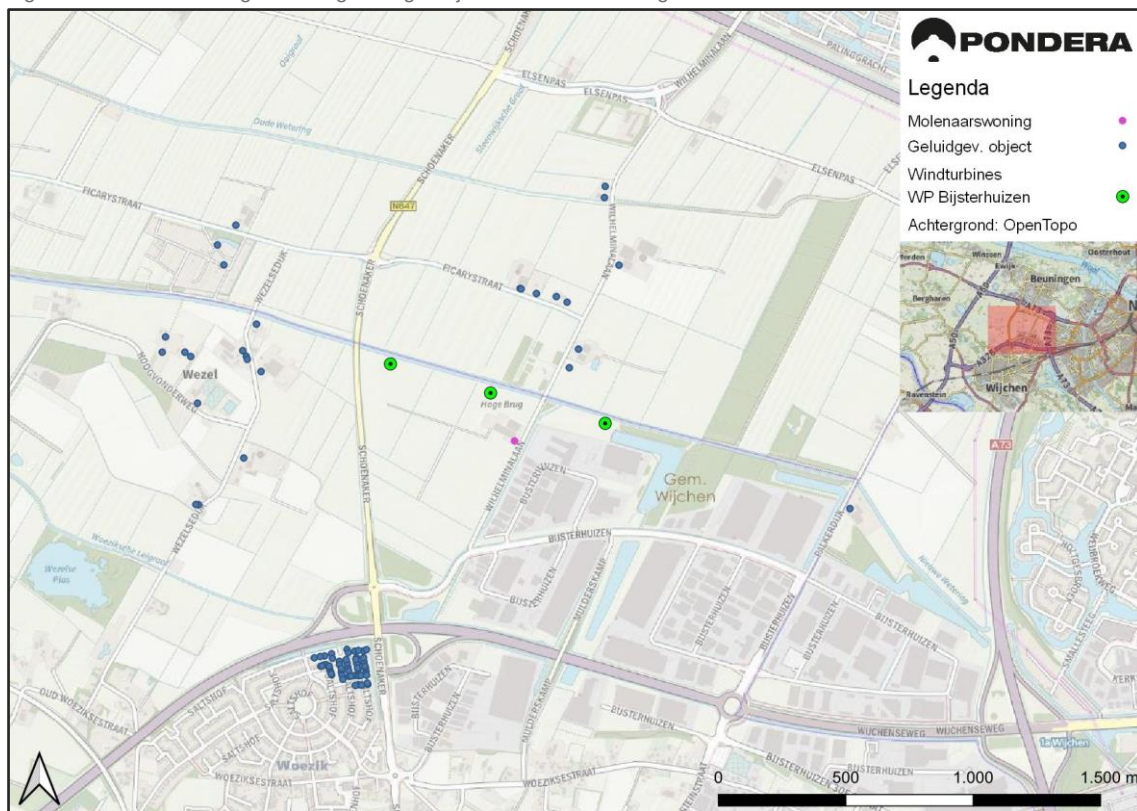
Toetspunt	Adres	Afstand tot dichtstbijzijnde windturbine [m]
1	Wilhelminalaan 198	880
2	Ficarystraat 4a	430
3	Ficarystraat 2b	430
4	Wilhelminalaan 83	310
5	Wilhelminalaan 85	260
6*	Wilhelminalaan 60	210
7	Wezelsedijk 52	510
8	Saltshof 1516	1120
9	Palkerdijk 100	1020

* Betreft een molenaarswoning waardoor niet hoeft te worden voldaan aan de geluidnorm.

Uit Tabel 2.1 kan worden opgemaakt dat de dichtstbij gelegen woning (niet zijnde molenaarswoning) op een afstand van ongeveer 260 m van de windturbines ligt. De windturbines zijn gesitueerd op een afstand van circa 1,1 km van de wijk Woezik (Wijchen) en 1,7 km van de wijk Lindenholt (Nijmegen).

³ Akoestisch onderzoek en onderzoek naar slagschaduw windpark Bijsterhuizen v3.0, 719050, 2-8-2022, Pondera Consult.

Figuur 2.2 Geluid- en slagschaduwgevoelige objecten binnen invloedgebied



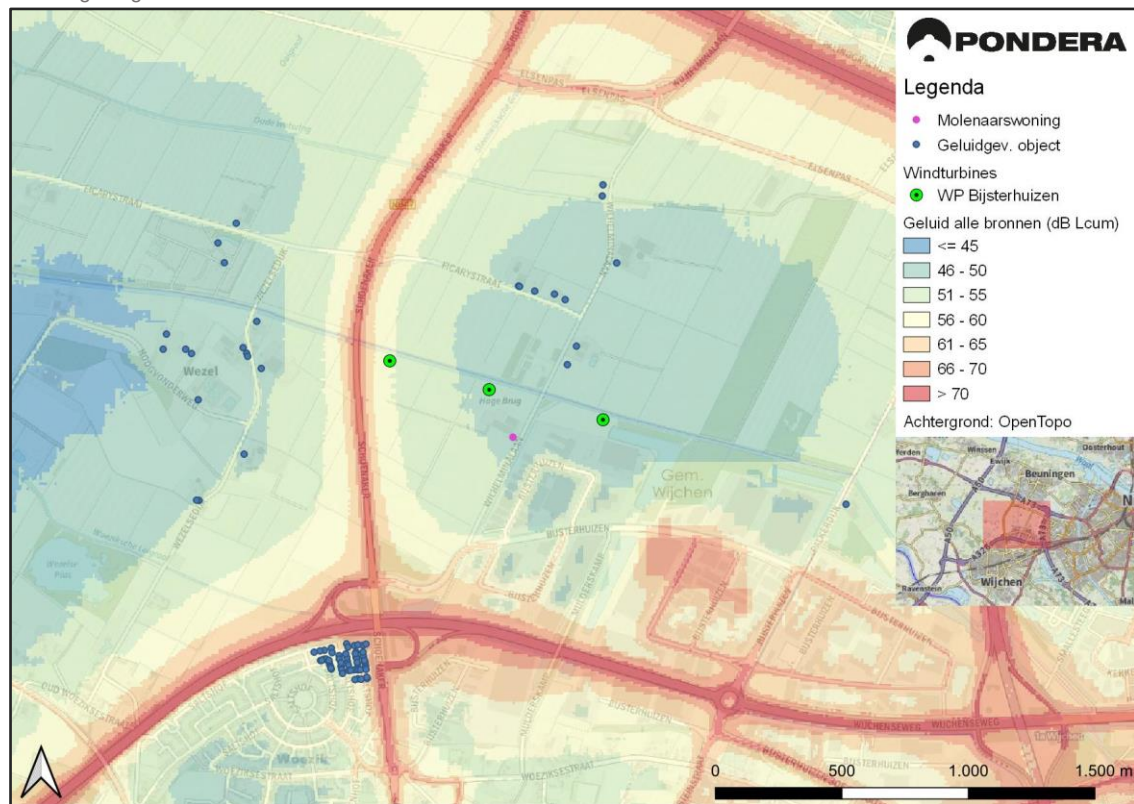
Overige verblijfsobjecten

In de omgeving (direct ten zuidoosten) ligt bedrijventerrein Bijsterhuizen. Op dit bedrijventerrein bevinden zich gebouwen met een kantoorfunctie en andere bedrijfsgebouwen zoals loodsen.

2.2.2 Omgevingstype

Op basis van bovenstaande beschrijving wordt de omgeving van het windpark gekarakteriseerd als landelijk gebied met voornamelijk grasland, vrij liggende bebouwing en daarnaast ten zuidoosten van het windpark een bedrijventerrein. Er is geen sprake van woonconcentraties in de nabijheid van de windturbines (<1 km). De reeds aanwezige milieubelasting wordt voornamelijk veroorzaakt door de N847, het bedrijventerrein Bijsterhuizen, de A73 en de A326. In Figuur 2.3 is een geluidbelastingskaart van de bestaande situatie opgenomen.

Figuur 2.3 Geluidbelastingskaart bestaande situatie, gebaseerd op geluidkaart alle bronnen van RIVM/Atlas Leefomgeving



Bron: Atlas voor de Leefomgeving, 2022.

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 dient daarbij 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 zijn:

- 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 windturbine⁴. 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 geluidniveau⁵ 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. Dit leidt tot verlies van 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

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

⁵ 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.

geluidsproductie gelijk. De windsnelheid is door het KNMI voor geheel Nederland op hoogtes 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 slaapverstoring⁶. De WHO geeft in haar rapport van 2018 dan ook geen advies over een L_{night} -norm voor windturbines.

Kader 3.1 Laagfrequent geluid en infrageluid

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 (infrasoonaal). 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.

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 van het algehele windturbinegeluid de oorzaak van de hinder. Met amplitudemodulatie wordt het ritmisch variëren van de sterkte van het geluid van windturbines door het draaien van de wieken bedoeld. De frequentie van de amplitudemodulatie is bij grotere turbines kleiner en is daarmee minder hinderlijk.

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. Het specifiek toevoegen van een norm voor LFG van windturbines leidt daarmee niet tot een betere beoordeling van de optredende effecten van geluid. Daarom volstaat het hanteren van een L_{den} en eventueel een L_{night} norm.

⁶ Factsheet gezondheidseffecten van windturbinegeluid, RIVM, augustus 2021

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)⁷ 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 Unie⁸. 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)⁹. Zie ook kader 2.2. 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.

⁷ RIVM-rapport 2020-0214, Gezondheidseffecten van windturbinegeluid, I. van Kamp & G.P. van den Berg

⁸ Environmental Noise Guidelines for the European Region, WHO, 2018,

⁹ 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 3.2 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 recente 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

Dosis-hinder relatie voor windturbinegeluid

In de literatuur zijn twee dosishinderrelaties gevonden die de geluidbelasting in dB L_{den} relateren aan een percentage personen dat ernstige hinder ondervindt. Deze twee relaties zijn ook beschreven in het WHO-rapport uit 2018 (zie ook kader 2.1), Janssen¹⁰ et al uit 2011 en Kuwano¹¹ et al uit 2014. De dosishinderrelatie van Janssen et al uit 2011 is dezelfde als het TNO-rapport uit 2008¹² en is vastgesteld voor zowel hinder als ernstige hinder binnenshuis als buitenshuis. Tot op heden is deze dosishinderrelatie de enige die de ernstige hinder¹³ binnenshuis beschrijft. Er is geen aanleiding om aan te nemen dat de dosishinderrelatie bij modernere windturbines is veranderd. De dosishinderrelatie uit Kuwano et al, 2014 is gegeven voor de situatie “here at home”, wat door de WHO wordt geassocieerd met (ernstige) hinder buitenshuis¹⁴¹⁵. In onderstaande grafiek zijn de dosishinderrelaties (ernstige hinder, binnenshuis en

¹⁰ 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

¹¹ Kuwano S, Yano T, Kageyama T, Sueoka S, Tachibana H (2014). Social survey on wind turbine noise in Japan. Noise Control Eng J. 62(6):503–20

¹² S.A. Janssen, H. Vos en A.R. Eisses, TMP-rapport, Hinder door geluid van windturbines: Dosis—effectrelaties op basis van Nederlandse en Zweedse gegevens, 2008-D-R1051/B

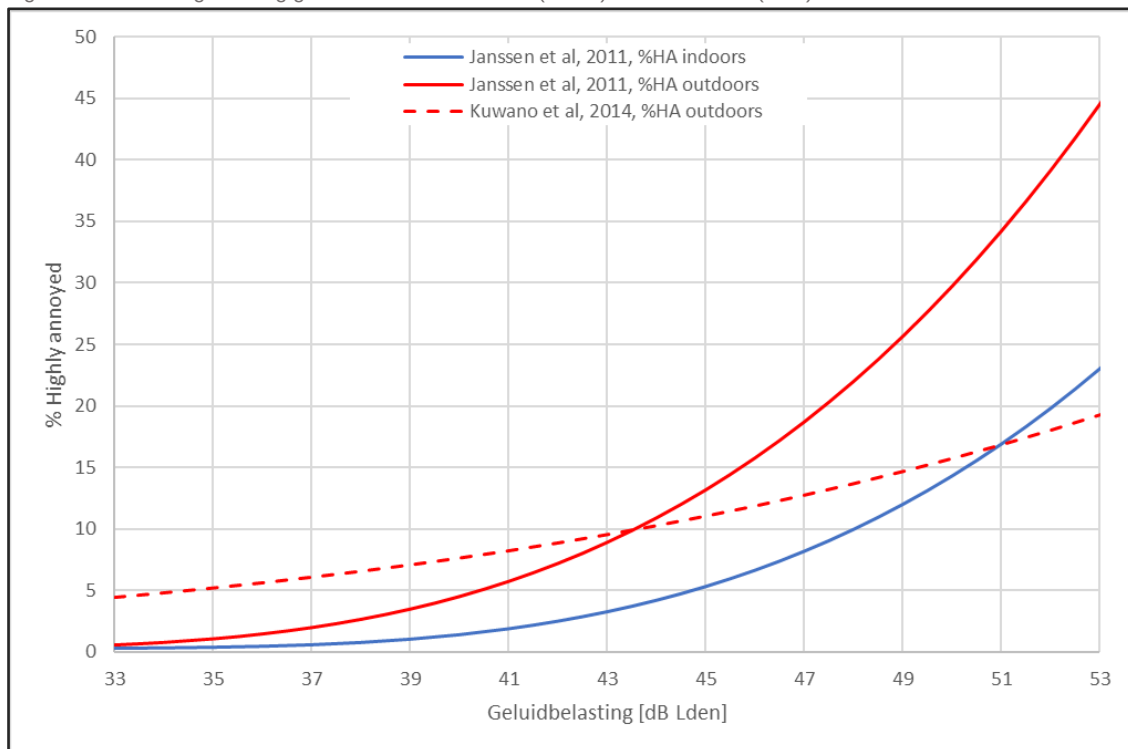
¹³ Volgens het TNO-rapport: “De verdeling van de hinderscores bij een gegeven geluidsniveau kan op verschillende manieren worden weergegeven. Vaak wordt het percentage antwoorden dat een zekere grens overschrijdt gerapporteerd. Als de grens 72 is op een 0-100 schaal, wordt het resultaat het percentage “ernstig gehinderde” personen (%HA: % Highly Annoyed) genoemd, de grens van 50 geeft het percentage “gehinderde” personen (%A: % Annoyed).”

¹⁴ 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

¹⁵ 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>

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)



Er zijn latere onderzoeken gedaan naar de dosis-hinderrelatie van windturbines¹⁶. De uitkomsten van die onderzoeken bevestigen de uitkomst van het onderzoek van TNO uit 2008 en vormen hiermee een actualisatie en validatie van het onderzoek uit 2008. Dit wordt bevestigd met de WHO richtlijnen (onderzoek tot en met 2015) en het RIVM literatuuronderzoek uit 2020 (actualisatie literatuur vanaf de WHO onderzoeksbasis).

De ontwikkeling van de windturbine technologie 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 windturbine technologie. Zo toonde onderzoek van Hongisto et al¹⁷ 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

¹⁶ Naast Pedersen (2009) en Janssen et al. (2011) betreft dit bijvoorbeeld Kuwano et al. (2014), Michaud et al. (2016), Pawlaczyk-Łuszczyska, M. et al. (2014 en 2018), Hongisto et al. (2017 en 2022). Deze onderzoeken zijn (m.u.v. Hongisto 2022 die zeer recent is) ook betrokken door WHO (2018) en/of RIVM (2020/2021) bij het beoordelen van de meest recente inzichten.

¹⁷ 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

met die van kleinere windturbines (0,15 – 3 MW)¹⁸. Deze conclusie wordt bevestigd in een recent literatuuronderzoek van Van Den Berg¹⁹, waarin wordt ingegaan op windturbines tot een vermogen van zo'n 6 MW. Daarmee is er geen aanleiding dat met het toenemen van het vermogen en omvang van windturbines een andere mate van hinder zou optreden bij dezelfde geluidniveaus. De relatie uit TNO onderzoek (2008) kan dan ook nog steeds als basis worden gehanteerd.

Vergelijking met andere geluidbronnen – bescherming binnenshuis

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 geluidnormen voor andere bronnen wordt vaak de maximaal toegestane geluidbelasting gerelateerd aan een percentage personen die bij deze geluidbelasting ernstige hinder ondervindt²⁰. 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%²¹.

Tabel 3.1 Verwacht percentage ernstig gehinderden voor verschillende geluidsbronnen²²

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 gehinderden²³.

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. In het kennisbericht Geluid van windturbines uit 2015 wordt hierover nog het volgende gesteld:

¹⁸ Vanwege het gebrek aan hoeveelheid data van hogere geluidniveaus kan dit voor geluidniveaus boven 40 dB $L_{A,eq}$ niet bevestigd worden

¹⁹ Van Den Berg, G.P. (2021). Maken grote windturbines > 3 MW meer lawaai dan kleinere < 3 MW,. Mundonovo Sound Research.

²⁰ Brief van de minister van VROM, 31 209, nr 135, 28-9-2010

²¹ Zie o.a. Kamerbrief Staatssecretaris van EZK, 9 juni 2021; [DGKE-WO / 21119163](#)

²² Brief van de minister van VROM, 31 209, nr 135, 28-9-2010

²³ Brief van de StaS van Economische Zaken en Klimaat d.d. 9 juni 2021, DGKE-WO/21119163,

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 schaduwwerping 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 geluidsbronnen, type gebied)
- Contextuele (maatschappelijke/economische) factoren (o.a. betrokkenheid bij het proces, procedurele rechtvaardigheid)

Hoewel de invloed van deze factoren niet alleen een rol spelen windturbinegeluid, maar tevens bij andersoortige geluidsbronnen, 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, Janssen et al., 2011) 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 infrasoon 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 (infrasoon). 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 geluidsbronnen. 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)²⁴. 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 voldoende bescherming biedt voor het laagfrequente deel als dit bijvoorbeeld wordt vergeleken met de Deense norm. In 2014 concludeert de Staatsecretaris van I&M²⁵ 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 Bijlage 7 is ter verduidelijking voor de dichtstbij gelegen woning het laagfrequente binnenniveau berekend en gerelateerd aan de NSG-curve (hoorbaarheid) en Vercammen-curve (hinder).

²⁴ 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.

²⁵ Tweede Kamer brief Structuurvisie wind op land, 31 maart 2014 (kamerstuk 33612, nr 22)

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.²⁶ 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.

In onderzoek naar de metingen van AM in de VS²⁷ wordt geconcludeerd dat het optreden van AM niet voorspelbaar is. Deze conclusie wordt bevestigd in een studie uit 2016²⁸ 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.

3.5 Alternatieven voor toetsingskader windturbinegeluid vanuit wetenschappelijk perspectief

Nu de windturbinebepalingen uit het Activiteitenbesluit en -regeling niet meer zonder meer toegepast kunnen worden, 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 Windpark Bijsterhuizen relevant worden geacht zijn:

- 47 dB L_{den} en 41 dB L_{night} uit de windturbinebepalingen uit het Activiteitenbesluit en -regeling;
- Adviesnorm van 45 dB L_{den} van de World Health Organisation (WHO).

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 in deze geen aanleiding. Andere beschermingsmaten van de geluidnorm zijn namelijk niet voldoende vastgelegd / onderzocht in (wetenschappelijke) studies of onderbouwingen voor toepassing bij

²⁶ 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.

²⁷ 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/>

²⁸ 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):

windturbinegeluid. Er is daardoor weinig bewijslast of onderzoek ten aanzien van de relatie met ervaren hinder aanwezig.

In recent onderzoek²⁹ 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 geluidsnorm 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. De bijlage meten en rekenen uit het Activiteitenregeling 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 vergelijkbaar³⁰ 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 gesteld³¹ 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 5.21, module IL-WT. Dit rekenprogramma volgt het Reken- en meetvoorschrift windturbines³². 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.

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.

²⁹ Koppen, E. (2022). Onderzoek afstandsnormen windturbines, Arcadis.

³⁰ CNOSSOS and industrial noise, R. Witte, DGMR, Euronoise 2018

³¹ <https://rekentool.mp.nl/informatie.php>

³² Bijlage 4 bij Activiteitenregeling milieubeheer, <https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0022830&bijlage=4&z=2020-07-08&g=2020-07-08>

Rekenmodel

Er is gebruik gemaakt van een akoestisch rekenmodel in Geomilieu® versie 5.21. Dit betreft het rekenmodel dat voor een eerder geluidsonderzoek voor WP Bijsterhuizen is gebruikt. Dit rekenmodel bevat informatie over de bodemgebieden voor het berekenen van de geluidoverdracht en toetspunten ter plaatse van gevoelige objecten zoals gedefinieerd in de wet geluidhinder. De modellering en de overdrachtsberekening zijn uitgevoerd conform het Reken- en meetvoorschrift windturbines. Voor meer informatie over de invoergegevens van het rekenmodel wordt verwezen naar het Akoestisch onderzoek WP Bijsterhuizen³³.

3.7 Lokale situatie in project WP Bijsterhuizen

3.7.1 Reeds uitgevoerde onderzoeken

Voor WP Bijsterhuizen is reeds een akoestisch onderzoek uitgevoerd³³. 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 de destijds nog geldende normstelling van L_{den} 47 dB en L_{night} 41 dB.

3.7.2 Referentiesituatie

In de referentiesituatie zijn er de vijf geplande windturbines nabij Beuningen. Net als in de eerder uitgevoerde geluidstudie wordt voor de windturbines van WP Beuningen uitgegaan van Nordex N163/5.X windturbines met een rotordiameter van 163 meter en een ashoogte van 170 meter.

3.7.3 Gevolgen WP Bijsterhuizen

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 het eerder doorgerekende windturbinetype³⁴ van WP Bijsterhuizen (Vestas V136-4.2MW 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 in het eerder uitgevoerde onderzoek betreft een qua geluidemissie gemiddeld windturbinetype waarbij eveneens geluidvoorzieningen benodigd zijn om ter plaatse van woningen van derden aan een geluidbelasting van 47 dB L_{den} te voldoen.

In het plangebied en de omgeving zijn de gevoelige objecten bepaald als gedefinieerd in de Wet geluidhinder waarbij de geluidbelasting als gevolg van WP Bijsterhuizen 37 dB L_{den} of meer bedraagt (het onderzoeksgebied). In dit onderzoeksgebied bevinden zich 84 woningen.

Maximale en minimale geluidniveaus en reductieopties

³³ 20220802 719050 AS WP Bijsterhuizen Wijchen v3.0, Pondera Consult

³⁴ De Vestas V136 heeft standaard een vermogen van 4.0MW maar kan ook worden geleverd/uitgevoerd als 4.2MW. De geluidproductie is hierbij gelijk en het exacte elektrische vermogen heeft daarmee geen invloed op de rekenresultaten.

De maximale geluidbelasting bij woningen in dB L_{den} als gevolg van WP Bijsterhuizen bedraagt (zonder toepassing van geluidemissie-reducerende voorzieningen) 50 dB L_{den} . Een hogere geluidbelasting wordt daarmee dus ook niet onderzocht. Door windturbines van WP Bijsterhuizen in een stillere modus te laten draaien is het mogelijk om de geluidbelasting van WP Bijsterhuizen te reduceren tot 47 of 45 dB L_{den} . Er is bewust gekozen om het minimale geluidniveau uit te werken tot niveaus van 45 dB L_{den} (dit is de adviesnorm van WHO).

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 of 45 dB L_{den} . De configuratie van de windturbines om de geluidbelasting te reduceren tot 47 dan wel 45 dB L_{den} is gegeven in Bijlage 3. Het toepassen van de voorgestelde maatregelen gaat echter wel ten koste van de energieproductie. Een alternatieve oplossing zou kunnen zijn door te kiezen voor een stiller windturbintype, al dan niet in combinatie met geluidreducerende maatregelen.

Bepaling aantal ernstig gehinderden binnenshuis

Volgens CBS³⁵ bedraagt de gemiddelde huishoudensgrootte in 2021 in de gemeenten Beuningen en Wijchen 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 gehinderden³⁶ binnenshuis bepaald (Highly annoyed) door het percentage te vermenigvuldigen met 2,3. Als voorbeeld: een woning ervaart een geluidbelasting van 47 dB 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 WP Bijsterhuizen) 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 84 woningen, waarvan 1 molenaarswoning. Vermenigvuldigd met de gemiddelde bezetting per huishouden betekent dit dat er circa 193 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. Van deze 84 woningen is 1 woning als molenaarswoning aangemerkt. Zoals in het TNO-rapport wordt vermeld geldt dat voor mensen die economisch profijt hebben van een windturbine er vrijwel geen hinder wordt ervaren. Hierom wordt de molenaarswoning in het verwacht aantal gehinderden buiten beschouwing gelaten en wordt uitgegaan van een populatie van 83 woningen met 191 personen.

Het aantal personen dat ernstige hinder ervaart van WP Bijsterhuizen zonder toepassing van geluidmitigatie (maximale geluidbelasting van 50 dB L_{den}) is gegeven in Tabel 3.2. Tevens zijn de resultaten gegeven indien de maximale geluidbelasting van WP Bijsterhuizen³⁷ wordt gereduceerd naar 47 en 45 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

³⁵ CBS Statline, geraadpleegd op 17-3-2022, onderwerp: Regionale kerncijfers Nederland, <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/70072ned/table?dl=647F6>

³⁶ TNO-rapport: Hinder door geluid van windturbines, 2008-D-R1051/B, TNO, 2008

³⁷ Er wordt dus niet naar cumulatief 47 of 45 dB L_{den} teruggeregeld, maar voor enkel WP Bijsterhuizen. Cumulatief kan er dus sprake zijn van een hogere geluidbelasting.

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 WP Bijsterhuizen

Situatie	Ernstig gehinderd (binnenshuis)	
	Aantal	% van de populatie
Ref. situatie (zonder WP Bijsterhuizen)	0,2	0,1%
Met WP Bijsterhuizen zonder geluidmitigatie (max. 50 dB L_{den})	3,3	1,8%
Met WP Bijsterhuizen Tot 47 dB L_{den} teruggeregeld	2,3	1,2%
Met WP Bijsterhuizen Tot 45 dB L_{den} teruggeregeld	1,5	0,8%

Uit bovenstaande tabel blijkt dat als WP Bijsterhuizen wordt geëxploiteerd zonder toepassing van geluidvoorzieningen, met toepassing van een luide windturbine (worst case), het aantal personen dat ernstige hinder ervaart 3,3 bedraagt. Bij een maximale geluidbelasting van 47 dB L_{den} op omliggende woningen, daalt het aantal ernstig gehinderden naar 2,3 personen. Een verdere reductie van de maximale geluidbelasting naar 45 dB L_{den} leidt tot een aantal ernstig gehinderden van 1,5 personen.

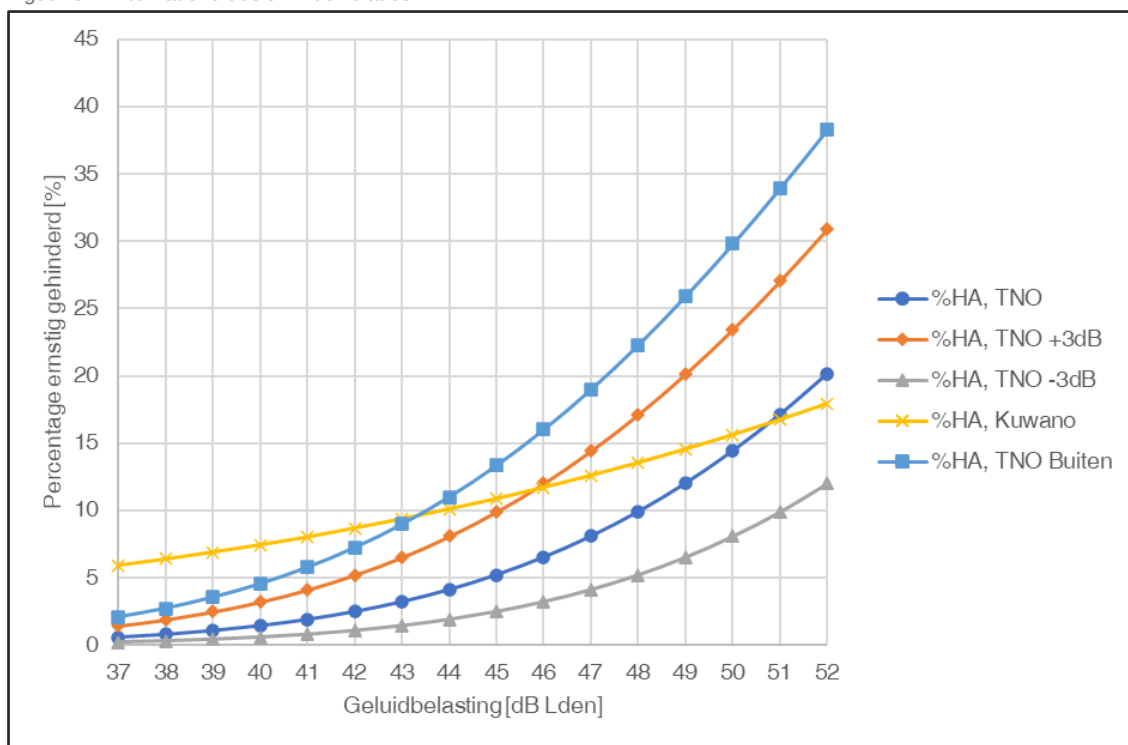
In Bijlage 4 is een vergelijkbare berekening gedaan voor het aantal gehinderden.

Gevoeligheidsanalyse dosis-hinderrelatie

Om inzicht in te verlenen wat het betekent als de dosis-effectrelatie heel anders zou zijn, is de dosis-effectrelatie opgeschoven met 3 dB in beide richtingen om zo de spreiding van de relatie weer te kunnen geven³⁸. 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. Aanvullend is de dosis-hinderrelatie, die is gegeven in onderzoek van Kuwano¹¹ et al uit 2014, gebruikt, waarbij de kanttekening dient te worden geplaatst dat dit een dosis-hinderrelatie is die uitgaat van hinder binnen- en buitenshuis en dus niet rechtstreeks vergelijkbaar is met de eerdergenoemde dosis-hinderrelaties, maar waarvoor een vergelijking wordt gemaakt met de dosis-hinderrelatie voor hinder buitenshuis van het TNO onderzoek. De diverse curves zijn weergegeven in Figuur 3.2.

³⁸ De door Janssen et al 2011 (waar deze dosis-hinderrelatie op is gebaseerd) aangegeven confidence intervals zijn ruim minder dan deze interval.

Figuur 3.2 Alternatieve dosis-hinderrelaties

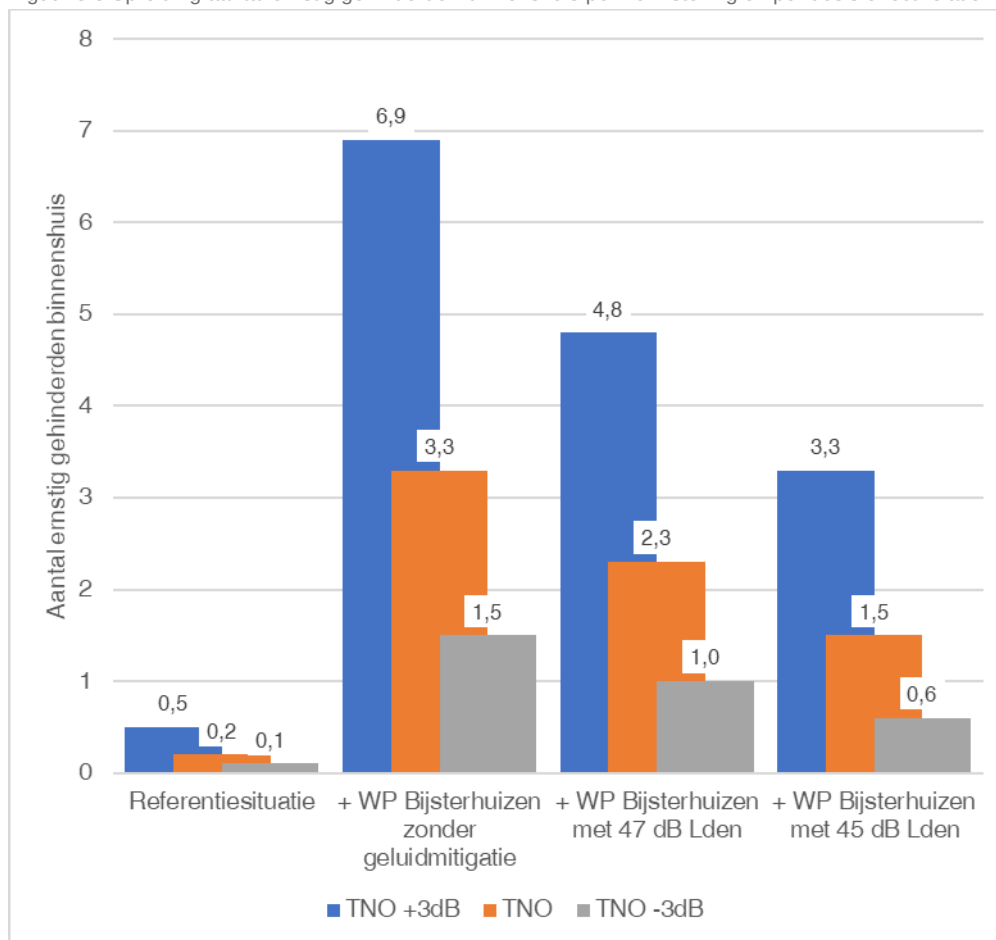


Bovenstaande dosis-hinderrelaties zijn toegepast op de woningen rondom WP Bijsterhuizen voor de verschillende normstellingen. De resultaten daarvan zijn hieronder weergegeven in Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Aantal ernstig gehinderden op basis van diverse dosis-hinderrelaties

Situatie	Ernstig gehinderden op basis van dosis-hinderrelatie (plus het percentage van de beschouwde populatie, 191 personen)				
	TNO	TNO +3 dB	TNO -3 dB	Kuwano (buitenshuis)	TNO (buitenshuis)
Ref. situatie (populatie = 191 personen)	0,2 (0,1%)	0,5 (0,3%)	0,1 (0,0%)	1,6 (0,8%)	0,7 (0,4%)
+ WP Bijsterhuizen (zonder geluidmitigatie)	3,3 (1,7%)	6,9 (3,6%)	1,5 (0,8%)	14,0 (7,3%)	9,5 (5,0%)
+ WP Bijsterhuizen (mitigatie naar 47 dB L _{den})	2,3 (1,2%)	4,8 (2,5%)	1,0 (0,5%)	10,3 (5,4%)	6,7 (3,5%)
+ WP Bijsterhuizen (mitigatie naar 45 dB L _{den})	1,5 (0,8%)	3,3 (1,7%)	0,6 (0,3%)	7,5 (3,9%)	4,7 (2,4%)

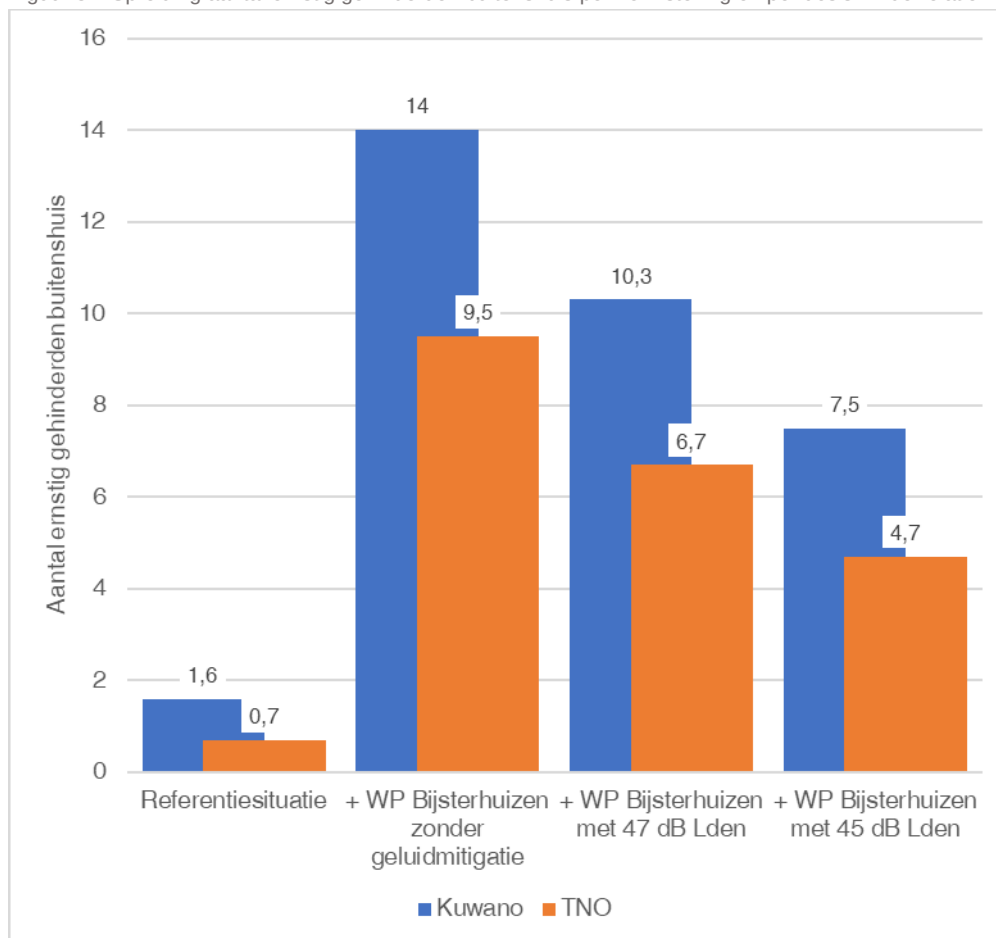
Figuur 3.3 Spreiding aantal ernstig gehinderden binnenshuis per normstelling en per dosis effect relatie



Het hanteren van een andere dosis-hinderrelatie leidt tot een ander aantal verwachte ernstig gehinderden. Bovenstaande grafiek en tabel kunnen worden gezien als het te verwachten maximale aantal gehinderden binnenshuis (blauw) en minimale aantal gehinderden (grijs). Voor wat betreft de hinder binnenshuis (Kuwano bevat ook hinder buitenshuis en is daarom niet rechtstreeks vergelijkbaar) geldt dat bij een normstelling van 47 dB Lden voor WP Bijsterhuizen het aantal gehinderden verdubbelt (van 2,3 naar 4,8 ernstig gehinderden) bij het hanteren van de dosis-hinderrelatie TNO +3dB. Ten opzichte van de referentiesituatie leidt WP Bijsterhuizen met maximaal 47 dB Lden tot een toevoeging van 2,1 ernstig gehinderden bij het hanteren van de dosis-hinderrelatie TNO, en een toevoeging van 4,3 ernstig gehinderden wanneer de dosis-hinderrelatie TNO +3dB wordt gebruikt.

Voor de alternatieve dosis-hinderrelatie van Kuwano worden de aantallen ernstig gehinderden bij diverse normstellingen vergeleken met de dosis-hinderrelatie die in het TNO-onderzoek is gegeven voor hinder buitenshuis. De resultaten hiervan zijn tevens grafisch weergegeven in

Figuur 3.4 Spreiding aantal ernstig gehinderden buitenshuis per normstelling en per dosis-hinderrelatie



Bij een normstelling van 47 dB L_{den} voor WP Bijsterhuizen neemt het aantal gehinderden buitenshuis met circa 50% toe (van 6,7 naar 10,3 ernstig gehinderden) bij het hanteren van de dosis-hinderrelatie van Kuwano t.o.v. TNO. Ten opzichte van de referentiesituatie leidt WP Bijsterhuizen met maximaal 47 dB L_{den} tot een toevoeging van 6,0 ernstig gehinderden buitenshuis bij het hanteren van de dosis-hinderrelatie TNO, en een toevoeging van 8,7 ernstig gehinderden buitenshuis wanneer de dosis-hinderrelatie Kuwano wordt gebruikt.

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

Woningen van derden

Voor WP Bijsterhuizen zijn meerdere verschillende situaties onderzocht, de referentiesituatie, maximaal 50 dB L_{den} (geen geluidmitigatie van WP Bijsterhuizen), WP Bijsterhuizen teruggeregeld tot 47 dB L_{den} en een situatie bij een normstelling voor WP Bijsterhuizen van maximaal 45 dB L_{den}. Voor deze verschillende

scenario's is voor de 84 woningen in de omgeving de geluidbelasting in dB L_{den} bepaald en gecategoriseerd weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.4 Aantal woningen per geluidbelasting in dB L_{den}

Geluidbelasting dB L _{den}	Ref. situatie	+ WP Bijsterhuizen Geen mitigatie max 50 dB L _{den}	+ WP Bijsterhuizen Mitigatie naar 47 dB L _{den}	+ WP Bijsterhuizen Mitigatie naar 45 dB L _{den}
<37	73	0	22	38
37	7	25	15	16
38	1	14	16	5
39	1	14	6	4
40	1	10	7	6
41	1	5	5	2
42	0	3	2	8
43	0	5	3	2
44	0	0	4	1
45	0	0	1	0
46	0	5	1	1**
47	0	0	1	0
48	0	1	0	0
49	0	0	0	0
50	0	1	0	0
Totalen	84	83*	83*	83*

*: De molenaarswoning wordt bij deze scenario's buiten beschouwing gelaten

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

Uit Tabel 3.4 kan worden opgemaakt dat zonder geluidmitigatie er bij 7 woningen een geluidbelasting van 45 dB L_{den} of meer optreedt. Door een normstelling van 47 dB L_{den} te hanteren, zijn er nog slechts 4 woningen met een geluidbelasting van 45 dB L_{den} of hoger. Bij een strengere normering van 45 dB L_{den} ondervindt slechts 1 van de 83 beschouwde woningen een geluidbelasting van 45 dB L_{den} of hoger. Daarnaast blijkt uit de tabel dat 92% (97 van de 105 woningen) een geluidbelasting van 40 dB L_{den} of lager ervaart, zonder dat er maatregelen worden genomen. Indien een maximale belasting van 45 dB wordt aangehouden, zijn er nog slechts 3 woningen met een geluidbelasting van meer dan 40 dB L_{den}.

3.7.5 Energieverliezen als gevolg van lagere geluidnorm

Om het productieverlies te bepalen³⁹, is eerst de energieopbrengst van het windpark zonder toepassing van geluidmitigatie bepaald aan de hand van de powercurve van de windturbines (Vestas V136-4.2MW met serrated edges⁴⁰) en de windverdeling op ashoogte per turbintype. Vervolgens is de energieopbrengst van het windpark bepaald met de configuratie waarmee wordt voldaan aan de

³⁹ Dit is een indicatie, berekeningen dienen als zodanig te worden geïnterpreteerd

⁴⁰ Dit is hetzelfde turbintype als waar de geluidcontouren op zijn gebaseerd

geluidnorm van 47 of 45 dB L_{den}. Het procentuele productieverlies om te voldoen aan een strengere geluidnorm is gegeven in Tabel 3.5. Voor de benodigde configuraties wordt verwezen naar bijlage 3.

Tabel 3.5 Verwachte productieverlies veroorzaakt door geluidmitigatie van WP Bijsterhuizen

Scenario	Opbrengstverlies veroorzaakt door geluidmitigatie
Geen geluidmitigatie (max 50 dB L _{den})	0%
Tot 47 dB L _{den} mitigeren	4%
Tot 45 dB L _{den} mitigeren	20%

4 Slagschaduw en lichtschittering van windturbines

4.1 Inleiding

De draaiende rotorbladen van windturbines kunnen een bewegende schaduw op hun omgeving werpen op het moment dat de zon schijnt. Deze zogenaamde 'slagschaduw' kan onder bepaalde omstandigheden als hinderlijk worden ervaren door personen in de omgeving. Daarnaast kan (zon)licht reflecteren van onderdelen van de windturbine, dit wordt 'lichtschittering' genoemd. Beide fenomenen kunnen zich alleen voordoen indien er sprake is van zonneschijn. In bewolkte weersomstandigheden treden deze effecten niet op. De impact van slagschaduw op de omgeving verschilt sterk, afhankelijk van de locatie van de windturbine, de locatie van de plek waar een waarnemer verblijft, de afmetingen van de windturbine en de windrichting en zonneschijnduur.

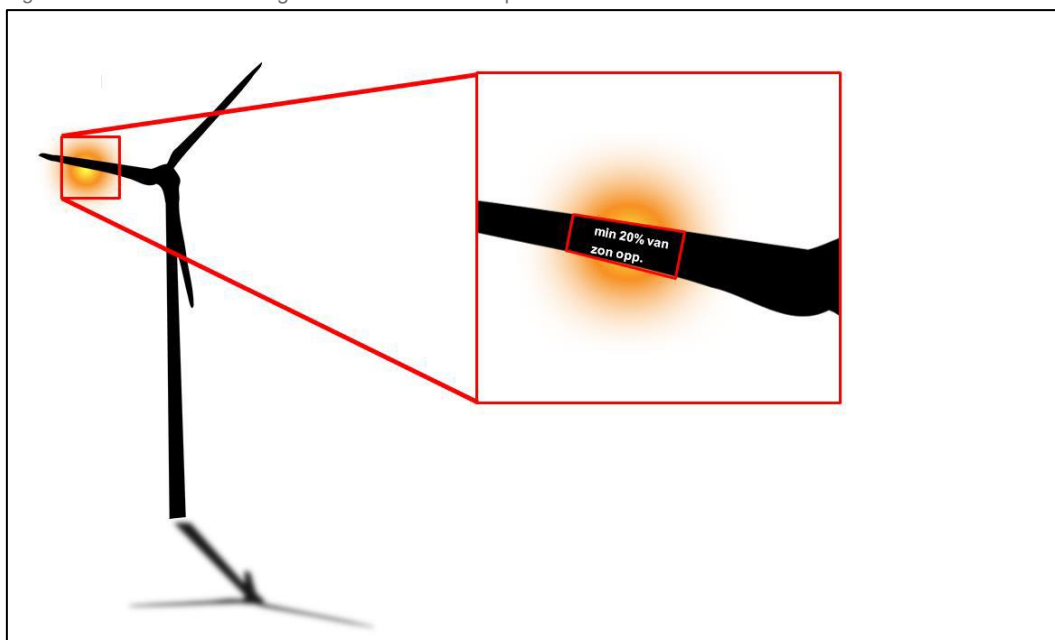
4.2 Achtergrond: inzichtelijk maken van slagschaduw

4.2.1 Wanneer is sprake van slagschaduw?

Om te kunnen spreken van slagschaduw(hinder) op de omgeving moet aan een paar voorwaarden worden voldaan:

1. er is sprake van een minimale afdekking van de lichtbron (in dit geval de zon) van 20% van het oppervlak van bron (zie figuur 3.1). Indien dit minder is, zal zoveel licht rond het object – in dit geval het windturbineblad - buigen dat van een effectieve schaduw geen sprake is. Hoe kleiner de afdekking, hoe 'diffuser' de schaduw⁴¹;

Figuur 4.1 Minimale afdekking als voorwaarde voor optreden 'schaduw'



⁴¹ De afstand waarbij 20% afscherming van de zon optreedt kan berekend worden met: Max. distance = $(5 \cdot w \cdot 150.000.000) / 1.097.780$ waarbij w staat voor de gemiddelde dikte van een rotorblad gebaseerd op de maximale dikte en de dikte op 90% rotorbladlengte. Alternatief kan ook $w / \text{bgtan}((0,2 \cdot \pi \cdot (0,531/2)^2) / 0,531)$ gebruikt worden.

2. Er moet sprake zijn van een minimale stralingsintensiteit van 120 Watt/m² om het voor een hinderervaring benodigde contrast (schaduw) te kunnen laten optreden⁴²;
3. De windturbine moet in bedrijf zijn (draaien) om te kunnen spreken van hinderlijke slagschaduw;
4. Er dient sprake te zijn van een ruimte met een beperkt aantal lichtbronnen die significant kunnen worden afgeschermd door een bewegende slagschaduw. De ervaring van een bewegende schaduw in de buitenruimte wordt niet als hinderlijk ervaren.
5. De schaduw moet daadwerkelijk de gevel van het gevoelige object kunnen bereiken en dus niet afgeschermd worden door obstakels zoals gebouwen of bomen ('line of sight').

4.2.2 Wanneer is een object of terrein 'slagschaduwgevoelig'?

Niet op alle plekken waar slagschaduw theoretisch kan optreden is er sprake van een milieu- of hindereffect. In een weiland of op open water, waar geen of zeer weinig mensen aanwezig (kunnen) zijn leidt de slagschaduw immers niet tot een waarneembare hinder. In zoverre is dit vergelijkbaar met geluid, waar de beoordeling plaatsvindt op geluidgevoelige objecten (zie 3.6). Voor slagschaduw is er echter aanleiding dit te verfijnen, omdat er ook verschillen bestaan tussen de effecten van geluid en slagschaduw. Bijvoorbeeld in een gebouw zonder ramen in de gevel in de richting van de windturbine kan geluid nog steeds een effect veroorzaken, echter een effect van slagschaduw is per definitie uitgesloten omdat er geen licht door een dichte gevel kan dringen.

Voor de definitie van een slagschaduw gevoelig object of terrein maken we onderscheid tussen objecten of terreinen bedoeld voor permanent verblijf van personen (o.a. woningen) en objecten of terreinen waar gedurende een langere tijdsduur (bijvoorbeeld een werkdag) mensen aanwezig zijn, maar niet permanent wonen. Daarvoor hanteren we de volgende definities:

Een slagschaduwgevoelig object of terrein:

Ieder object bedoeld voor bewoning of anderszins voor permanent verblijf van personen (woningen, woonboten of woonwagens en zorginstellingen) en voor zover de gevel of het dakvlak voorzien is van één of meerdere lichtdoorlatende vlakken in de richting van de windturbine(s).

Overige slagschaduwgevoelige objecten:

Overige objecten voor zover personen in een ruimte binnen dit object gedurende langere aaneengesloten tijd verblijven tijdens de daglichtperiode, en voor zover dit een gebouw of bouwwerk betreft, de gevel of het dakvlak voorzien is van één of meerdere lichtdoorlatende vlakken in de richting van de windturbine(s).

Voorbeelden van overige slagschaduwgevoelige objecten (anders dan woningen en zorginstellingen) zijn dan onder andere: scholen, kantoorgebouwen, horecagelegenheden en kampeerterreinen. Een stal, opslagloods, landbouwgrond, sportveld of parkeerterrein zijn voorbeelden van niet-slagschaduwgevoelige objecten of terreinen. Voor zover slechts een deel van een object als slagschaduwgevoelig kan worden aangemerkt (bijvoorbeeld een bedrijfspand met bijbehorend kantoorgedeelte), hoeft alleen dat deel als slagschaduwgevoelig te worden beschouwd.

⁴² World Meteorological Organization, 2021; Chapter 8 Measurement of sunshine duration:
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3154

Kader 4.1 Slagschaduwgevoeligheid terrassen en balkons (buitenruimte)

Bescherming is primair gericht op locaties waar personen gedurende langere tijd verblijven. Daarom zijn onder andere woningen en zorginstellingen als slagschaduwgevoelig aangemerkt. Buitenruimte behorende bij deze gebouwen (zoals terrassen of balkons) is niet afzonderlijk als slagschaduwgevoelig aangemerkt. Reden hiervoor is tweeledig: enerzijds is het voor een persoon die zich in een binnenruimte bevindt waarop slagschaduw optreedt niet eenvoudig mogelijk om naar een andere plek te vertrekken om daarmee de schaduwhinder te voorkomen. Dat is in de buitenruimte wel eenvoudig(er) mogelijk. Bovendien is buiten het aanwezige licht per definitie afkomstig van een grote hoeveelheid bronnen (reflecties, omgevingslicht) waardoor de hinderlijkheid van de slagschaduw in een buitenruimte zeer beperkt is. Anderzijds wordt door het gebouw zelf te beschermen tegen eventuele hinder de aangrenzende buitenruimte in de nabijheid van een gebouw al automatisch meegenomen in een groot deel van de stilstandvoorziening. De schaduw zal in de praktijk namelijk verplaatsen en dus niet alleen op het gebouw of alleen op de aangrenzende buitenruimte plaatsvinden, maar vrijwel altijd in combinatie. Er is daarom geen reden om de buitenruimte rondom een slagschaduwgevoelig object als afzonderlijk schaduwgevoelig aan te merken.

4.2.3 Hinderlijkheid van slagschaduw

Gevolgen van slagschaduw

Het menselijk oog is gevoelig voor optredende verschillen tussen licht en donker en voor snelle bewegingen. Dit trekt aandacht en leidt af, waardoor dit als hinderlijk kan worden ervaren door de waarnemer. De mate van hinder van een passerende schaduw wordt onder meer bepaald door de frequentie van het passeren (rotortoerental), door de blootstellingsduur en door de intensiteit van de wisselingen in lichtsterkte.

Uit onderzoek dat in 1999 in Duitsland is verricht blijkt dat omwonenden van windturbines die een netto slagschaduwduur van meer dan 15 uur per jaar ervaren een hogere mate van dagelijkse hinder ervaren in hun leefomgeving⁴³. Herhaaldelijke of langdurige blootstelling hieraan kan bovendien leiden tot stress en concentratieverlies. Onderzoekers van de Universiteit van Kiel vonden in dezelfde laboratoriumstudie een duidelijke relatie tussen blootstellingsduur aan slagschaduw en de ervaren hinder voor de testpersonen. Uit het laboratoriumonderzoek komt specifiek naar voren dat in de eerste 20 minuten dat contrastrijke slagschaduw optreedt een fysieke reactie worden veroorzaakt, die bij langere blootstelling daarna door het lichaam wordt gecompenseerd. De onderzoekers hebben aanbevolen de slagschaduwduur te beperken om effecten op langere termijn te voorkomen vanwege de energie die deze compensatie kost.

Bij frequenties hoger dan 2,5 Hz (aantal passeringen per seconde) kan als gevolg daarvan sprake zijn een fysiologisch effect in de vorm van een kans op een epileptische aanval bij personen die gevoelig zijn voor licht⁴⁴. Bij grote moderne windturbines treedt dit niet op aangezien de frequentie veel lager dan 2,5 Hz (veelal beneden de 1 Hz) is, omdat de rotorbladen relatief weinig omwentelingen per minuut maken.

Er is geen bewijs gevonden dat directe blootstelling aan slagschaduw bij frequenties beneden de 2,5 Hz an sich gezondheidseffecten veroorzaakt. In de periode sinds dit onderzoek zijn in Europa vele duizenden windturbines gerealiseerd waaruit geen wetenschappelijk vastgestelde gevallen van gezondheidseffecten als gevolg van slagschaduw bekend zijn en er zijn ook geen andere onderzoeken gepubliceerd die een andere conclusie geven op dit punt. Directe gevolgen voor de gezondheid als gevolg van blootstelling aan slagschaduw – mits frequenties beneden 2,5 Hz blijven - zijn daarmee niet aannemelijk. Slagschaduw wordt echter wel als hinderlijk beschouwd en dit is aanleiding de slagschaduw te normeren.

⁴³ Pohl, J, Faul, F, & Mausfeld, R; Belästigung durch periodischen schattenwurf von Windenergieanlagen, 1999.

⁴⁴ Parsons Brinckerhoff, 2006; Update of UK Shadow flicker Evidence Base

Kader 4.2 Toegenomen afmetingen windturbines in relatie tot bruikbaarheid onderzoeksresultaten

Hoewel het uitgevoerde laboratoriumonderzoek uit 1999 stamt gaat het in op de effecten van slagschaduw op het menselijke welbevinden. Hoewel windturbines sinds die tijd veel groter zijn geworden heeft dat geen effect op de bruikbaarheid van de resultaten van het onderzoek, omdat de slagschaduw op zichzelf van een kleine windturbine niet anders is dan die van een grote windturbine. Alleen de afstand waarop het fenomeen zich kan voordoen en de eventuele duur ervan wordt groter met de toenemende afmetingen van de windturbines.

Hinder beperken in de tijd

Uit een vergelijkende literatuurstudie uit 2017 van Koppen et al⁴⁵, blijkt dat in veel landen een maximale slagschaduwduur op een slagschaduwgevoelig object wordt gehanteerd van 8 uur per jaar, in sommige gevallen aangevuld met een maximum per dag van 30 minuten. Jaarlijks schijnt de zon, volgens de KNMI, gemiddeld zo'n 1.550 uur in Nederland (minimaal circa 1.400 uur en maximaal circa 1.700 uur). Een jaar telt 8.760 uren en de daglichtperiode is ongeveer de helft daarvan (4.380 uur). Dit betekent dat ongeveer 18% van het jaar de zon schijnt. Er is dus slechts een beperkt deel van het jaar dat slagschaduw kan optreden. In onderstaande tabel is deze verhouding tussen de totale zonneschijn en daglichtduur per jaar afgezet tegen een bepaalde slagschaduwduur.

Tabel 4.1 Percentage tijd i.r.t. slagschaduwduur

Netto slagschaduw duur per jaar	Percentage van de totale daglichtperiode per jaar	Percentage van het totaal aantal zonuren per jaar
25 uur	0,57%	1,61%
20 uur	0,46%	1,29%
15 uur	0,34%	0,97%
10 uur	0,23%	0,65%
8 uur	0,18%	0,52%
6 uur	0,14%	0,39%
2 uur	0,05%	0,13%

In Nederland wordt nu veelal een maximale slagschaduwduur van 6 uur per jaar op een slagschaduwgevoelig object gehanteerd. Als uitgegaan wordt van maximaal 6 uur slagschaduw per jaar, dan bedraagt dit circa 0,4% van het gehele maximale percentage aan zonuren per jaar. Vervolgens wordt er ook vanuit gegaan dat gedurende deze 6 uur slagschaduw daadwerkelijk iemand zich bevindt in een ruimte waarop de slagschaduw optreedt. In praktijk kan iemand op dat moment niet thuis zijn of zich ergens in huis bevinden waar de slagschaduw niet merkbaar is. Blootstelling aan slagschaduw volgens deze beoordelingssystematiek is op jaarbasis dus zeer beperkt.

Er is internationaal beperkt onderzoek beschikbaar naar de relatie tussen blootstellingsduur aan slagschaduw effecten hiervan op personen. In 2016 heeft Health Canada⁴⁶ aanvullend onderzoek gedaan naar variabelen die de hoogte van de ervaren hinder beïnvloeden. Hieruit is gebleken dat wanneer de aaneengesloten blootstellingsduur van slagschaduw onder de 10 minuten is, de hinder beperkt is tot 3,8% van de blootgestelde personen. Indien de blootstellingsduur meer dan 30 aaneengesloten minuten bedraagt, ervaart 21,1% van de personen ernstige hinder. Deze en de tussenliggende waarden zijn

⁴⁵ Koppen, E, et al, 2017; International Legislation and Regulations for Wind Turbine Shadow Flicker Impact

⁴⁶ <https://asa.scitation.org/doi/pdf/10.1121/1.4942403>

uiteengezet in Tabel 4.2. Dit is voor zover bekend de enige dosis-effectrelatie studie die bekend is in relatie tot slagschaduw van windturbines⁴⁷.

Tabel 4.2 Mate van ernstige hinder bij verschillende aangesloten blootstellingsduren⁴⁸

Blootstelling slagschaduw	≥ 0 minuten en ≤10 minuten	≥ 10 minuten en ≤20 minuten	≥ 20 minuten en ≤30 minuten	≥ 30 minuten
Mate van ernstige hinder	3,8%	5,2%	13,5%	21,1%

Bovenstaande verwachte hinder wordt alleen ervaren indien de blootgestelde persoon ook daadwerkelijk aanwezig is in de betrokken kamer met ramen aan de schaduwkant van de windturbine ten tijde van het optreden van de slagschaduwduur. Het beperken van de totale slagschaduwduur per jaar gaat in verhouding met het beperken van het aantal dagen waarom meer dan een bepaalde slagschaduwduur per dag kan optreden. In Bijlage 6 is een aantal voorbeeldsituaties weergegeven die passen bij de verschillende eerder gehanteerde normstellingen in Nederland. Hierbij is te zien dat door het stellen van een jaarlijkse maximale slagschaduwduur het aantal dagen met meer dan 20 minuten ook automatisch wordt beperkt. Het stellen van een maximale grens aan optredende slagschaduwduur per dag zorgt voor een extra beperking van de draaiuren van een windturbine waarbij het effect op de reductie van het aantal hindermomenten voor omwonenden die reeds een jaarbeperking aan slagschaduw hebben zeer beperkt is. Om de maximale hinderbeperking voor een slagschaduwgevoelig object te realiseren wordt een hinderbeperking in de vorm van een maximale slagschaduwduur per jaar het meest effectief geacht in het beperken van de hinderbeleving.

Tot slot wordt opgemerkt dat verscheidene landen een bruto slagschaduwnorm⁴⁹ hanteren. Omdat de dosis-effectrelatie gaat over de daadwerkelijke blootstelling aan slagschaduw wordt een netto blootstellingsduur als een betere beoordelingsmaat gezien. Bij een bruto beoordelingsmaat is namelijk nog steeds onduidelijk welke netto belasting en dus welke effecten op de omgeving dit daadwerkelijk oplevert.

Hinder beperkt tot afstand

In theorie kan een slagschaduw bij een heel lage zonnestand en een vrij blikveld zeer ver reiken. Echter, er is een beperking aan de afstand waarop nog gesproken kan worden van enige mate van invloed⁵⁰. Specifiek voor slagschaduw geldt dat de schaduw minder scherp wordt naarmate de afstand toeneemt, omdat op grotere afstanden de afdekking van de zon door het windturbineblad nog maar beperkt is. In Figuur 4.1 is eerder weergegeven dat een minimale afdekking moet bestaan van 20% om te spreken van enige waarneembare schaduw. Bij moderne windturbines is dit – afhankelijk van de afmeting van de windturbine - op afstanden van circa 1.800 – 2.000 meter niet meer aan de orde (zie Figuur 4.2 voor een voorbeeld windturbine). De afstand geldt van een punt op ashoogte van de windturbine tot de gevel van het slagschaduwgevoelige object.

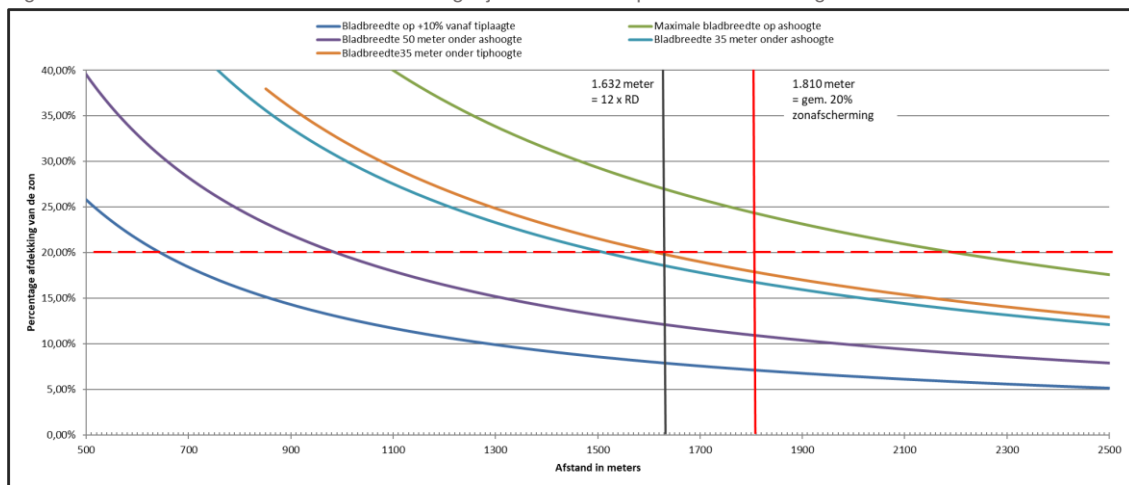
⁴⁷ De onderzoekers geven aan dat de gepresenteerde dosis effectrelatie minder significant is, wanneer enkel naar slagschaduw onafhankelijk van geluidbelasting wordt gekeken.

⁴⁸ Voicescu, et al. 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 139, 1480 (2016); doi: 10.1121/1.4942403

⁴⁹ In dit geval wordt de maximale theoretische slagschaduwduur bedoeld, gebaseerd op een situatie dat de zon altijd schijnt gedurende de daglichtperiode, de windturbine altijd draait en de wind vanuit een (on)gunstige richting waait.

⁵⁰ ECLI:NL:RVS:2018:616, waarin wordt gesproken van tien keer de tiphoogte als afstand waarop in beginsel geen gevolgen van enige betekenis zijn te verwachten van een windpark.

Figuur 4.2 Grafiek afstand en schaduwafdekking bij Vestas V136 op 117 meter ashoogte⁵¹



4.3 Beoordelingskader voor slagschaduw

Blootstellingsduur

Zoals onder paragraaf 4.2 is aangegeven is met name de blootstellingsduur de belangrijkste parameter om de effecten van optredende slagschaduw te beoordelen. Daarom wordt in slagschaduwonderzoeken de optredende cumulatieve slagschaduw op gevoelige objecten of terreinen van alle windturbines in een omgeving gezamenlijk inzichtelijk gemaakt. Dit kan visueel worden verbeeld in slagschaduwduurcontouren (in uren per jaar) op kaart. De uiterste contour waarbuiten slagschaduw als verwaarloosbaar kan worden beschouwd (de '0 uur per jaar contour') ligt maximaal op een afstand waarbij de zon voor minimaal 20% (of meer) kan worden afgeschermd. Daarnaast wordt per individueel schaduwgevoelig object inzichtelijk gemaakt wat de verwachte jaarlijks optredende slagschaduwduur zal zijn.

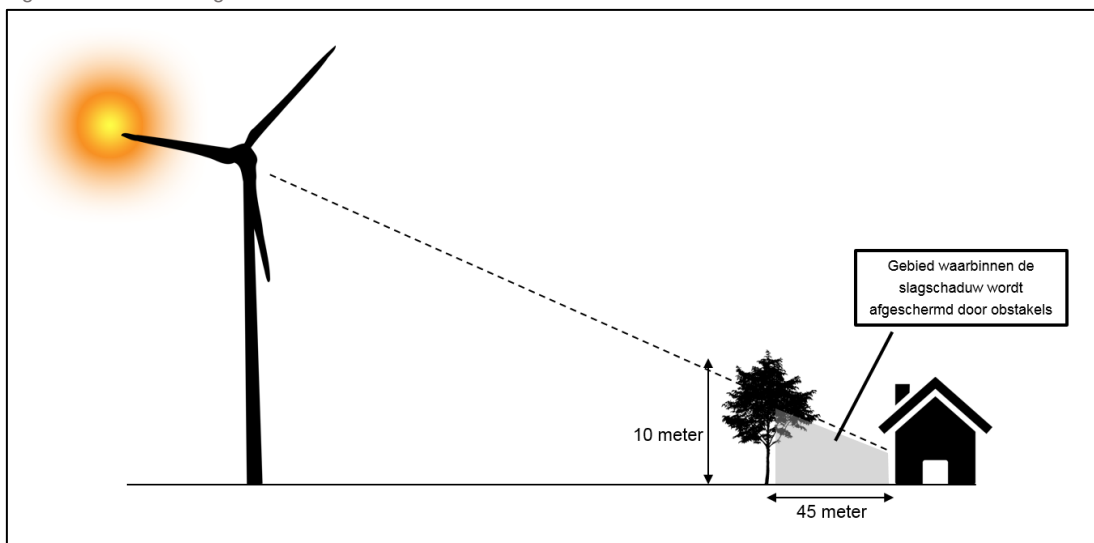
Afscherming

In de rekenmodellen die worden gehanteerd om slagschaduw te bepalen wordt ervan uitgegaan dat er altijd een 'line of sight' bestaat tussen de windturbine en de gevel van een gevoelig object of het schaduwgevoelige terrein. Dit betekent dat afscherming door bijvoorbeeld andere gebouwen of bomen niet wordt meegenomen. Deze afscherming speelt echter wel een belangrijke rol in het al dan niet optreden van slagschaduw op de gevel of het terrein. Ter illustratie: wanneer een object met een hoogte van 10 meter zich binnen circa 45 meter van de gevel van het gevoelige object bevindt tussen de windturbine en het object, zal de schaduw geblokkeerd worden (zie Figuur 4.3). Uiteraard geldt dit voor (loof)bomen alleen in de zomerperiode, echter voor gebouwen geldt deze afscherming het gehele jaar.

Deze afscherming wordt in de rekenmodellen niet meegenomen, echter kan in voorkomende gevallen wel een belangrijke factor van betekenis zijn. Met name op grotere afstanden en lage zonnestanden zal dit in het algemeen snel optreden. Door de afstand waarop slagschaduw wordt beoordeeld te begrenzen is echter al deels rekening gehouden met dit effect. Voor windpark Bijsterhuizen speelt dit bijvoorbeeld een rol bij de woningen aan de Duinweg, waar direct aan de overzijde van de weg een bosgebied ligt.

⁵¹ De afstand waarbij 20% afscherming van de zon optreedt kan berekend worden met: Max. distance = $(5 \cdot w \cdot 150.000.000) / 1.097.780$ waarbij w staat voor de gemiddelde dikte van een rotorblad gebaseerd op de maximale dikte en de dikte op 90% rotorbladlengte. Alternatief kan ook $w / \text{bgtan}((0,2 \cdot \pi \cdot (0,531/2)^2) / 0,531)$ gebruikt worden.

Figuur 4.3 Afscherming effect



4.4 Lokale situatie in project WP Bijsterhuizen

4.4.1 Onderzoeksopzet

De slagschaduwberekeningen zijn uitgevoerd met het softwareprogramma windPRO versie 3.5.552⁵². Voor de windturbines van WP Bijsterhuizen is uitgegaan van fictieve windturbines met een rotordiameter van 139,0 m op een ashoogte van 115,5 m (worst case). De tiphoogte bedraagt 185,0 m. Met een maximale rotatiesnelheid van 11,8⁵³ is de frequentie van slagschaduw (lichtflikkering) maximaal 0,6 Hz.

Voor de slagschaduwberekeningen is de slagschaduw meegenomen die optreedt bij een zonnestand van minimaal 3 graden boven de horizon. Dit betekent dat resultaten met een zonnestand onder de 3 graden niet worden opgenomen in de beoordeling. De achterliggende argumentatie is dat de schaduweffecten onder deze zonnestand te veel gereduceerd zijn om hinderlijke effecten te veroorzaken. Er zijn vier redenen waarom slagschaduw effect bij zonnestanden onder de 3 graden een beperkte vorm van slagschaduw veroorzaken:

- Schaduwaafstand bij laagstaande zon (zie paragraaf 4.2.3);
- Slagschaduwcontrast door percentuele afdekking van de zon (zie paragraaf 4.3);
- Intensiteit van de zon bij lage zonnestanden;
 - Bij lage zonnestanden is de instralingsintensiteit veelal zodanig laag dat er geen sprake is van een contrastrijke slagschaduw.
- Invloed van obstakels bij lagere zonnestanden (zie paragraaf 4.3).

Bij de beoordeling van slagschaduwhinder ter plaatse van toetspunten wordt uitgegaan van de worst-case aanname dat de gehele gevel van een woning boven een hoogte van 50 cm uit lichtdoorlatend materiaal (glas) bestaat. Daarbij is aangenomen dat de gevelhoogte bij woningen 5 meter bedraagt en voor de geprojecteerde breedte van het gevelvlak is 8 meter aangehouden. Woningen worden gezien als 'slagschaduwgevoelige objecten'.

⁵² Dit programma wordt wereldwijd gehanteerd voor slagschaduwberekeningen en bevat een nauwkeurig model voor het voorspellen van de optredende slagschaduw, gebaseerd op de baan van de aarde om de zon, de locatie van de windturbines (op coördinaat niveau) ten opzichte van de slagschaduwgevoelige objecten en langjarige weerdata.

⁵³ Op basis van de Vestas V136-4.0/4.2MW: 4MW RPM curves, Document no.: [0068-0935] VER 05.

De overige slagschaduwgevoelige objecten zijn gebaseerd op de data beschikbaar in de BAG-database. Overige slagschaduwgevoelige objecten zijn gedefinieerd als objecten met een kantoor-, onderwijs-, logies of gezondheidszorgfunctie. Voor deze toetspunten zijn dezelfde uitgangspunten in de modellering gehanteerd als voor de woningen.

Naast het verschil in fysieke dimensies tussen woningen en overige slagschaduwgevoelige objecten, verschillen deze objecten ook wat betreft de mate van bescherming die benodigd is. Aangezien de werkzaamheden en bezetting bij restaurant en logies tijds- en/of seizoensgebonden zijn, kunnen de momenten van de dag en periode in het jaar worden beschouwd om te bepalen wanneer veroorzaakte slagschaduw op dergelijke locaties als hinderlijk ervaren kan worden. Gezien de tijds- en seizoensgebonden functie kan de totale aanvaardbare slagschaduw per jaar op dergelijke objecten anders zijn dan op een woning.

De berekende slagschaduwduren zijn gegeven in netto gemiddelde slagschaduwduur per jaar. Voor de meteorcorrecties (zonneshijns en windrichting) wordt gebruik gemaakt van gegevens van het nabijgelegen KNMI-meteorstation Volkel.

4.4.2 Referentiesituatie

In de referentiesituatie wordt uitgegaan van de aanwezigheid van WP Beuningen. Zoals uit het slagschaduwonderzoek blijkt, is van cumulatieve niet of nauwelijks sprake, en wordt in dit onderzoek enkel gekeken naar de toevoeging van slagschaduw door windpark Bijsterhuizen.

4.4.3 Resultaten berekeningen WP Bijsterhuizen

Het gebied waarin slagschaduw veroorzaakt door WP Bijsterhuizen als hinderlijk waarneembaar kan zijn⁵⁴, ligt binnen een afstand van 1810 meter (uitgaande van een Vestas V136-4.0/4.2MW windturbine, wat een type windturbine is met een gemiddelde bladbreedte⁵⁵). In totaal liggen in dit gebied 1486 objecten die als slagschaduwgevoelig worden aangemerkt (woningen).

Binnen een afstand van 1810 meter liggen 210 overige slagschaduwgevoelige objecten. Deze objecten hebben een kantoor-, onderwijs-, logies of gezondheidszorgfunctie.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van het aantal objecten per type object binnen een afstand van 1810 meter van een van beide windturbines (het onderzoeksgebied). Dit betekent niet dat al deze objecten ook daadwerkelijk slagschaduw ontvangen.

Tabel 4.3 Aantal slagschaduwgevoelige objecten naar aard in het plangebied

Type	Aantal
Slagschaduwgevoelige objecten (woningen)	1486
Overige slagschaduwgevoelige objecten:	210
Waarvan: kantoorfunctie	183
Waarvan: onderwijsfunctie	1

⁵⁴ Hierbij wordt de afstand gehanteerd waarbij de gemiddelde bladbreedte 20% van de zon bedekt, zie ook voetnoot 41

⁵⁵ De Vestas V136-4.0/4.2MW heeft een maximale bladbreedte van 4,1 m en bladbreedte op 90% radius van 1,2 m.

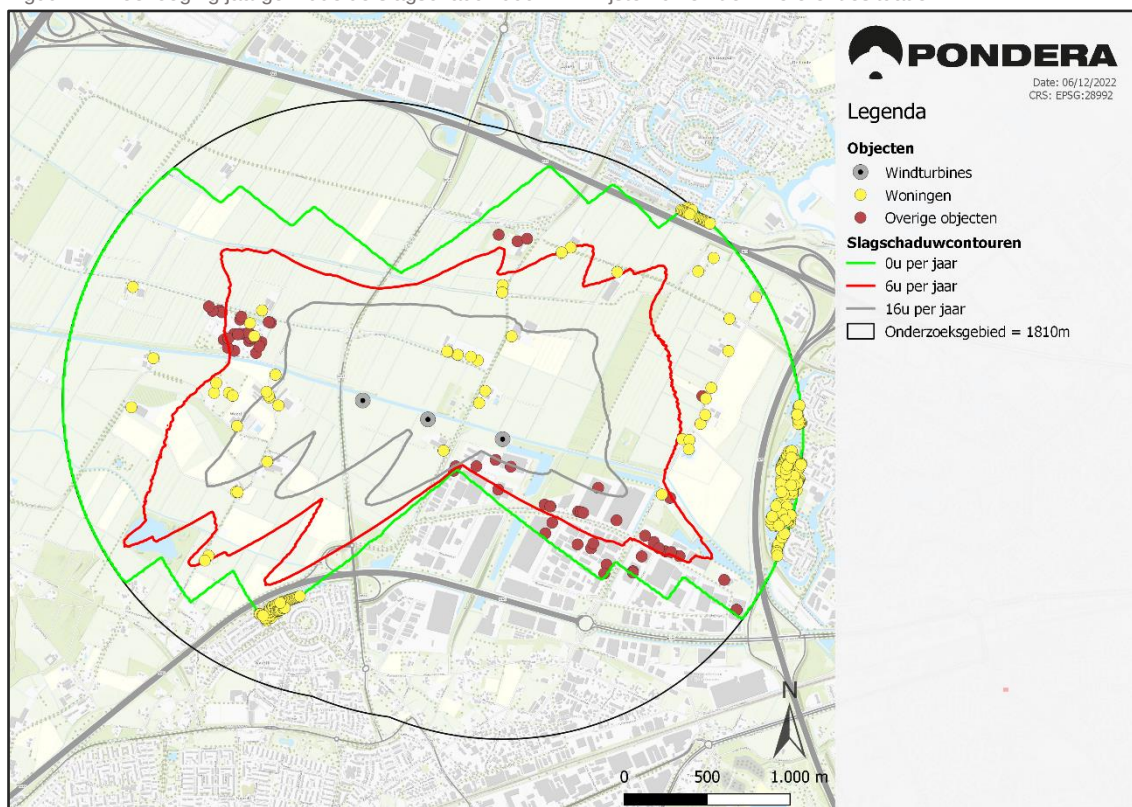
Type	Aantal
Waarvan: logies	24
Waarvan: gezondheidszorg	2

In Figuur 4.4 is met isolijnen de contouren aangegeven waar de jaargemiddelde slagschaduwduur per gevel 0, 6 en 16 uur per jaar bedraagt als gevolg van WP Bijsterhuizen. In Tabel 4.4 is het aantal objecten met een bepaalde slagschaduwduur per dag gegeven.

Tabel 4.4 Aantal slagschaduwgevoelige objecten met bepaalde slagschaduwduur per dag a.g.v. WP Bijsterhuizen

Type	>0 min en ≤10 min	> 10 min en ≤20 min	> 20 min en ≤30 min	> 30 min
Woningen waar daadwerkelijk slagschaduw optreedt	46	151	16	31
Overige gevoelige objecten waar daadwerkelijk slagschaduw optreedt	15	2	14	37

Figuur 4.4 Toevoeging jaargemiddelde slagschaduwduur WP Bijsterhuizen t.o.v. referentiesituatie



Gevolgen voor woningen

Als gevolg van WP Bijsterhuizen wordt bij 244 van de 1486⁵⁶ woningen in de omgeving daadwerkelijk slagschaduw ondervonden. Voor alle woningen bij elkaar opgeteld is de maximale jaarlijkse slagschaduwduur zonder toepassing van mitigerende maatregelen ongeveer 1041 uur. De meeste woningen ontvangen tussen 10 en 20 minuten slagschaduw per dag (zie Tabel 4.4). In onderstaande tabel zijn de woningen opgedeeld in aantal woningen waar een bepaalde slagschaduwduur wordt verwacht.

Tabel 4.5 aantal woningen binnen 2.050 meter met bepaalde verwachte netto slagschaduwduur per jaar

Aantal uur slagschaduw per jaar	Aantal woningen
Geen slagschaduw	1242
0-1 uur	66
1-2 uur	127
2-3 uur	11
3-4 uur	3
4-5 uur	3
5-6 uur	6
6-7 uur	2
7-8 uur	2
8-9 uur	2
9-10 uur	4
> 10 uur	18
Totalen	1486

Uit deze tabel blijkt dat ruim 89% van de woningen (216 van de 244) jaarlijks < 6 uur slagschaduw ontvangt, zonder dat een stilstandsvoorziening in werking is. Voor 28 woningen is de verwachting dat er jaarlijks meer dan 6 uur slagschaduw optreedt.

Overige slagschaduwgevoelige objecten

Bij 66 van de van de 210 overige slagschaduwgevoelige objecten wordt slagschaduw ondervonden als gevolg van WP Bijsterhuizen. De totale jaarlijkse slagschaduwduur bij deze overige slagschaduwgevoelige objecten bedraagt ongeveer 385 uur.

Deze slagschaduwduur is de totale slagschaduwduur gedurende het hele jaar opgeteld. Hierdoor zal een deel ervan optreden op momenten dat er niemand aanwezig is op de betreffende locatie. Dit is bijvoorbeeld het geval buiten kantoor tijden, in de weekenden of op feestdagen. Hierdoor zal de totale slagschaduwduur die in de omgeving als hinderlijk wordt ervaren verschillen van de hierboven genoemde 385 uur.

Ook zal afhankelijk van de functie die wordt uitgevoerd in het betrokken object het optreden van slagschaduw anders worden ervaren. Zo zal de uitvoering van een kantoorfunctie op een andere manier

⁵⁶ Aan de noordzijde wordt het schaduwgebied begrensd omdat de zon in het zuiden tijdens de middaguren altijd hoog staat. Direct aan de zuidzijde treedt nooit schaduw op omdat de zon nooit in het noorden staat.

worden beïnvloed door de aanwezigheid van slagschaduw dan bij een woonfunctie. Naast dat de blootstellingsduur dus anders wordt ervaren kan ook de hinderlijkheid van de aanwezigheid van de slagschaduw anders worden ervaren. De functie van de overige slagschaduwgevoelige objecten maakt dat slagschaduw als minder hinderlijk kan worden aangemerkt. Als gevolg hiervan moet worden bepaald in welke mate de functie van een object door slagschaduw wordt beïnvloed op een wijze dat dit de functie beperkt, hindert of onmogelijk maakt. Ook zijn maatregelen zoals zonwering vaak al in gebruik in panden met kantoorfuncties, die ook kunnen helpen in additionele bescherming ten opzichte van woonfuncties.

Tabel 4.6 aantal overige objecten (logies) binnen 1810 meter met bepaalde verwachte netto slagschaduwduur per jaar

Aantal uur slagschaduw per jaar	Aantal objecten
Geen slagschaduw	144
0-1 uur	13
1-2 uur	1
2-3 uur	1
3-4 uur	7
4-5 uur	6
5-6 uur	10
6-7 uur	4
7-8 uur	6
8-9 uur	8
9-10 uur	3
> 10 uur	7
Totalen	210

Uit deze tabel blijkt dat 58% van de overige slagschaduwgevoelige objecten (38 van de 66) jaarlijks < 6 uur slagschaduw ontvangt, zonder dat een stilstandsvoorziening in werking is. Voor 28 overige slagschaduwgevoelige objecten is de verwachting dat er jaarlijks meer dan 6 uur slagschaduw optreedt (maximaal circa 18 uur).

4.5 Normstelling voor slagschaduw en gevolgen voor windpark

Slagschaduwgevoelige objecten (woningen)

Uit de (beperkt) beschikbare wetenschappelijke onderzoeken blijkt dat – hoewel er geen directe gevolgen voor de gezondheid te verwachten zijn als gevolg van slagschaduw van WP Bijsterhuizen – het wel wenselijk is de totale optredende hoeveelheid slagschaduw ter plaatse van slagschaduwgevoelige objecten te beperken.

In de referentiesituatie wordt er in het onderzoeksgebied geen slagschaduw ondervonden. Na realisatie van WP Bijsterhuizen zal dit windpark – zonder het nemen van mitigerende maatregelen – bij 244 woningen enige vorm van slagschaduw veroorzaken. In totaal veroorzaakt het windpark circa 1041 uur slagschaduw bij woningen. Bij 79% van de woningen waar slagschaduw optreedt (193) is dit minder dan 2 uur per jaar (zonder mitigatie). Bij 22 woningen treedt jaarlijks meer dan 6 uur slagschaduw op (zonder maatregelen). In de nieuwe situatie is bij 28 woningen sprake van een mogelijke slagschaduwbelasting

van maximaal meer dan 30 minuten per dag (worst case). Voor de overige woningen is dit 30 minuten per dag of minder.

In Tabel 4.7 is inzichtelijk gemaakt welke gevolgen het beperken van de maximale blootstellingsduur heeft voor het windpark en de woningen in verschillende stappen (16 uur, 6 uur en 0* uur per jaar). Hierbij is telkens een maximale blootstellingsduur per woning als uitgangspunt gehanteerd.

Uit deze tabel kan worden afgeleid dat het maximaal reduceren van de optredende slagschaduwduur per jaar tot een relatief beperkt verschil in productieverlies leidt voor het windpark. Het ligt daarmee vanuit het waarborgen van een goed woon- en leefklimaat voor de hand om de norm zodanig te stellen dat voor de 47 woningen waar een slagschaduwduur van > 20 minuten per dag optreedt de optredende hoeveelheid slagschaduw wordt beperkt. Voor de overige woningen is de slagschaduwbelasting per dag minder dan 20 minuten en is ook de totale jaarlijkse slagschaduwbelasting gering (tussen de 2 minuten en circa 2,3 uur per jaar).

Tabel 4.7 Toename in jaargemiddelde slagschaduwduur ter plaatse van woningen en energieopbrengstverliezen

Situatie (grens aantal uren per woning per jaar)	Toename totale jaargemiddelde slagschaduw-duur t.o.v. referentie-situatie [u:mm]	Energie-opbrengst-verlies in uren bij volledige stilstand	Percentage verlies draaiuren in % van 1x jaar ⁵⁷ en in % t.o.v. windpark	Aantal objecten waarbij de grens wordt overschreden zonder stilstand-voorziening
+ WP Bijsterhuizen zonder mitigatie	1041:11	0 u	0%	0
+ WP Bijsterhuizen – 16 uur/jaar	628:03	415 u	1,58%	15
+ WP Bijsterhuizen – 6 uur/jaar	439:01	490 u	1,87%	28
+ WP Bijsterhuizen – ~0* uur/jaar	~0:00*	535 u	2,03%	244

* In de praktijk is terug regeling naar 0 uur per jaar niet mogelijk. Tijdens afwisselende zonnige momenten kan er gedurende kortstondige duur slagschaduw aanwezig zijn en er is enige tijd nodig om de windturbine uit te schakelen indien slagschaduw optreedt. Deze perioden zijn nooit zodanig langdurend dat er sprake kan zijn van een significante hinderbeleving. Deze categorie dient dus gelezen te worden als 'zoveel reductie als mogelijk'.

In Tabel 4.7 zijn de gevolgen van een normstelling tussen de 16 uur en ~0 uur voor woningen weergegeven. In het Activiteitenbesluit Milieubeheer werd uitgegaan van 'gemiddeld niet meer dan 17 dagen met meer dan 20 minuten' aan slagschaduw per jaar. In de praktijk komt dit overeen met een gemiddelde slagschaduwduur per jaar van circa 14 uur tot 16 uur. In veel projecten in Nederland is er echter in het verleden een strengere en makkelijker uitlegbare maximale slagschaduwduur gehanteerd van 6 uur per jaar.

Bij uurwaarden tussen en onder de 6 tot 8 uur per jaar wordt de kans op dagen in een jaar waarop meer dan 20 minuten op een dag aan slagschaduw kan optreden reeds geminimaliseerd. Bij WP Bijsterhuizen zou een dergelijke normstelling van 6 uur per jaar leiden tot een aanvullende bescherming van 28 woningen. Van de overige 216 woningen is de afstand tot de windturbines al dusdanig groot dat deze ook zonder maatregelen al minder dan 6 uur per jaar slagschaduw ontvangen.

⁵⁷ Uitgaande dat afhankelijk van de zonneshijn stilstand van circa 25% van de brutokalender benodigd is. En dat de opbrengst evenredig is verdeeld over het beschikbare aantal uren per jaar van 8.760 uur.

Overige schaduwgevoelige objecten

In Tabel 4.8 zijn de gevolgen van een normstelling tussen de 16 uur en ~0 uur voor overige gevoelige objecten weergegeven.

Na realisatie van WP Bijsterhuizen zal dit windpark – zonder het nemen van mitigerende maatregelen – bij 66 overige slagschaduwgevoelige objecten enige vorm van slagschaduw veroorzaken. In totaal veroorzaakt het windpark circa 385 uur slagschaduw bij overige slagschaduwgevoelige objecten. Hier is bij 21% van de overig slagschaduwgevoelige objecten waar slagschaduw optreedt (14) dit minder dan 2 uur per jaar (zonder mitigatie). Bij 28 overige slagschaduwgevoelige objecten treedt jaarlijks meer dan 6 uur slagschaduw op (zonder maatregelen).

Tabel 4.8 Toename in jaargemiddelde slagschaduwduur ter plaatse van overige slagschaduwgevoelige objecten (logies) en energieopbrengstverliezen

Situatie (grens aantal uren per woning per jaar)	Toename totale jaargemiddelde slagschaduw-duur t.o.v. referentiesituatie [u:mm]	Energie-opbrengst-verlies in uren bij volledige stilstand	Percentage verlies draaiuren in % van 1x jaar ⁵⁸ en in % t.o.v. windpark	Aantal objecten waarbij de grens wordt overschreden zonder stilstand-voorziening
+ WP Bijsterhuizen zonder mitigatie	385:28	0 u	0%	0
+ WP Bijsterhuizen – 16 uur/jaar	381:52	39 u	0,15%	2
+ WP Bijsterhuizen – 6 uur/jaar	285:44	116 u	0,44%	28
+ WP Bijsterhuizen – ~0* uur/jaar	~0:00*	140 u	0,53%	66

Bij het bepalen van een eventuele normstelling voor overige gevoelige objecten kan in overweging worden genomen dat deze objecten niet dezelfde bescherming vereisen als woningen. Gezien de tijdsgebonden functie van de overige gevoelige objecten en de daaraan gerelateerde bezettingsgraad van de overige gevoelige objecten is een langere jaargemiddelde slagschaduwduur mogelijk dan bij woningen. Rekening houdend met kantoor dagen- en tijden, zou een norm van 6 uur slagschaduw per jaar kunnen worden vertaald naar een norm van $6 \cdot (7/5) \cdot (24/12)$ voor overige slagschaduwgevoelige objecten, wat overeenkomt met een norm van rond de 17 uur per jaar⁵⁹. Om deze specifieke norm vast te stellen is er een verdere analyse nodig om te bepalen wanneer de slagschaduw optreedt gedurende de dag.

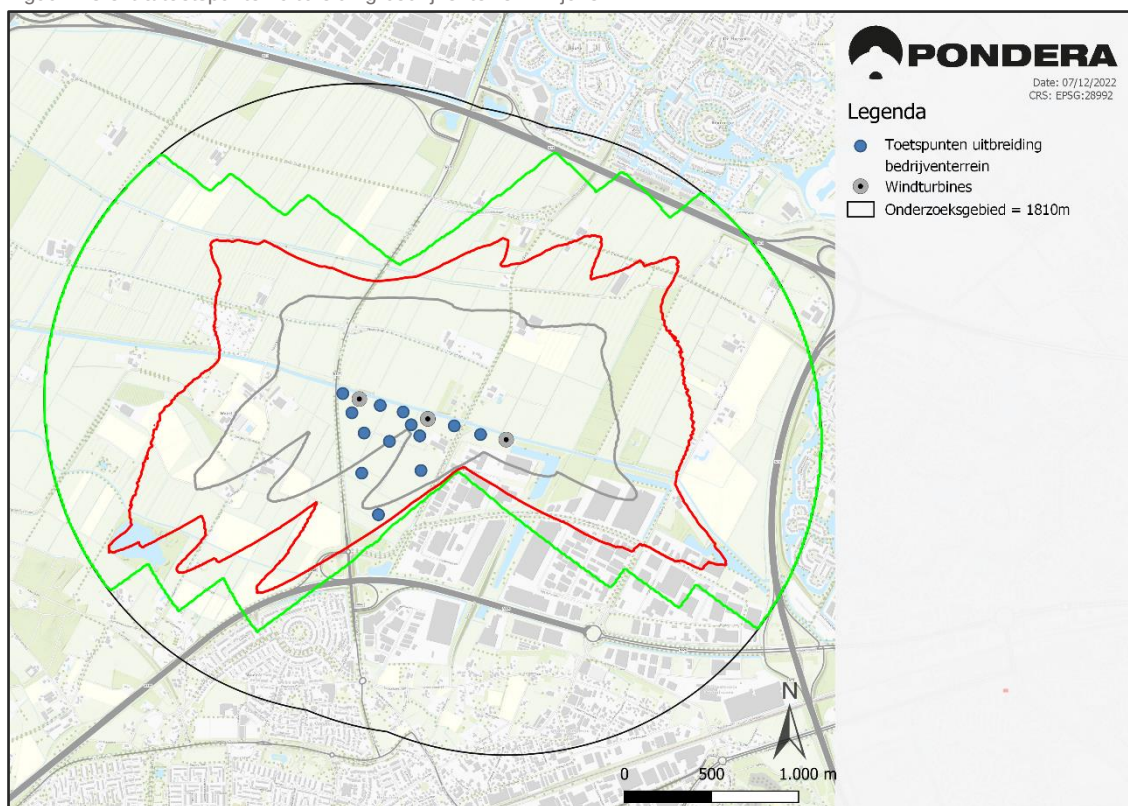
4.6 Uitbreiding bedrijventerrein

Het bedrijventerrein ten westen van het huidige gebied aan de noordkant van Wijchen wordt mogelijk uitgebreid in de toekomst. Gezien de korte afstand van dit nieuwe gebied op de windturbines van WP Bijsterhuizen zal de komst hiervan mogelijk invloed hebben op de hierboven beschreven normen. In deze paragraaf wordt kort de slagschaduwduur op toetspunten in dit gebied geanalyseerd. Om deze inzichtelijk te maken is er gekozen voor 13 toetspunten. Deze zijn weergegeven in Figuur 4.5.

⁵⁸ Uitgaande dat afhankelijk van de zonneshijl stilstand van circa 25% van de brutokalender benodigd is. En dat de opbrengst evenredig is verdeeld over het beschikbare aantal uren per jaar van 8.760 uur.

⁵⁹ De factoren tussen haakjes staan voor het aantal kantoor dagen (5) in de week en de kantoor uren (hier 12 genomen) per dag

Figuur 4.5 extra toetspunten uitbreiding bedrijventerrein Wijchen



In totaal ervaren deze 13 toetspunten gezamenlijk zonder mitigatie ongeveer 986 uur slagschaduw per jaar. 11 van de 13 toetspunten ervaren meer dan 20 uur slagschaduw per jaar, de overige 2 minder dan 13 uur per jaar. Alle toetspunten ontvangen maximaal meer dan 20 minuten slagschaduw per dag. In Tabel 4.9 zijn de gevolgen van een normstelling tussen de 16 uur en ~0 uur voor de extra toetspunten weergegeven.

Tabel 4.9 Toename in jaargemiddelde slagschaduwduur ter plaatse van extra toetspunten en energieopbrengstverliezen

Situatie (grens aantal uren per woning per jaar)	Toename totale jaargemiddelde slagschaduw-duur t.o.v. referentiesituatie [u:mm]	Energie-opbrengst-verlies in uren bij volledige stilstand	Percentage verlies draaiuren in % van 1x jaar ⁶⁰ en in % t.o.v. windpark	Aantal objecten waarbij de grens wordt overschreden zonder stilstand-voorziening
+ WP Bijsterhuizen zonder mitigatie	985:37	0 u	0%	0
+ WP Bijsterhuizen – 16 uur/jaar	198:13	707 u	2,69%	11
+ WP Bijsterhuizen – 6 uur/jaar	78:00	720 u	2,74%	13
+ WP Bijsterhuizen – ~0* uur/jaar	~0:00*	720 u	2,74%	13

⁶⁰ Uitgaande dat afhankelijk van de zonneshijl stilstand van circa 25% van de brutokalender benodigd is. En dat de opbrengst evenredig is verdeeld over het beschikbare aantal uren per jaar van 8.760 uur.

4.7 Lichtschittering

Gladde en glimmende oppervlakken (bijvoorbeeld glas, maar ook geschilderde oppervlakken) kunnen invallend zonlicht reflecteren. Wanneer dit licht bij de ontvanger aankomt kan dit een hinderlijk (verblindend) effect hebben of tot gevaarlijke situaties leiden, bijvoorbeeld voor wegverkeer. Dit effect kan echter eenvoudig worden voorkomen door de betreffende objecten en oppervlakken te voorzien van een anti-reflecterende coating of gebruik te maken van niet reflecterende materialen. Voor windturbines is dit standaardpraktijk en wordt dit geborgd door reflectiewaarden te controleren via de certificering en de NEN-ISO 2813 of een daaraan ten minste gelijkwaardige meetmethode.

Er is daarmee geen noodzaak tot het opnemen van nadere voorschriften of normen, anders dan hierboven beschreven om gevolgen van lichtschittering te beperken.

5 Externe veiligheid

5.1 Inleiding: plaatsgebonden risico als beoordelingsmaat

Hoewel het risico zeer klein is, kunnen windturbines omvallen of kunnen er onderdelen afbreken. Het risico van de windturbines op de omgeving wordt beoordeeld aan de hand van een aantal criteria, die zijn afgeleid uit wet- en regelgeving en adviezen voor toetsing van beheerders van infrastructurele werken⁶¹.

Een risicocontour (ofwel plaatsgebonden risico) geeft aan hoe groot de overlijdenskans is in de omgeving door een ongeval met een risicobron: binnen de contour is het risico groter, buiten de contour is het risico kleiner. Voor windturbines is buiten de identificatieafstand (werpafstand bij overtoeren) risico in het geheel uit te sluiten.

Het plaatsgebonden risico is de berekende kans per jaar dat een persoon overlijdt als rechte reeks gevolg van een ongeval bij een risicobron, aangenomen dat hij op die locatie permanent en onbeschermd verblijft (24 uur voor 365 dagen). Het plaatsgebonden risico rekent daarmee de maximale trefkans uit voor een individueel persoon die permanent aanwezig is en is daarmee niet geschikt voor beoordeling van voorbijgangers / passanten. Het risico wordt uitgedrukt in een kans op overlijden waarbij de conservatieve aanname wordt gedaan dat treffen door een windturbineonderdeel gelijk staat aan 100% kans op overlijden. De kans wordt tevens conservatief berekend zonder rekening te houden met vluchtgedrag of actieve actie van de te raken persoon om risico's te vermijden of uit de weg te gaan. Het plaatsgebonden risico is daarmee een conservatieve maat voor het maximale risico wat in de omgeving kan worden ervaren op een bepaalde locatie.

5.2 Achtergrond: veiligheid en kansen

Omgaan met risico's in een drukbevolkt land

De doelstelling van het externe veiligheidsbeleid op rijksniveau luidt: "Het uitvoeren van een veiligheids- en risicobeleid om mens en milieu te beschermen tegen maatschappelijk onaanvaardbaar geachte gezondheids- en milieurisico's"⁶². Het beleid is erop gericht een zogenaamd basisbeschermingsniveau voor externe veiligheid te bieden aan personen die wonen, werken of recreëren in de omgeving van risicovolle activiteiten.

Uitgangspunt van het landelijke risicobeleid in zijn algemeenheid is dat het gevaar van een activiteit acceptabel is wanneer op een bepaalde plaats een daar aanwezig individu geen hogere kans op overlijden heeft dan maatschappelijk is geaccepteerd. Deze basisbescherming, die veelal een limiet kent van 10^{-6} tot 10^{-4} per jaar⁶³, wordt uitgedrukt in het plaatsgebonden risico^{64,65}. Dit geldt voor onder andere industrie, transport en opslag van gevaarlijke stoffen zoals toxische of brandbare stoffen maar is ook toepasbaar voor windturbines.

Het externe veiligheidsbeleid van alle risicobronnen is met introductie van het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) in 2004 gelijkgetrokken. Het hanteren van 10^{-5} en 10^{-6} voor een aanvaardbaar risico

⁶¹ Handreiking Risicozonering Windturbines (HRW2020)

⁶² Beleid externe veiligheid: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/ruimte/omgevingsthema/externe-veiligheid/beleid/>

⁶³ Deze risico's komen overeen met een kans op overlijden van 1 op 1.000.000 en 1 op 10.000 per jaar.

⁶⁴ Nota Modernisering omgevingsveiligheid (Tweede Kamer, vergaderjaar 2013-2014, 29517, nr. 92)

⁶⁵ Roels, J.M., et al, 2018; Bewust Omgaan met Veiligheid: doelen en effectmaten in het risico- en veiligheidsbeleid, RIVM Rapport 2018-0029

dateert al van eerder, zo wordt het onder andere genoemd in het Nationaal milieubeleidsplan 4 (juni 2001) maar ook daarvoor werd deze norm als aanvaardbaar gehanteerd. In het kader van de vuurwerkcramp in Enschede (2000) en het daaropvolgende rapport van de commissie Oosting heeft er toe geleid dat het gehele externe veiligheidsbeleid in Nederland tegen het licht is gehouden en er uiteindelijk maatschappelijk aanvaardbare normen in het Bevi zijn vastgelegd.

Er is geen aanleiding om te twifelen aan de ruimtelijke aanvaardbaarheid op basis van het hanteren van het plaatsgevonden risico's niveau van respectievelijke 10^{-5} en 10^{-6} die optreden voor andere risicobronnen. Ook zijn de gevolgen voor het milieu hiermee beperkt. Weliswaar is er een kans op een effect, maar het hanteren van een andere kans als beoordelingsniveau leidt niet tot een afname van het gevolg maar alleen van de kans dat dit effect kan optreden. Het feit dat een zekere mate van risico, alhoewel zeer beperkt, wordt geaccepteerd is inherent aan het feit dat Nederland een drukbevolkt land is en multifunctioneel ruimtegebruik toegepast wordt.

Aanvaardbaar beschermingsniveau

In 2014 heeft het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties een rapport laten opstellen over het in perspectief zetten van risico's⁶⁶. Uit dit rapport kunnen geen cijfermatige conclusies worden getrokken maar het geeft wel aan waarom een mate van bescherming voor windturbines leidt tot maatschappelijk aanvaardbare risico's in vergelijking met risico's bij andere activiteiten. Op stadsniveau (generieke stad van 50.000 personen) is de kans op een vergelijkbaar aantal verloren levensjaren voor reizen met het vliegtuig vergeleken met een windturbineongeluk circa 1.000x hoger, het wonen in laaggelegen gebieden (overstromingsrisico) geeft circa een 10x hogere kans en voor autorijden ligt de kans op een vergelijkbaar aantal verloren levensjaren bijna 10.000x hoger dan bij een windturbineongeluk.

Hieruit kan worden geconstateerd dat het toepassen van risicocriteria in de orde van grote van $PR10^{-05}$ en $PR10^{-06}$ bij windturbines een maatschappelijk geaccepteerd risico kan opleveren. Overigens blijkt uit literatuur en ook navraag bij een externe veiligheidsdeskundige dat wereldwijd het geaccepteerde plaatsgebonden risico over het algemeen ligt op een niveau tussen 10^{-4} en 10^{-6} . Zo geeft in het Verenigd Koninkrijk de Health and Safety Executive (HSE)⁶⁷ aan dat de jaarlijkse acceptabele letaliteitskans voor een lid van de maatschappij circa 1 : 100.000 ($= 10^{-5}$) is als gevolg van een nucleaire installatie en bij een niveau van 1 : 1.000.000 ($= 10^{-6}$) is er ook geen verdere verbetering van de situatie meer benodigd.

Bescherming van objecten

In het Besluit externe veiligheid Inrichtingen (Bevi) worden mogelijk te beschermen objecten onderverdeeld in beperkt kwetsbare objecten en kwetsbare objecten, waarbij bij de indeling rekening is gehouden met de mogelijke verblijfsduur van personen, de hoeveelheid aanwezige personen en de zelfredzaamheid van personen die normaliter in het type vermelde objecten kunnen voorkomen. Er is geen aanleiding van deze indeling af te wijken bij de beoordeling van risico's door windturbines, omdat de aanwezigheid en zelfredzaamheid relevant is voor ieder optredend risico, ongeacht de risicobron.

Groepsrisico en maatschappelijk risico

De bescherming van personen is naast het hanteren van een maximale eis per persoon ook afhankelijk van de hoeveelheid personen die een bepaald risico ondervinden. Hoe meer personen een risico kunnen ondervinden hoe minder geaccepteerd het risico wordt. Dit komt tot uiting in beoordeling van normen die

⁶⁶ Risico's in perspectief – Risicovergelijking, HaskoningDHV Nederland B.V, november 2014 i.o.v. Ministerie BZK

⁶⁷ Reducing risks, HSE's decision-making process, Health and Safety Executive, 2001.

worden omschreven voor het groepsrisico (GR) alsook het totale maatschappelijk risico (MR) dat kan optreden. Voor andere risicovolle inrichtingen en risicovolle transporten geldt voor het groepsrisico geen harde normstelling maar wordt wel een oriëntatiewaarde gebruikt om de totale effecten te kunnen beoordelen⁶⁸. Het maatschappelijk risico is een maat die aangeeft wat het 'totale cumulatieve risico voor de maatschappij' bedraagt. Dit is de optelsom van de plaatsgebonden risico's voor alle potentiële personen in het gebied.

5.3 Rekenmethodiek

5.3.1 Rekenmodellen en uitgangspunten

De risico's van de windturbines op de omgeving worden berekend met behulp van het Rekenvoorschrift omgevingsveiligheid module IV – De Handleiding risicoboordeling windturbines (versie oktober 2020). Deze handreiking en handleiding hebben in 2020 een uitgebreide actualisatie ondergaan en voldoen aan de actuele stand van de wetenschappelijke kennis op dit punt. Ze zijn daarmee goed bruikbaar voor het berekenen en bepalen van risico's van moderne grote windturbines. Voor het leesgemak wordt naar beide rapportages verwezen als "HRW".

Voor de beoordeling worden alle objecten waar mensen zich in kunnen bevinden binnen de maximale effectzone in kaart gebracht. Buiten de maximale effectzone (bladworp bij overtoeren) kunnen geen onderdelen van de windturbine meer terechtkomen, waardoor hier ook geen effecten meer kunnen optreden. Daarnaast wordt het maximale plaatsgebonden risico (PR) dat binnen een object kan optreden per windturbine berekend. De maximale PR-waarden binnen het object wordt bepaald om het maximale optredende PR in een object te berekenen. Eén adreslocatie kan uit meerdere gebouwen (objecten) bestaan. Om het aantal aanwezige personen in te schatten wordt gerekend met een aanwezigheidsfactor of relatieve verblijfstijden. De gebruikte aanwezigheidsfactoren zijn weergegeven in Tabel 5.1. Het aantal personen dient om een inschatting te maken van de groepsrisico's en het maatschappelijk risico.

Tabel 5.1 Aanwezigheidsfactor per gebruiksdoel van gebouw.

Gebruiksdoel	Personen	Uren per week	Aanwezigheidsfactor
Woonfunctie	2	168	1
Kantoorfunctie	1 per 30m ²	40	40 /168
Industriefunctie	1 per 100m ²	60	60 /168
Agrarische functie	1 per 100m ²	40	40 /168
Kantoor ter Beke	Maatwerk op basis van "Kwetsbaarheidsanalyse Bijsterhuizen" van 1 december 2022"		

Passanten op infrastructurele transportroutes (wegen, waterwegen en spoorwegen) kunnen ook risico's ondervinden door de aanwezigheid van windturbines. De verblijfstijden van passerende personen binnen de risicozones van de windturbines zijn echter zodanig klein dat dit geen significante risico's oplevert in vergelijking met permanent aanwezige personen. Voor wegen met significante hoeveelheden personenverkeer (bijv. snelwegen of provinciale hoofdwegen) kunnen de cumulatieve risico's significant worden. De risico's voor passanten kunnen worden uitgerekend in een Individueel Passanten Risico (IPR) en een Maatschappelijk Risico (MR). Naast een direct risico op personen in de omgeving kunnen windturbineonderdelen bij een calamiteit terechtkomen op risicovolle buisleidingen en risicovolle

⁶⁸ Zie Besluit externe veiligheid Transporten, artikel 1 lid 1 en Besluit externe veiligheid Inrichtingen artikel 12 lid 1 b

inrichtingen in de omgeving. Door dit treffen kan er schade ontstaan en kunnen er gevaarlijke stoffen vrijkomen of kunnen er risico's optreden die op zichzelf weer een gevaar vormen voor de omgeving. Dit wordt een indirect risico of domino-effect genoemd. Daarbij is altijd de toevoeging van het risico door de windturbine(s) van belang bij de beoordeling. De beoordeling van risico's voor infrastructuur en overige installaties zijn vastgelegd in beleidsregels van betrokken instanties zoals Rijkswaterstaat, Gasunie en TenneT en/of regels geldend in het Besluit externe veiligheid Inrichtingen of het Besluit externe veiligheid Buisleidingen. Deze regels en toetsmaten blijven gelden en zijn reeds beschouwd in de externe veiligheidsanalyses voor WP Bijsterhuizen⁶⁹. Dit rapport onderzoekt enkel de normstellingen bedoeld voor beperkt kwetsbare of kwetsbare objecten als gevolg van windturbinerisico's en geeft geen analyse van de situatie rondom de externe veiligheid van waterkeringen, infrastructuur of risicovolle installaties van derden, omdat de normen uit het Activiteitenbesluit daar niet op toezien.

Er treden in de beoordelingen van deze infrastructuur en installaties daarnaast geen wijzigingen op als gevolg van de uitspraak over de windturbinebepalingen in het Activiteitenbesluit.

5.3.2 Faalscenario's

Conform het HRW zijn er drie mogelijke faalscenario's van windturbines: gondelfalen, mastfalen en bladworp. De faalscenario's zijn weergegeven in Figuur 5.1. In geval van gondelfalen breekt de gondel los van de mast en valt langs de mast naar beneden, vervolgens breekt ook een blad los. Bij mastfalen breekt de mast onderaan af en valt de gehele windturbine naar beneden. Bij bladworp breekt een blad los en wordt geworpen als gevolg van de rotatie van de rotor. Bij bladworp wordt vervolgens nog onderscheid gemaakt tussen bladworp bij nominaal toerental en bladworp bij overtoeren. Bij bladworp bij overtoeren wordt er gerekend met een toerental gelijk aan twee keer het nominale toerental. De faalfrequenties van de verschillende faalscenario's conform het HRW zijn in Tabel 5.2 weergegeven.

Tabel 5.2 Faalfrequenties van de verschillende faalscenario's, conform het HRW.

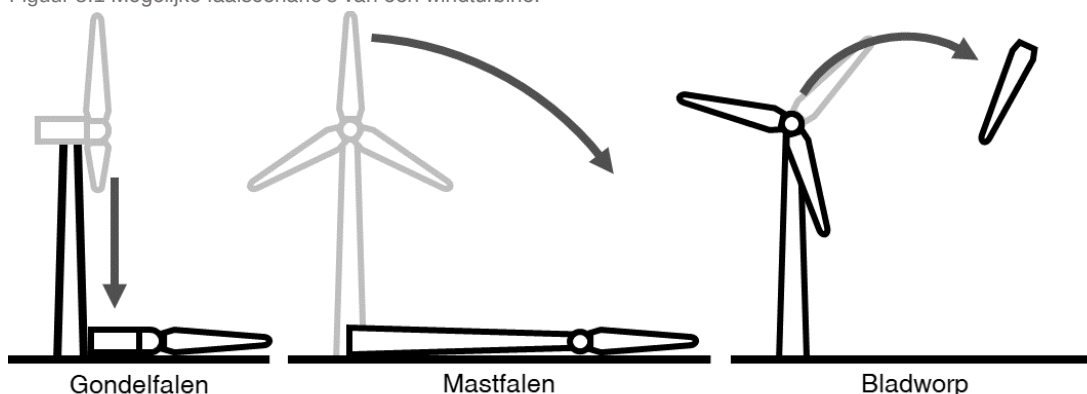
Faalscenario	Faalfrequentie per jaar
Gondelfalen	4,0E-05
Mastfalen	1,3E-04
Bladworp bij nominale toeren	8,4E-04
Bladworp bij overtoeren	5,0E-06

Kader 5.1

In mei 2022 heeft het RIVM een actualisatie uitgevoerd van de faalfrequenties van windturbines. Hieruit blijkt bij toepassing van moderne windturbines een verlaging van de faalfrequenties op te treden. In deze analyse is nog gebruik gemaakt van de oudere faalfrequenties van voor mei 2022.

⁶⁹ Analyse Externe Veiligheid – Windpark Bijsterhuizen van 1 december 2022.

Figuur 5.1 Mogelijke faalscenario's van een windturbine.



5.3.3 Bepaling van het plaatsgebonden risico

Het PR wordt per faalscenario berekend. Dit levert een PR als functie van afstand tot de windturbine op. Het PR dat een object ondervindt is de maximale waarde die kan optreden per object.

5.3.4 Effectbeoordeling via F/N Curve benadering

Naast de bescherming van het maximaal optredende risico per object kan de situatie rondom de externe veiligheid van een windpark ook beoordeeld worden aan de verhouding van de hoeveelheid personen die een bepaald risico kunnen ondervinden. Een dergelijke beoordeling kan plaatsvinden door te kijken naar de berekenmethode die leidt tot een F/N Curve. Een dergelijke curve is een weergave van het optredende groepsrisico (GR). Een F/N Curve berekening is opgesteld door de te verwachte persoonsbezetting per pand random te verdelen over de oppervlakte van het pand en het maximaal optredende plaatsgebonden risico per persoon in kaart te brengen. Voor de bepaling van de persoonsbezetting van de verschillende gebruiksfuncties wordt hierbij wederom aangesloten bij de kengetallen zoals genoemd aan het begin van dit hoofdstuk. Voor objecten met een gedeelde functie met een duidelijke kantoorruimte en industrieruimte is een splitsing in het oppervlakte aangegeven om zodoende rekening te houden met een hogere concentratie personen in een bepaald deel van het gebouw. Een dergelijke beoordeling kijkt dus niet naar de bescherming van gehele objecten maar juist naar het aantal personen binnen de objecten.

5.4 Resultaten

Om inzicht te geven in de mogelijkheden en risico's wordt gebruik gemaakt van een bandbreedte voor de toe te passen afmetingen van de windturbines. De toegepaste bandbreedte staan vermeld in Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Toepassing onderzochte maximale bandbreedte windturbines

Eigenschap	Bandbreedte
Tiphoogte	Maximaal 185 m
Rotordiameter	115 - 139 m
Ashoogte	110 - 122 m

Op basis van bovenstaande dimensies is een niet limitatieve lijst met windturbines opgesteld die mogelijk gerealiseerd zouden kunnen worden binnen de aangegeven bandbreedtes, om daarmee de maximale effecten op het gebied van externe veiligheid te kunnen bepalen. Uitgangspunt hierbij is dat de analyse

wordt uitgevoerd aan de hand van de combinatie van potentieel meest nadelige eigenschappen zodat elke uiteindelijk te plaatsen windturbine veiliger is dan (of gelijk aan) de onderzochte worst-case situatie.

5.4.1 PR contouren

De PR-contouren zijn berekend met behulp van de formules 2.18 tot en met 2.25b en 3.1 tot en met 3.3 uit de Handleiding risicobeoordeling windturbines (versie oktober 2020). Op basis van vuistregels liggen de PR 10^{-5} en 10^{-6} contouren op maximaal op een halve rotordiameter afstand en tiphoogte afstand. De specifieke PR 10^{-5} en 10^{-6} contouren zijn bepaald aan de hand van alle afmetingen van de turbine. Resultaten van deze contouren zijn weergegeven in Tabel 5.4. De gebruikte uitgangspunten voor de fictieve worst-case turbine zijn te vinden in de tabellen in Bijlage 1.

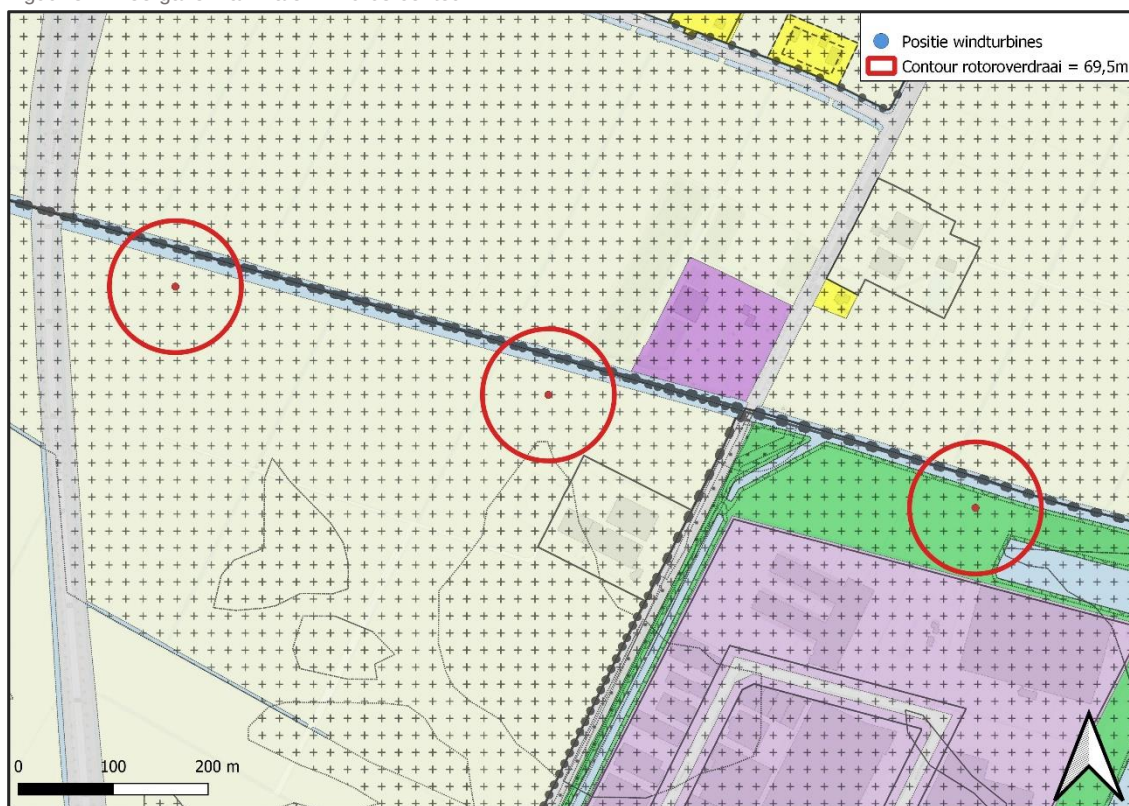
Tabel 5.4 PR contouren per turbine type en maximale effectafstand.

Turbine type	Contouren op basis van vuistregels		Specifieke contouren		Maximale effectafstand
	PR 10^{-5}	PR 10^{-6}	PR 10^{-5}	PR 10^{-6}	
Nordex N131/3.9	65,5 m	185 m	65 m	167 m	442 m
Nordex N131/3.9 met mitigatie	65,5 m	185 m	65 m	160 m	415 m
Enercon E-138	67,5 m	185 m	61 m	151 m	391 m
Worst-case turbine	69,5 m	185 m	69,5 m	167 m	442 m
Extra mitigatie initiatiefnemer*	69,5 m	185 m	61 m	128 m	295 m

* De initiatiefnemer van Windpark Bijsterhuizen heeft aangegeven een vergunningaanvraag in te dienen met een maximale ligging van de PR10-06-contour op 128 meter. Op enkele onderdelen wordt het effect hiervan inzichtelijk gemaakt. Voor de bepaling van de normstelling wordt gekeken naar de situatie zonder deze extra mitigatie van de initiatiefnemer.

Het onderzoeksgebied voor externe veiligheid is vastgesteld op een zone rondom de windturbines met een maximale afstand van 442 meter voor de fictieve worst-case windturbine. Dit is gebaseerd op de maximale effectafstand van het faalscenario bladworp bij overtoeren. Binnen deze afstand zijn enkele agrarische bouwwerken met woningen en een bedrijventerrein aanwezig. Deze objecten en terreinen liggen niet binnen de PR 10^{-5} contouren van de fictieve worst-case windturbines. In onderstaande figuur 5.2 is dit op kaart weergegeven.

Figuur 5.2 Weergave maximale PR10-05 contour



Vervolgens kan gekeken worden hoeveel objecten zich bevinden binnen bepaalde risicocontouren en daarmee als object een bepaald maximaal risico kunnen ondervinden.

Tabel 5.5 Aantal objecten binnen PR-contouren van windpark DZU bij toepassing Nordex N133 windturbine

Risico maat	Aantal panden / beperkt kwetsbare objecten	Aantal kwetsbare objecten*
PR10-04	0	0
PR10-05	0	0
PR10-06	6	*2*
PR10-07	0	0
PR10-08	0	0
PR10-09	21	5+*1*
PR10-10	-	0

* Enkele bedrijven op het bedrijventerrein Bijsterhuizen hebben zowel een kantoorfunctie als een industrie functie. Afhankelijk van het gebruik kunnen deze gezien worden als beperkt kwetsbare of kwetsbare objecten. Zie ook paragraaf 5.4.2.

5.4.2 Kwetsbaarheid objecten

In het Besluit externe veiligheid Inrichtingen is aangegeven dat “gebouwen waarin doorgaans grote aantallen personen gedurende een groot gedeelte van de dag aanwezig zijn, waartoe in ieder geval behoren:

1°.kantoorgebouwen en hotels met een bruto vloeroppervlak van meer dan 1500 m² per object “
gedefinieerd worden als kwetsbare objecten.

Bij het bepalen van de kwetsbaarheid van een gebouw of locatie wordt gekeken naar het volgende:

- het aantal personen dat gelijktijdig aanwezig is;
- de aanwezigheidsduur van personen;
- in hoeverre personen zichzelf in veiligheid kunnen brengen bij een incident.

Voor sommige bedrijfspanden is het onduidelijk of deze objecten als ‘een gebouw waarin doorgaans grote aantallen personen gedurende een groot gedeelte van de dag aanwezig zijn’ omschreven kunnen worden. De onduidelijkheid ontstaat bij bedrijfspanden die enerzijds een groot oppervlakte hebben waardoor er in totaal veel personen aanwezig kunnen zijn maar welke verspreid zijn over een groot oppervlakte en over gebouwen waarvan een deel van het gebouw wel gebruikt wordt voor een hogere concentratie personen.

Omdat er voor gewone industriegebouwen met een veel lagere persoonsconcentratie dan kantoorfuncties er geen limiet of grens is gesteld aan het oppervlakte in de omschrijvingen van de beperkt kwetsbare objecten wordt ervan uitgegaan dat objecten met een significant lage concentratie personen in een groot gebouw als beperkt kwetsbare objecten kunnen worden gezien.

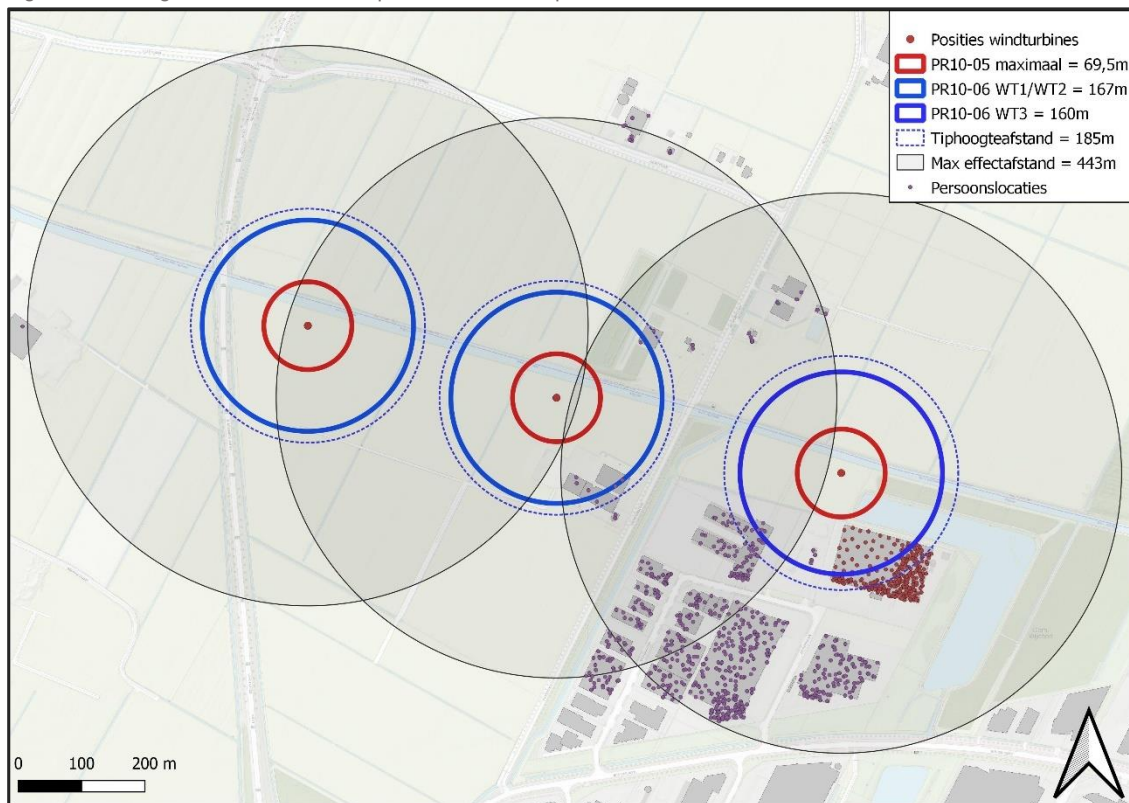
Voor objecten met een grote kantoorfunctie kan gesteld worden dat in ieder geval dit deel van het gebouw als een kwetsbaar object kan worden gezien. Onder het Besluit externe veiligheid Inrichtingen wordt dan het hele gebouw inclusief de ruimten met minder hoge persoonsconcentratie (de hallen) als kwetsbaar object beschouwd. Dit kan worden verklaard omdat veel van de risico's die vallen onder het Besluit externe veiligheid inrichtingen zich ook door de gehele hal en het gebouw kunnen verspreiden zoals een giftige gaswolk, brandbare gassen of een uitslaande brand. Het risico afkomstig van windturbines ontstaat echter vanuit directe impact met schade en instorting van het getroffen deel van een gebouw. Hierdoor ervaren personen op ruimere afstand buiten de directe impactzone geen risico op overlijden. Windturbines vallen niet onder het Besluit externe veiligheid Inrichtingen (Bevi) maar voor de definitiebepaling van beperkt kwetsbare en kwetsbare objecten wordt wel aangesloten bij de definities uit het Bevi.

Na de invoering van de Omgevingswet worden gebouwen alleen beschermd voor de gebruiksfunctie van dat gebouw. Dit is dus anders dan in de huidige regelgeving bij risicovolle inrichtingen onder het Besluit externe veiligheid inrichtingen. Bij een grootschalige opslagplaats voor goederen met een kantoorfunctie is alleen de kantoorfunctie 'beperkt kwetsbaar' of 'kwetsbaar' (afhankelijk van de bruto vloeroppervlakte). Het is dan wel van belang dat die functie blijkt uit het omgevingsplan of uit de omgevingsvergunning waarbij die functie mogelijk wordt gemaakt.

Binnen de huidige PR10⁻⁰⁶ contour bevinden zich twee gebouwen waar de kwetsbaarheid van dient te worden gedefinieerd. Het pand van postbedrijf GLS aan de Bijsterhuizen 2408 bestaat uit een logistieke ruimte van 6.000 m² en een kantoorfunctie van circa 2 x 265 m² = 530 m². Het pand is in 2020 vergroot. Het is hierdoor een groot pand waar veel mensen aanwezig zijn die echter wel verspreid zijn over een groot oppervlakte. De kantoorfunctie zelf is kleiner dan 1.500 m² en zou als losstaand gebouw daardoor niet als kwetsbaar object worden gezien. De kantoorfunctie bevindt zich buiten de PR10⁻⁰⁶ contour. De betrokken personen behoren bij de beroepsbevolking. Voor meer informatie is het pand van GLS ook besproken in de “Kwetsbaarheid analyse Bijsterhuizen” van 1 december 2022.

Het andere pand is van Ter Beke wordt omschreven in de volgende paragraaf.

Figuur 5.3 Weergave PR contouren en persoonslocaties / panden



5.4.3 Effecten pand Ter Beke en maatregelen

Voor het pand van Ter Beke aan de Bijsterhuizen 24/04 is een uitgebreide analyse uitgevoerd naar de functieuitvoering en het gebruik van het gebouw. Dit om inzicht te verkrijgen in de hoeveelheid personen, de concentratie personen en de te verwachten locatie van de aanwezige personen. In het rapport “Kwetsbaarheidsanalyse Bijsterhuizen ” van 1 december 2022 is onderzocht wat de bezetting van het pand is. De gegevens in die rapportage zijn overgenomen in de berekeningen die uitgevoerd zijn voor dit rapport.

Vanuit de kwetsbaarheidsanalyse is geadviseerd om de risico's die kunnen optreden op de functies met een hogere concentratie personen te verkleinen. Hiermee neemt het aantal personen wat een risico van meer dan 1×10^{-6} ervaart af van 62 personen naar 41 personen. Door de maximale bladworpafstand te beperken tot 160 meter worden de risico's op de ruimten met een hogere concentratie personen zoals de kantoorfuncties en de snijafdeling verlaagd. Voor de hiervoor liggende analyse wordt ervan uitgegaan dat bij de realisatie van windturbine 03 de gewenste mitigerende maatregel uit de kwetsbaarheidsanalyse wordt uitgevoerd. De initiatiefnemer van Windpark Bijsterhuizen heeft aangegeven aanvullend hierop een vergunningaanvraag te doen voor een windturbine met een maximale PR10-06 contour van 128 meter.

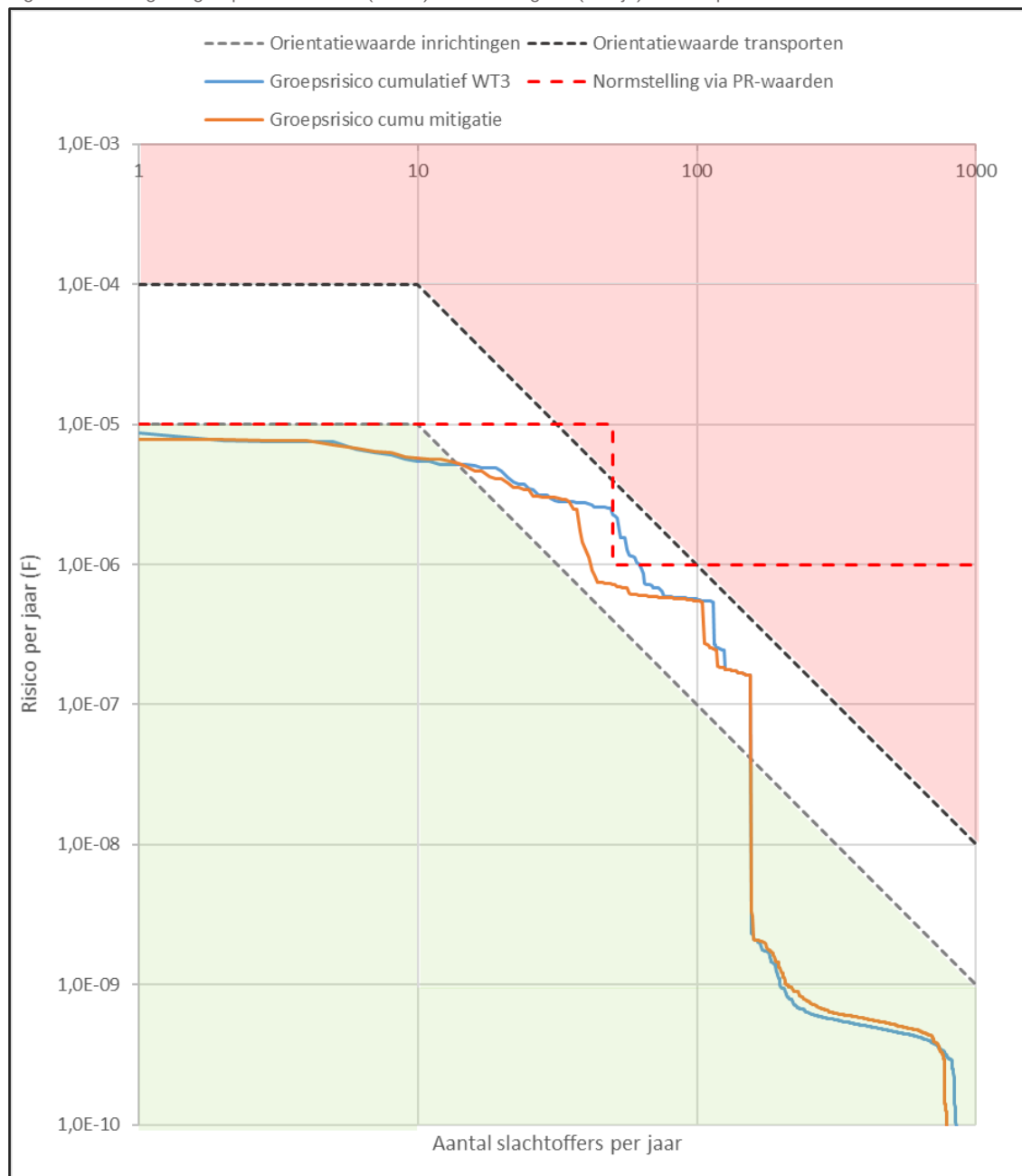
In het figuur op de volgende pagina is het resultaat te zien van het verlagen van het risico rondom windturbine 03 tot een bladworpafstand van 160 meter.

5.4.4 Uitleg F/N Curve Groepsrisico

Een F/N Curve omschrijft op de verticale as de hoogte van het risico wat een individu ervaart en op de horizontale as het aantal mensen dat een bepaald minimaal risico ervaart. Voor de totstandkoming van deze grafiek zijn de verblijfstijden verwerkt in het optreden risico (F). Anders dan bij risicovolle installaties of inrichtingen gaat het niet om de maximale weergave van het ergst optredende incident maar zijn alle incidenten meegenomen in één weergave. Er is bij een incident dus niet daadwerkelijk een kans dat 854 personen geraakt worden bij één incident.

Voor de beoordeling van dergelijke grafieken wordt er bij gevaarlijke transporten en gevaarlijke inrichtingen een oriëntatiewaarde gebruikt. Wordt de oriëntatiewaarde overschreden dan dient een belangenafweging plaats te vinden of het risico acceptabel wordt bevonden en/of dienen maatregelen te worden genomen om het risico te verminderen. In onderstaande grafiek is de zone waarbij zowel de oriëntatiewaarde voor transport en inrichtingen wordt overschreden rood gemaakt. De zone waarbij de oriëntatiewaarde voor inrichtingen wordt overschreden is wit gemaakt en de zone waarbij beide oriëntatiewaarde niet worden overschreden is groen gemaakt. Daarnaast is ook nog een rode stippel lijn aangegeven wat aansluit bij een beoordeling onder het Activiteitenbesluit waarbij voor beperkt kwetsbare objecten een grens van $PR10^{-05}$ geldt en voor kwetsbare objecten een grens van $PR10^{-06}$ geldt. Deze grens geldt eigenlijk voor objecten en niet voor het aantal personen maar ter informatie is de overgang van de grens in deze grafiek getrokken bij een totaal aantal van 50 personen.

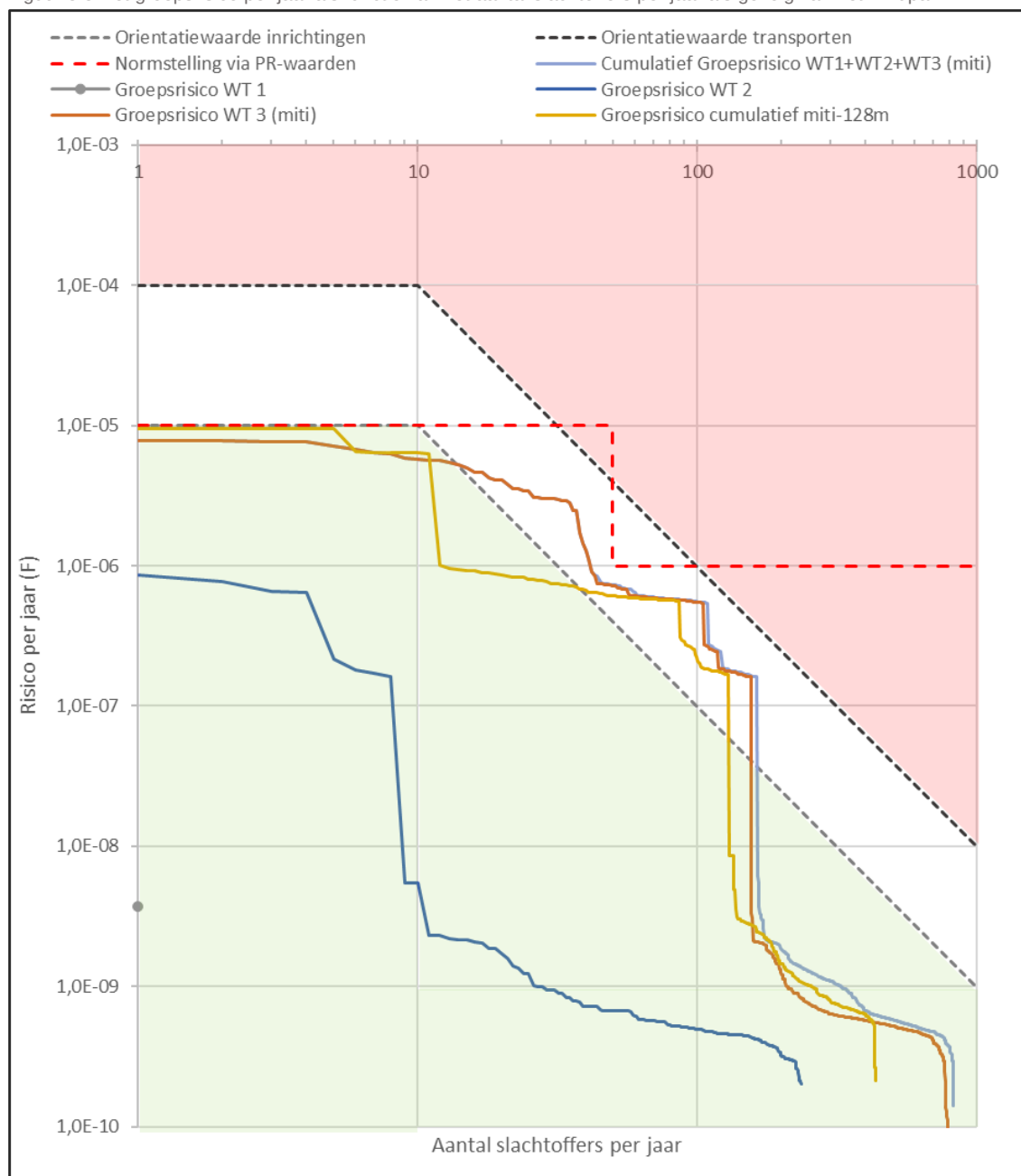
Figuur 5.4 Weergave groepsrisico zonder (blauw) en met mitigatie (oranje) bladworpafstand tot 160m



5.4.5 Effectbeoordeling via F/N curve benadering (groepsrisico)

Naast de bescherming van het maximaal optredende risico per object kan de situatie rondom de externe veiligheid van een windpark ook beoordeeld worden aan de verhouding van de hoeveelheid personen die een bepaald risico kunnen ondervinden. Een dergelijke beoordeling kan plaatsvinden door te kijken naar de berekenmethodiek van het optredende groepsrisico (GR). Een groepsrisicoberekening is opgesteld door de te verwachte persoonsbezetting per pand en het maximaal optredende plaatsgebonden risico in kaart te brengen. Voor de bepaling van de persoonsbezetting van de verschillende gebruiksfuncties wordt hierbij aangesloten bij de kengetallen zoals genoemd in Tabel 5.1.

Figuur 5.5 Het groepsrisico per jaar als functie van het aantal slachtoffers per jaar als gevolg van het windpark.



In bovenstaande grafiek is het optredende groepsrisico als gevolg van de drie individuele windturbines en een cumulatieve waarde afgezet tegen de oriëntatiewaardes zoals die voor groepsrisico van andere activiteiten (risicovolle inrichtingen en gevaarlijke transporten) worden gehanteerd. Het groene gebied geeft het gebied aan waarbij het optredende groepsrisico beneden de oriëntatiewaardes blijft. Door de aanwezigheid van bedrijven nabij windturbine 03 wordt er een risico veroorzaakt voor een grotere groep personen. Er dient daarmee een belangenafweging plaats te vinden of dit risico acceptabel kan worden gevonden gezien het belang van de ontwikkeling van het windpark op deze locatie. Om de risico's te verkleinen kunnen een aantal maatregelen worden voorgesteld die de kans op daadwerkelijk incidenten en overlijden kan verkleinen. In de grafiek is tevens de cumulatieve contour (WT 1 + WT 2 + WT 3) bij de

situatie weergegeven die de initiatiefnemer heeft aangegeven in zijn vergunningaanvraag met een maximale PR10⁻⁰⁶ contour van 128 meter. In deze situatie zijn er slechts een beperkt aantal personen (11) met een risico van meer dan PR10⁻⁰⁶.

Geadviseerd wordt om een veiligheid protocol op te stellen waarbij rekening gehouden wordt met de mogelijke gevaren bij een incident van de windturbine. Hierin kunnen maatregelen worden opgenomen die de veiligheid van de omgeving verhogen. Zo kunnen er bedrijfsafspraken worden gemaakt om de incidentele aanwezigheid van grotere groepen te voorkomen, kunnen er waarschuwingssystemen worden geïnstalleerd die activeren bij detectie van een onbalans in de windturbine besturing en kunnen er veiligheidsplannen worden opgesteld om de zelfredzaamheid te verhogen.

5.4.6 Maatschappelijk risico

Per object kan het optredende plaatsgebonden risico in een gebouw vermenigvuldigd worden met het aantal verwachte personen in dat gebouw om tot het totale maatschappelijk risico van het windpark te komen. Dit betreft maximaal $2,3 \times 10^{-4}$ per jaar voor het gehele windpark, rekening houdend met de mitigatie toepassing bij WT3 met een werpafstand tot maximaal 160 meter. Ter referentie: Rijkswaterstaat en ProRail hanteren als beheerders van infrastructurele werken een toetsingsnorm van maximaal 2×10^{-3} per jaar.

5.5 Interne veiligheid windturbines (bouw- en ontwerpnormen)

Het ontwerp van windturbines voldoet aan de internationale norm (IEC-61400-1). Op grond van deze norm bevat de windturbine diverse veiligheidssystemen om ervoor te zorgen dat bij falen van onderdelen of bij extreme weersomstandigheden de windturbine niet wordt beschadigd. Onder andere bevat de windturbine een remsysteem welke ervoor zorgt dat de rotorbladen uit de wind worden gedraaid bij te hoge windsnelheden. Daarnaast is een bliksembeveiliging voorgeschreven die ervoor zorgt dat inslaande bliksem buiten kwetsbare delen van de windturbine naar de grond leidt.

Indien windturbines worden gerealiseerd die voldoen aan deze ontwerpnormen, zijn geen nadere voorschriften of normen nodig ter bescherming van het milieu op het gebied van interne veiligheid.

5.6 Uitbreiding bedrijventerrein

De gemeente heeft plannen voor mogelijke uitbreiding van het bedrijventerrein Bijsterhuizen in westelijke richting. Dit betekent dat het bedrijventerrein ook nabij windturbines 01 en 02 komt te liggen. Binnen de ligging van de PR10⁻⁰⁵ contouren kunnen geen beperkt kwetsbare objecten worden gerealiseerd. Dit betekent dat in deze zones geen panden mogelijk zijn. Binnen de PR10⁻⁰⁶ contour dient de aanwezigheid van grotere groepen personen en/of permanent aanwezige personen te worden beperkt. Dit betekent dat wordt aanbevolen om bij de inrichting van het bedrijventerrein binnen deze zone enkel bedrijvigheid met een lagere persoonsconcentratie te realiseren en de komst van grote kantoorfuncties te beperken. Bij plaatsing van objecten waarin personen aanwezig zijn zal het totale risico wat het windpark veroorzaakt op de omgeving toenemen. Binnen de PR10⁻⁰⁶ contour van windturbine 01 en 02 is tot aan de oriëntatiewaarde voor inrichtingen nog ruimte voor elk circa 23 personen permanent aanwezige personen of daarvan equivalente hoeveelheid tijdelijk aanwezige personen. Binnen de PR10⁻⁰⁸ contour is er nog ruimte voor circa 200 tot 1.000 permanent aanwezige personen of daarvan equivalente hoeveelheid tijdelijk aanwezige personen. Binnen deze grotere contour is een persoonsdichtheid en bedrijvendichtheid vergelijkbaar met het huidige bedrijventerrein Bijsterhuizen geschikt als invulling van het nieuwe

bedrijventerrein. Een uitgebreidere beschouwing kan worden gemaakt indien de invulling van de uitbreiding van het bedrijventerrein verder bekend is.

Afhankelijk van de te bouwen windturbine en de door de initiatiefnemer aangegeven maximale ligging van de PR-contour in de vergunningaanvraag kan de ligging PR10-06 contour kleiner worden van 185 meter tot 128 meter. Er is dan meer ruimte op het bedrijventerrein voor de realisatie van kwetsbare objecten.

Figuur 5.6 Uitbreiding Bijsterhuizen t.o.v. windturbines



6 Conclusies en advies

6.1 Afweging

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.

6.2 Geluid

Windturbinegeluid kan hinderlijk zijn en dat maakt dat het wenselijk is geluidniveaus bij geluidsgevoelige objecten 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 het RIVM, WHO en TNO komen inzichten naar voren over de hinderlijkheid van windturbinegeluid bij verschillende niveaus.

WP Bijsterhuizen zal – zonder het nemen van mitigerende maatregelen – een maximale geluidbelasting van 50 dB L_{den} veroorzaken op één omliggend geluidgevoelig object⁷⁰. Voor 76% (63 van de 83 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 3,1 ernstig gehinderden in de gehele omgeving.

Wanneer een lagere maximale geluidbelasting van 47 dB L_{den} wordt toegepast, neemt de toevoeging van het aantal ernstig gehinderden af tot 2,1 (2,3 ernstig gehinderden in totaal). Dit heeft primair effect op het beperkt aantal woningen die een geluidbelasting van meer dan 45 dB L_{den} ontvangen. Door de maximale geluidbelasting van WP Bijsterhuizen verder te reduceren tot 45 dB L_{den} , neemt de toevoeging van het aantal ernstig gehinderden af tot 1,3 (1,5 ernstig gehinderden in totaal). De maximale geluidbelasting verlagen naar 45 dB L_{den} heeft primair effect op het aantal woningen die een geluidbelasting van meer dan 42 dB L_{den} ontvangen.

Tabel 6.1 Aantal ernstig gehinderden per normstelling

Situatie	Ernstig gehinderd (binnenshuis)	
	Aantal	% van de populatie
Ref. situatie (zonder WP Bijsterhuizen)	0,2	0,1%
Met WP Bijsterhuizen zonder geluidmitigatie (max. 50 dB L_{den})	3,3	1,8%
Met WP Bijsterhuizen Tot 47 dB L_{den} teruggeregeld	2,3	1,2%
Met WP Bijsterhuizen Tot 45 dB L_{den} teruggeregeld	1,5	0,8%

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

⁷⁰ Woningen die als molenaarswoning worden beschouwd, zijn hierbij buiten beschouwing gelaten.

een maximaal toelaatbare geluidbelasting van 47 dB L_{den} . Het mitigeren van geluid naar een norm (voor WP Bijsterhuizen) van 47 dB L_{den} betekent een energieproductieverlies van circa 4%. Een strengere norm voor WP Bijsterhuizen van 45 dB L_{den} betekent een productieverlies van circa 20%.

Advies

Uit de analyses blijkt dat bij realisatie van WP Bijsterhuizen zonder geluidvoorzieningen de maximale geluidbelasting 50 dB L_{den} bedraagt, waarbij het percentage ernstig gehinderden 1,8% telt van de omwonenden van het windpark. Er is één woning met deze geluidbelasting. De overige woningen ontvangen een geluidbelasting van 48 dB L_{den} of minder. Het reduceren van de geluidbelasting van WP Bijsterhuizen tot maximaal 47 dB L_{den} zorgt voor minder ernstig gehinderden (1,2% van de omwonenden of 2,3 personen). Dit gaat gepaard met een geschat opbrengstverlies van circa 4%. De gevoeligheidsanalyse, die rekening houdt met een, niet bewezen, mogelijk hogere hinderervaring bij een lagere dosis aan geluid, leidt tot maximaal 4,8 personen met ernstige hinder binnenshuis (2,5% 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. Wel adviseren we om te verkennen of met de keuze van het windturbinetype kan worden gezorgd voor een lagere geluidemissie, waarmee - zonder maatregelen die ten koste gaan van de energieproductie - toch een lagere belasting op de omgeving kan worden gerealiseerd. Er dient daarbij wel te worden opgemerkt dat er reeds met een qua geluidbronvermogen gemiddelde windturbine is gerekend en er daarbij al grote verliezen optreden (circa 20%) wanneer een normstelling van 45 dB L_{den} wordt gehanteerd.

Uit de berekeningen die zijn gedaan om de laagfrequente geluidbelasting inzichtelijk te maken, volgt dat de geluidniveaus ook zonder geluidmitigatie ten alle tijden ruimschoots onder de Vercammen-curve liggen. Specifieke voorschriften voor laagfrequent geluid lijken daarom niet te leiden tot extra bescherming van de omgeving.

Aanvullend wordt geadviseerd om een voorschrift op te nemen waarin een bronmeting conform hoofdstuk 2 van het Reken- en meetvoorschrift windturbines dient te worden uitgevoerd na oprichting van het windpark om te verifiëren of de geluidbelasting op basis van correcte gegevens is berekend.

6.3 Slagschaduw

Het menselijk oog is gevoelig voor optredende verschillen tussen licht en donker en voor snelle bewegingen. Dit trekt aandacht en leidt af, waardoor dit als hinderlijk kan worden ervaren door de waarnemer. Uit onderzoek dat herhaaldelijke of langdurige blootstelling hieraan kan leiden tot stress en concentratieverlies. Daarom wordt aanbevolen de optredende slagschaduwduur te beperken.

Slagschaduwgevoelige objecten

Als gevolg van WP Bijsterhuizen wordt bij 244 van de 1486⁷¹ woningen in de omgeving daadwerkelijk slagschaduw ondervonden. De meeste woningen (151) ontvangen maximaal tussen de 10 en 20 minuten slagschaduw per dag. Verder blijkt uit de analyse dat ruim 89% van de woningen (216 van de 244) jaarlijks

⁷¹ Aan de noordzijde wordt het schaduwgebied begrensd omdat de zon in het zuiden tijdens de middaguren altijd hoog staat. Direct aan de zuidzijde treedt nooit schaduw op omdat de zon nooit in het noorden staat.

minder dan 6 uur slagschaduw ontvangt, zonder dat een stilstandsvoorziening in werking is. Voor 28 woningen is de verwachting dat er jaarlijks meer dan 6 uur slagschaduw optreedt.

Overige slagschaduwgevoelige objecten

Naast woningen is ook onderzocht welke effecten van slagschaduw te verwachten zijn bij overige slagschaduwgevoelige objecten (in dit geval objecten met een kantoor-, onderwijs-, logies of gezondheidszorgfunctie). Bij 66 van de 210 overige slagschaduwgevoelige objecten in de omgeving wordt slagschaduw ondervonden als gevolg van WP Bijsterhuizen. Uit de analyse blijkt dat ruim 58% van de overige slagschaduwgevoelige (38 van de 66) jaarlijks minder dan 6 uur slagschaduw ontvangt, zonder dat een stilstandsvoorziening in werking is. Voor 15 overige slagschaduwgevoelige objecten is de verwachting dat er jaarlijks meer dan 6 uur slagschaduw optreedt. Bij geen van de objecten bedraagt dit meer dan 20 uur per jaar.

Uitbreiding bedrijventerrein

Het bedrijventerrein Bijsterhuizen wordt in de toekomst mogelijk uitgebreid richting het westen. De te verwachten effecten van slagschaduw zijn bij 13 toetspunten in dit uitbreidingsgebied onderzocht. Gezamenlijk ervaren deze toetspunten een slagschaduwduur van 1041 uur. Alle onderzocht toetspunten in het uitbreidingsgebied ervaren maximaal meer dan 20 minuten slagschaduw per dag.

Advies

Uit de analyse blijkt dat voor veruit de meeste woningen en overige slagschaduwgevoelige objecten de optredende slagschaduw – zonder maatregelen – al minder dan 6 uur per jaar bedraagt. Daarmee is automatisch het aantal dagen dat meer dan 20 minuten slagschaduw kan optreden al sterk gereduceerd. Voor enkele objecten kan wel meer dan 6 uur slagschaduw per jaar optreden. Om een goed woon- en leefklimaat ter plaatse van woningen te borgen wordt aanbevolen voor woningen een norm van maximaal 6 uur per jaar te hanteren. Voor overige slagschaduwgevoelige objecten mag ervan uit worden gegaan dat hier niet het gehele jaar mensen aanwezig zijn. Hierdoor zou er een hogere norm kunnen worden gehanteerd voor deze objecten. Als de uitbreiding van het bedrijventerrein nabij de windturbines doorgaat kan een dergelijke normstelling een significant effect hebben op de energieopbrengst van de windturbines (zie Tabel 4.9), gezien de hoge slagschaduwduur die gebouwen in dit terrein mogelijk zullen ervaren.

6.4 Externe veiligheid

In navolging van andere risicobronnen ligt het voor de hand om ook voor windturbines uit te gaan van een basisbeschermingsniveau voor de omgeving aangezien er een risico optreedt voor de omgeving. Daarbij is het eveneens logisch om aan te sluiten bij het beleidskader voor externe veiligheid door onderscheid te maken tussen beperkt kwetsbare objecten en kwetsbare objecten en deze te beoordelen aan de hand van de plaatsgebonden risicocontouren. Er is geen aanleiding om hiervan af te wijken bij de beoordeling van windturbinerisico's. Voor de definitie en bepalingen van de kwetsbaarheid van objecten is aangesloten bij de definities zoals geformuleerd in het Besluit externe veiligheid Inrichtingen.

Met een kans van 1 de 100.000 jaar bij continue jaarlang onbeschermd verblijf op de $PR10^{-5}$ contour bij (beperkt) kwetsbare objecten en 1 op de miljoen bij continue jaarlang onbeschermd verblijf op de $PR10^{-6}$ contour bij kwetsbare objecten is daarmee sprake van een risico dat aanmerkelijk lager ligt dan andere algemeen aanvaarde (maatschappelijke) risico's en gelijk is aan andere risicobronnen van externe veiligheid.

Het opstellen van een normstelling in de vorm van een bepaalde PR-contour waarde kan gezien worden als het trekken van een horizontale streep in Figuur 5.5. Er zijn geen panden aanwezig binnen de PR10⁻⁰⁵ contour. Binnen de PR10-06 contour zijn 8 panden aanwezig waarvan zes panden met zekerheid gedefinieerd kunnen worden als beperkt kwetsbare objecten. Voor twee panden dient een afweging plaats te vinden of deze kunnen worden gedefinieerd als “een gebouw waarin doorgaans grote aantallen *personen gedurende een groot gedeelte van de dag aanwezig zijn*”. De informatie uit de kwetsbaarheidsanalyse voor het gebouw van Ter Beke kan gebruikt worden om een afweging te maken over de kwetsbaarheid. Er worden bij windturbine 03 maatregelen uitgevoerd om de risico's voor ruimten met een grotere concentratie aanwezige personen (kantoorfuncties) te verkleinen. De minimaal te nemen maatregelen is het beperken van de maximale bladworpafstand tot 160 meter. De initiatiefnemer van Windpark Bijsterhuizen heeft aangegeven in de vergunningaanvraag de ligging van de PR10⁻⁰⁶ contour te beperken tot een maximum van 128 meter.

Om te voorkomen dat een grotere groep personen een risico van meer dan PR10⁻⁰⁶ kan ervaren kan voor kwetsbare objecten een norm worden gesteld op een bepaalde PR-waarde. Om te voorkomen dat enige personen een groter risico van meer dan PR10⁻⁰⁵ kunnen ervaren kan ook voor objecten met minder personen (beperkt kwetsbare objecten) een norm worden gesteld op een bepaalde PR-waarde. In lijn met de toekomstige Omgevingswet en ten behoeve van de locatiespecifieke beoordeling van risico's kan er in de normstelling voor worden gekozen om de term 'objecten' te vervangen door 'gebruiksfuncties van gebouwen'.

Bij toepassing van een beschermingsniveau van PR10⁻⁰⁵ voor beperkt kwetsbare objecten en PR10⁻⁰⁶ voor kwetsbare objecten is er in dit project, mits de twee bedrijven van GLS en Ter Beke geen kwetsbare objecten zijn, geen sprake van een overschrijding van deze waarden. Gezien de optredende risico's in de omgeving verdient het aanbeveling om maatregelen te treffen waarmee de risico's in de praktijk, voor zover als redelijk gezien mogelijk, kunnen worden gereduceerd. Door het maken van een veiligheidsprotocol kan de veiligheid voor de omliggende bedrijven worden verhoogd. Hiermee kan er een belangenafweging worden gemaakt ten aanzien van het optredende risico.

Bijlage 1 Eigenschappen windturbines i.r.t. externe veiligheid en toetspunten

Tabel 6.2 Eigenschappen worst-case windturbines (Nordex N131).

Eigenschap	Waarde
Rotordiameter [m]	131
Ashoogte [m]	120
Tiphoogte [m]	185
Nominaal toerental [rpm]	12,6
Afstand tot zwaartepunt van een blad, gemeten vanaf de hub-as [m]	21,83
Maximale breedte van blad [m]	5,5
Mastdiameter [m]	13
Lengte gondel exclusief hub [m]	22,42
Breedte gondel [m]	8
Hoogte gondel [m]	8

Tabel 6.3 Eigenschappen worst-case windturbines (Nordex N131) met mitigatie voor WT 03.

Eigenschap	Waarde
Rotordiameter [m]	131
Ashoogte [m]	120
Tiphoogte [m]	185
Nominaal toerental [rpm]	12,1
Afstand tot zwaartepunt van een blad, gemeten vanaf de hub-as [m]	21,83
Maximale breedte van blad [m]	5,5
Mastdiameter [m]	13
Lengte gondel exclusief hub [m]	22,42
Breedte gondel [m]	8
Hoogte gondel [m]	8

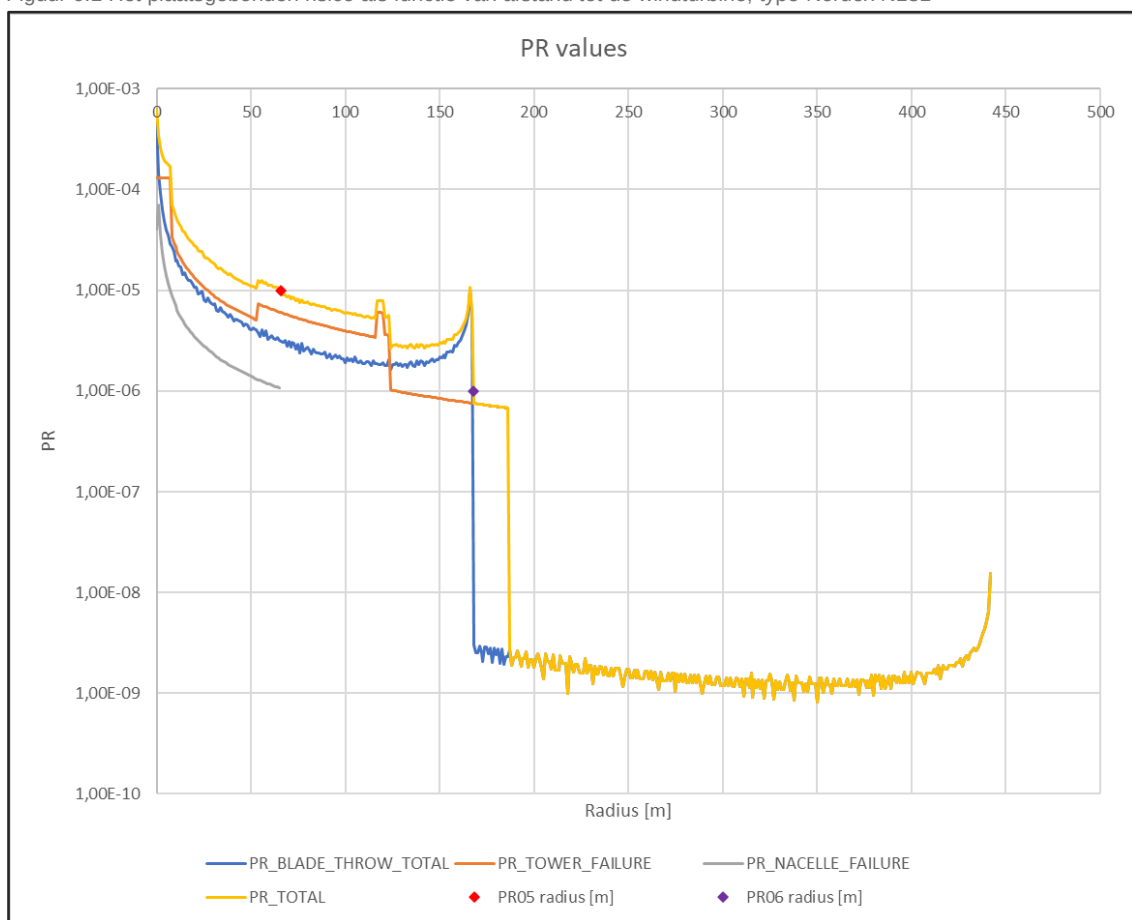
Tabel 6.4 Eigenschappen voorbeeld windturbine met mitigatie van PR10-06 contour tot 128 meter

Eigenschap	Waarde
Rotordiameter [m]	126
Ashoogte [m]	117
Tiphoogte [m]	180
Nominaal toerental [rpm]	12,1
Afstand tot zwaartepunt van een blad, gemeten vanaf de hub-as [m]	17,5
Maximale breedte van blad [m]	4

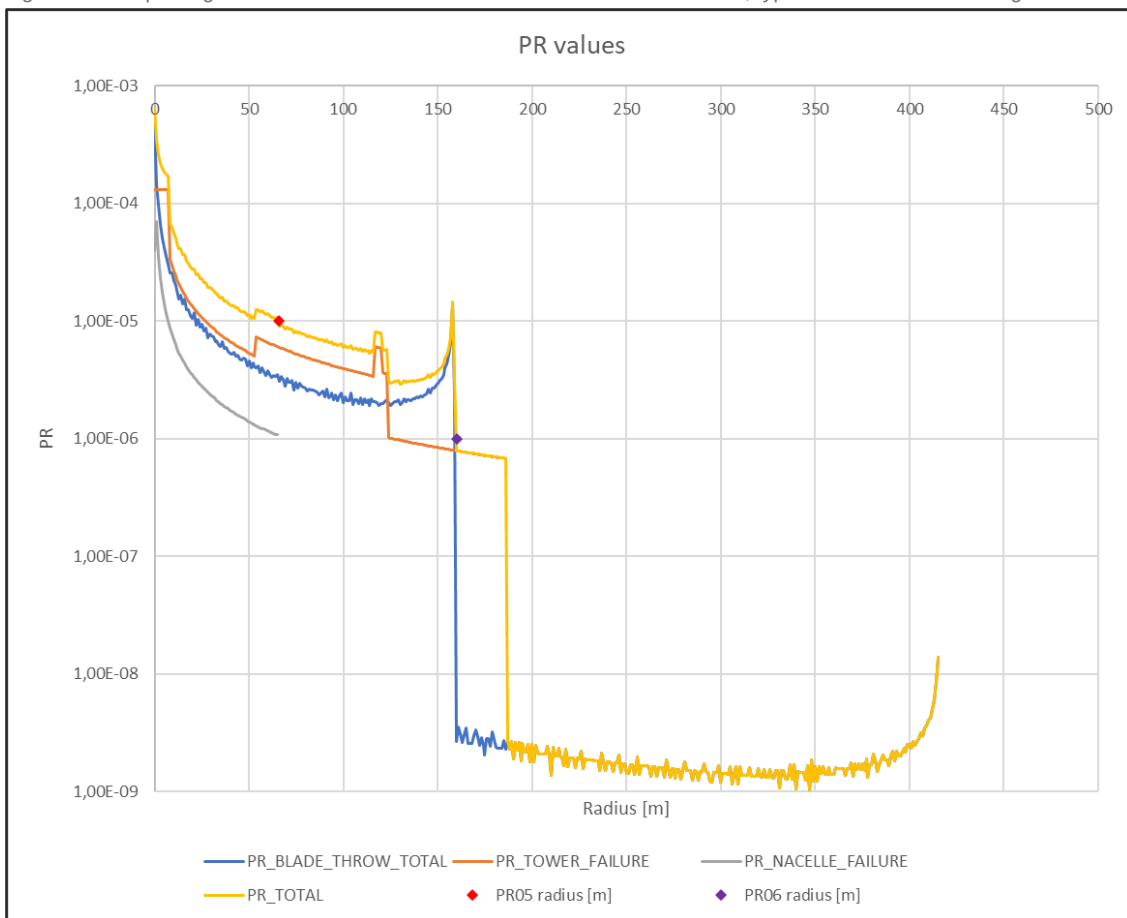
Mastdiameter [m]	8,5
Lengte gondel exclusief hub [m]	17,5
Breedte gondel [m]	5
Hoogte gondel [m]	8,4

Dit resulteert in onderstaande grafieken van het plaatsgebonden risico. Voor de bepaling van de bladworptrefkansen is gebruik gemaakt van de formules: 2.5 t/m 2.13 van de Handleiding risicobeoordeling windturbines (versie oktober 2020). De PR-contouren zijn berekend met behulp van de formules 2.18 tot en met 2.25b en 3.1 tot en met 3.3.

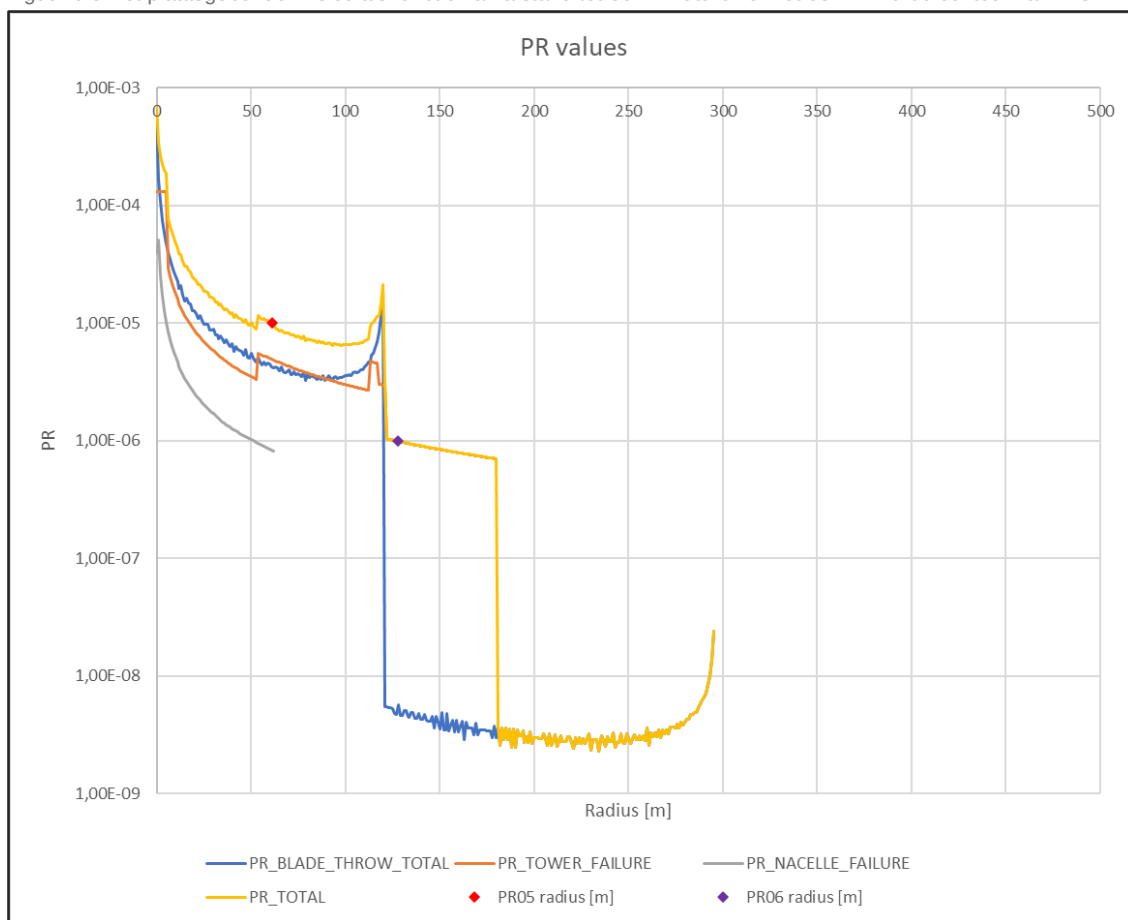
Figuur 6.1 Het plaatsgebonden risico als functie van afstand tot de windturbine, type Nordex N131



Figuur 6.2 Het plaatsgebonden risico als functie van afstand tot de windturbine, type Nordex N131 met mitigatie



Figuur 6.3 Het plaatsgebonden risico als functie van afstand tot een windturbine met een PR10-06 contour van 128m



Bijlage 2 Geluidgegevens windturbines

Coördinaten RD179579427486 Coördinaten WGS51,83545,7438 Ashoogte [m]117 Hoogte windprofiel [m]117 WindturbineVestas V136-4.0MW Modemode 0 STE				 Gecorrigeerd voor bedrijfsduur (Lw + Cb)				
v_as	dag	avond	nacht	Lw_as	LE dag	LE	LE	
[m/s]	[%]	[%]	[%]	[dB(A)]	[dB(A)]	avond	nacht	
						[dB(A)]	[dB(A)]	
1	2,50	1,50	1,25					
2	4,80	3,04	2,24					
3	7,89	4,63	3,59	90,9	79,9	77,6	76,5	
4	9,81	6,99	5,45	91,1	81,0	79,5	78,5	
5	11,31	9,93	8,35	92,9	83,4	82,9	82,1	
6	12,53	13,69	12,25	96	87,0	87,4	86,9	
7	13,24	16,43	17,30	99,6	90,8	91,8	92,0	
8	11,36	15,50	17,75	102,9	93,5	94,8	95,4	
9	8,85	10,64	12,96	103,9	93,4	94,2	95,0	
10	6,19	6,68	7,14	103,9	91,8	92,1	92,4	
11	4,16	3,90	4,13	103,9	90,1	89,8	90,1	
12	2,51	2,46	2,66	103,9	87,9	87,8	88,1	
13	1,75	1,52	1,79	103,9	86,3	85,7	86,4	
14	1,25	1,21	1,27	103,9	84,9	84,7	84,9	
15	0,69	0,81	0,81	103,9	82,3	83,0	83,0	
16	0,43	0,44	0,48	103,9	80,2	80,3	80,7	
17	0,29	0,29	0,27	103,9	78,5	78,5	78,2	
18	0,17	0,13	0,12	103,9	76,2	75,0	74,7	
19	0,10	0,08	0,07	103,9	73,9	72,9	72,4	
20	0,07	0,04	0,06	103,9	72,4	69,9	71,7	
21	0,05	0,03	0,04	103,9	70,9	68,7	69,9	
22	0,02	0,01	0,01	103,9	66,9	63,9	63,9	
23	0,00	0,02	0,01	103,9		66,9	63,9	
24	0,00	0,01	0,01	103,9		63,9	63,9	
25	0,01	0,01	0,00	103,9	63,9	63,9		
				Totaal	100,37	100,92	101,34	
Gehanteerde spectrale verdeling [dB(A)]								
31 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
-28,51	-17,21	-11,91	-8,61	-6,71	-5,31	-6,31	-14,51	-34,81

Coördinaten RD 179579 427486
 Coördinaten WGS 51,8354 5,7438
 Ashoogte [m] 117
 Hoogte windprofiel [m] 117
 Windturbine Vestas V136-4.0MW
 Mode mode SO1 STE



Gecorrigeerd voor bedrijfsduur
 (Lw + Cb)

					(25.0.2017)			
v_as	dag	avond	nacht	Lw_as	LE dag	LE	LE	
[m/s]	[%]	[%]	[%]	[dB(A)]	[dB(A)]	avond	nacht	
						[dB(A)]	[dB(A)]	
1	2,50	1,50	1,25					
2	4,80	3,04	2,24					
3	7,89	4,63	3,59	90,9	79,9	77,6	76,5	
4	9,81	6,99	5,45	91,1	81,0	79,5	78,5	
5	11,31	9,93	8,35	92,9	83,4	82,9	82,1	
6	12,53	13,69	12,25	96	87,0	87,4	86,9	
7	13,24	16,43	17,30	99,5	90,7	91,7	91,9	
8	11,36	15,50	17,75	101,6	92,2	93,5	94,1	
9	8,85	10,64	12,96	101,9	91,4	92,2	93,0	
10	6,19	6,68	7,14	101,8	89,7	90,0	90,3	
11	4,16	3,90	4,13	102	88,2	87,9	88,2	
12	2,51	2,46	2,66	102	86,0	85,9	86,2	
13	1,75	1,52	1,79	102	84,4	83,8	84,5	
14	1,25	1,21	1,27	102	83,0	82,8	83,0	
15	0,69	0,81	0,81	102	80,4	81,1	81,1	
16	0,43	0,44	0,48	102	78,3	78,4	78,8	
17	0,29	0,29	0,27	102	76,6	76,6	76,3	
18	0,17	0,13	0,12	102	74,3	73,1	72,8	
19	0,10	0,08	0,07	102	72,0	71,0	70,5	
20	0,07	0,04	0,06	102	70,5	68,0	69,8	
21	0,05	0,03	0,04	102	69,0	66,8	68,0	
22	0,02	0,01	0,01	102	65,0	62,0	62,0	
23	0,00	0,02	0,01	102		65,0	62,0	
24	0,00	0,01	0,01	102		62,0	62,0	
25	0,01	0,01	0,00	102	62,0	62,0		
				Totaal	98,97	99,54	99,92	
Gehanteerde spectrale verdeling [dB(A)]								
31 Hz	63 Hz	1f Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
-28,51	-17,21	-11,91	-8,61	-6,71	-5,31	-6,31	-14,51	-34,81

Coördinaten RD 179579 427486
 Coördinaten WGS 51,8354 5,7438
 Ashoogte [m] 117
 Hoogte windprofiel [m] 117
 Windturbine Vestas V136-4.0MW
 Mode mode SO11 STE



Gecorrigeerd voor bedrijfsduur
 (Lw + Cb)

					Lw_as		LE	
v_as	dag	avond	nacht		Lw_as	LE dag	LE	LE
[m/s]	[%]	[%]	[%]		[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]
1	2,50	1,50	1,25					
2	4,80	3,04	2,24					
3	7,89	4,63	3,59		90,9	79,9	77,6	76,5
4	9,81	6,99	5,45		91,1	81,0	79,5	78,5
5	11,31	9,93	8,35		92,9	83,4	82,9	82,1
6	12,53	13,69	12,25		94,5	85,5	85,9	85,4
7	13,24	16,43	17,30		95,6	86,8	87,8	88,0
8	11,36	15,50	17,75		96,9	87,5	88,8	89,4
9	8,85	10,64	12,96		98	87,5	88,3	89,1
10	6,19	6,68	7,14		98,9	86,8	87,1	87,4
11	4,16	3,90	4,13		99,1	85,3	85,0	85,3
12	2,51	2,46	2,66		99,2	83,2	83,1	83,4
13	1,75	1,52	1,79		99,2	81,6	81,0	81,7
14	1,25	1,21	1,27		99,2	80,2	80,0	80,2
15	0,69	0,81	0,81		99,2	77,6	78,3	78,3
16	0,43	0,44	0,48		99,2	75,5	75,6	76,0
17	0,29	0,29	0,27		99,2	73,8	73,8	73,5
18	0,17	0,13	0,12		99,2	71,5	70,3	70,0
19	0,10	0,08	0,07		99,2	69,2	68,2	67,7
20	0,07	0,04	0,06		99,2	67,7	65,2	67,0
21	0,05	0,03	0,04		99,2	66,2	64,0	65,2
22	0,02	0,01	0,01		99,2	62,2	59,2	59,2
23	0,00	0,02	0,01		99,2		62,2	59,2
24	0,00	0,01	0,01		99,2		59,2	59,2
25	0,01	0,01	0,00		99,2	59,2	59,2	
					Totaal	95,82	96,21	96,49
Gehanteerde spectrale verdeling [dB(A)]								
31 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
-28,51	-17,21	-11,91	-8,61	-6,71	-5,31	-6,31	-14,51	-34,81

Bijlage 3 Instellingen geluidmitigatie

In onderstaande tabel is per windturbine weergegeven in welke modus de windturbine zou moeten draaien om de normstelling van 47 of 45 dB L_{den} te behalen

Benodigde mitigatie om aan 47 dB L_{den} te voldoen

Turbine	X	Y	Dag	Avond	Nacht
WT01	179186	427600	mode 0 STE	mode 0 STE	mode 0 STE
WT02	179579	427486	mode 0 STE	mode 0 STE	mode SO1 STE
WT03	180029	427367	mode 0 STE	mode SO1 STE	mode SO11 STE

Benodigde mitigatie om aan 45 dB L_{den} te voldoen

Turbine	X	Y	Dag	Avond	Nacht
WT01	179186	427600	mode 0 STE	mode SO1 STE	mode 0 STE
WT02	179579	427486	mode SO11 STE	mode SO11 STE	mode SO11 STE
WT03	180029	427367	mode SO11 STE	mode SO11 STE	mode SO11 STE

Bijlage 4 Aantal (ernstig) gehinderden

In paragraaf 3.7.3 is berekend hoeveel ernstig gehinderden er worden verwacht na realisatie van WP Bijsterhuizen. Dezelfde aanpak is gebruikt om het aantal gehinderden vast te stellen. De dosishinderrelatie voor hinder binnenshuis uit het TNO rapport uit 2008 (percentages zijn weergegeven in bijlage C van het TNO rapport).

Aantal ernstig gehinderden

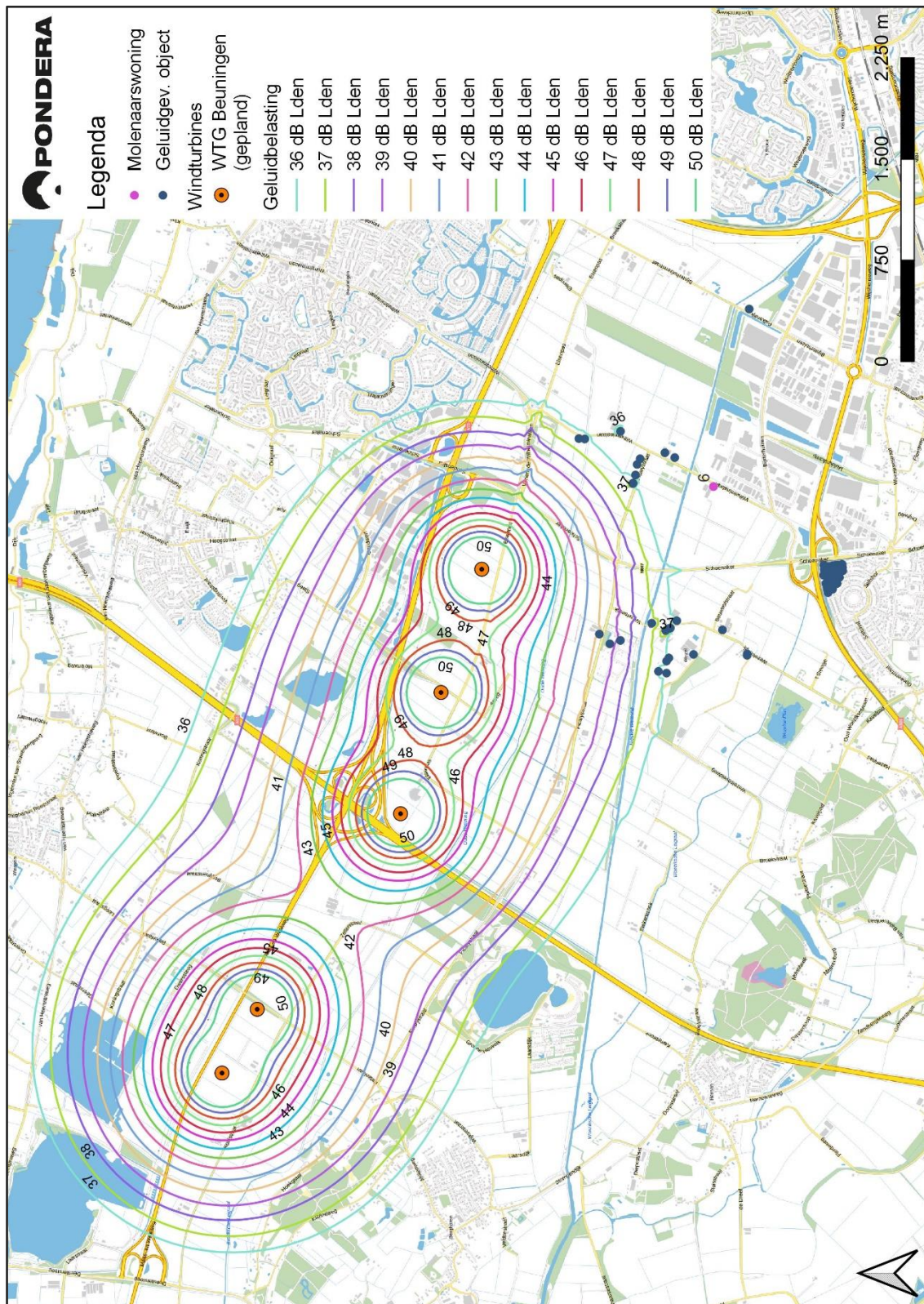
Situatie	Ernstig gehinderd (binnenshuis)	
	Aantal	% van de populatie
Ref. situatie (zonder WP Bijsterhuizen)	0,2	0,1%
Met WP Bijsterhuizen zonder geluidmitigatie (max. 50 dB L _{den})	3,3	1,8%
Met WP Bijsterhuizen Tot 47 dB L _{den} teruggeregeld	2,3	1,2%
Met WP Bijsterhuizen Tot 45 dB L _{den} teruggeregeld	1,5	0,8%

Aantal gehinderden

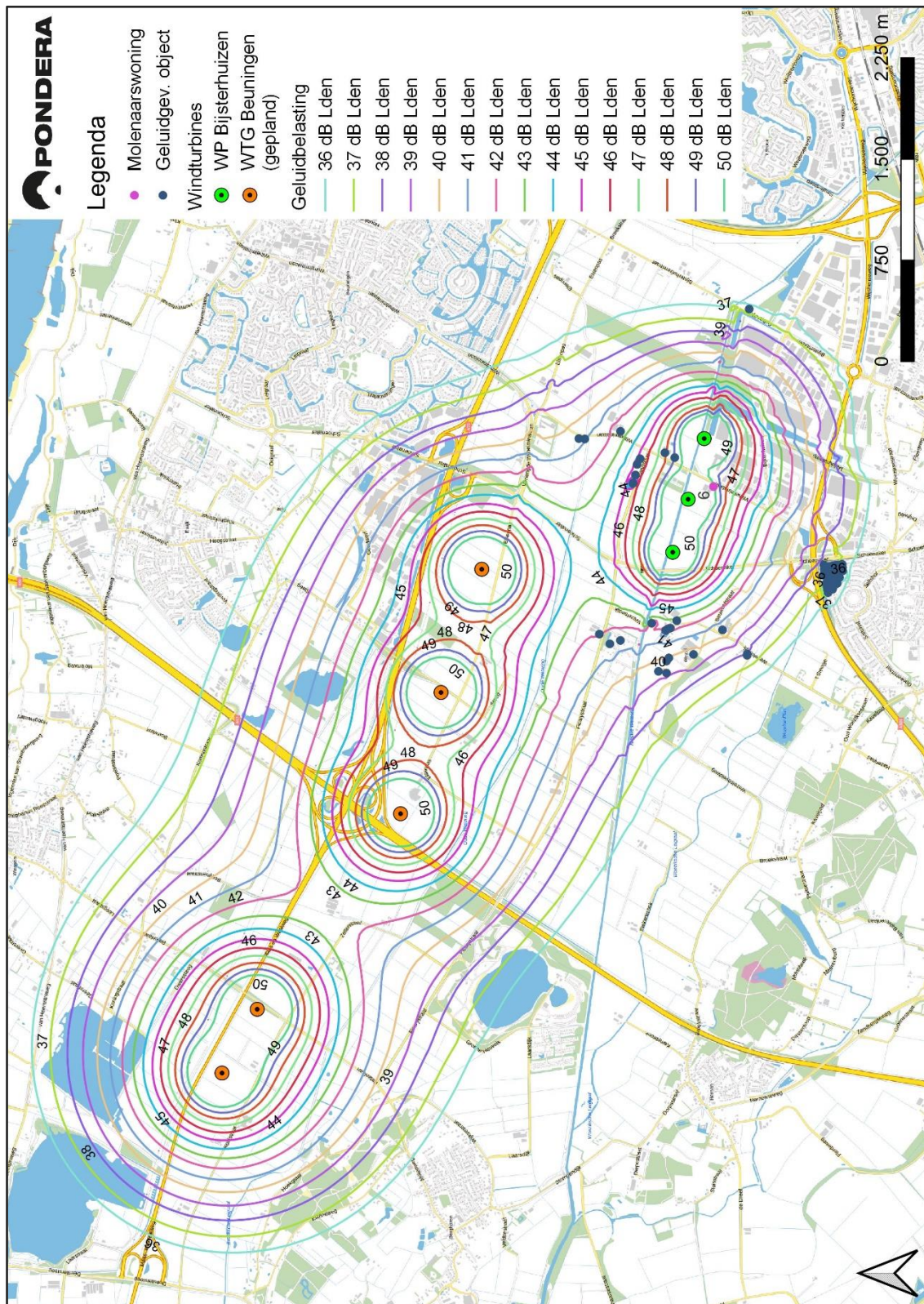
Situatie	Gehinderd (binnenshuis)	
	Aantal	% van de populatie
Ref. situatie (zonder WP Bijsterhuizen)	0,7	0,3%
Met WP Bijsterhuizen zonder geluidmitigatie (max. 50 dB L _{den})	8,6	4,5%
Met WP Bijsterhuizen Tot 47 dB L _{den} teruggeregeld	6,1	3,2%
Met WP Bijsterhuizen Tot 45 dB L _{den} teruggeregeld	4,2	2,2%

Bijlage 5 Geluidcontouren

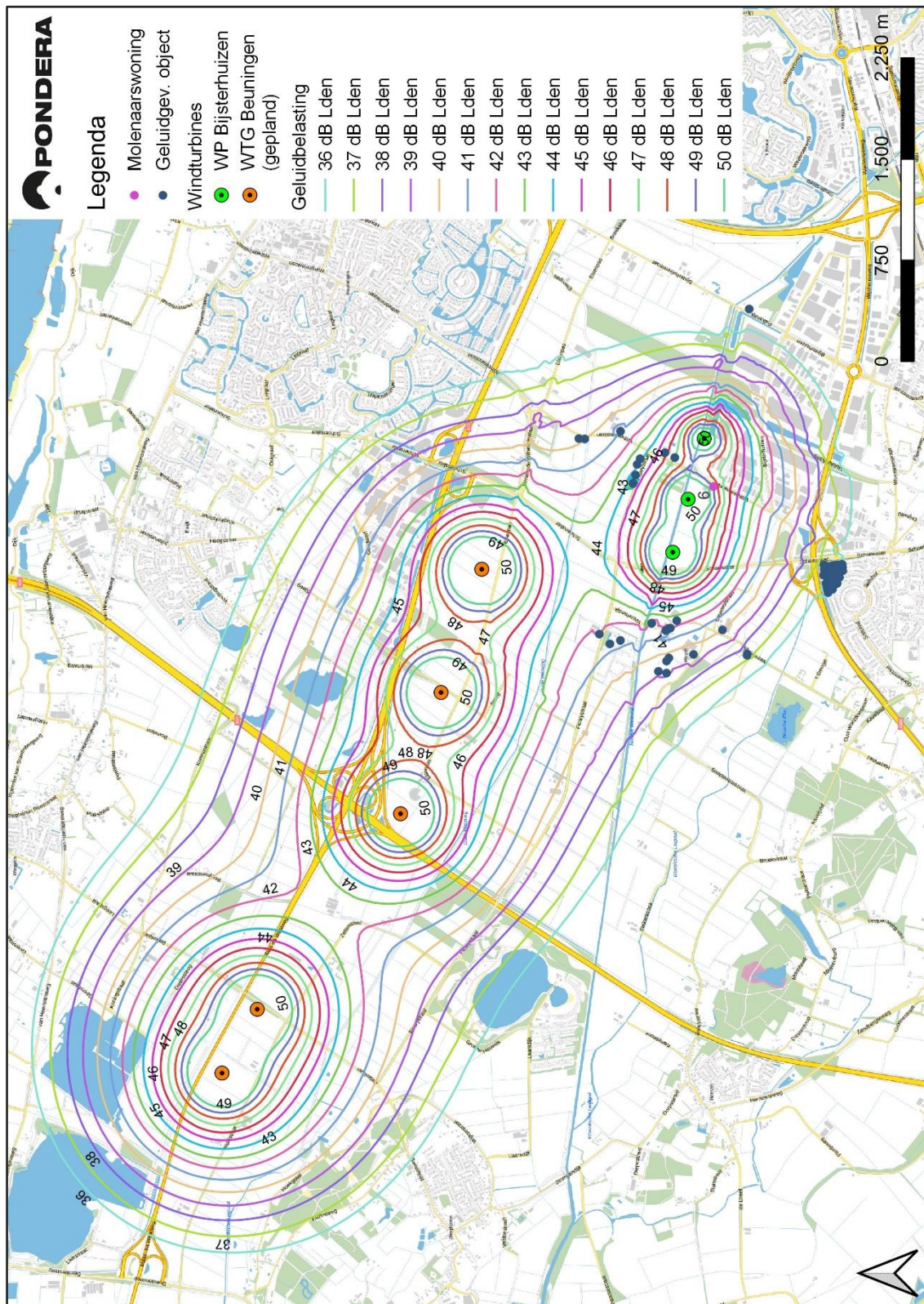
Geluidcontouren referentiesituatie



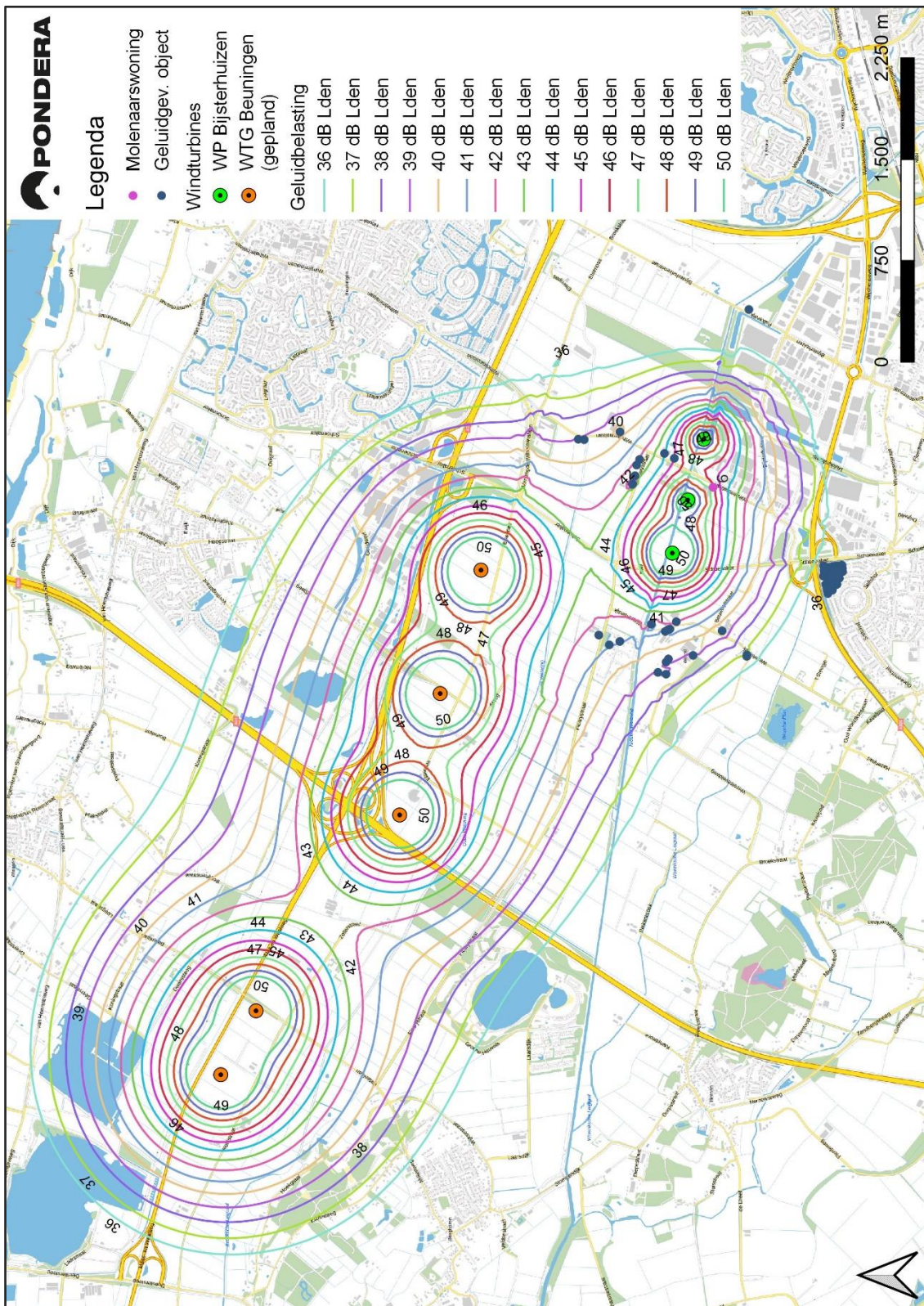
Geluidcontouren met WP Bijsterhuizen (zonder mitigatie)



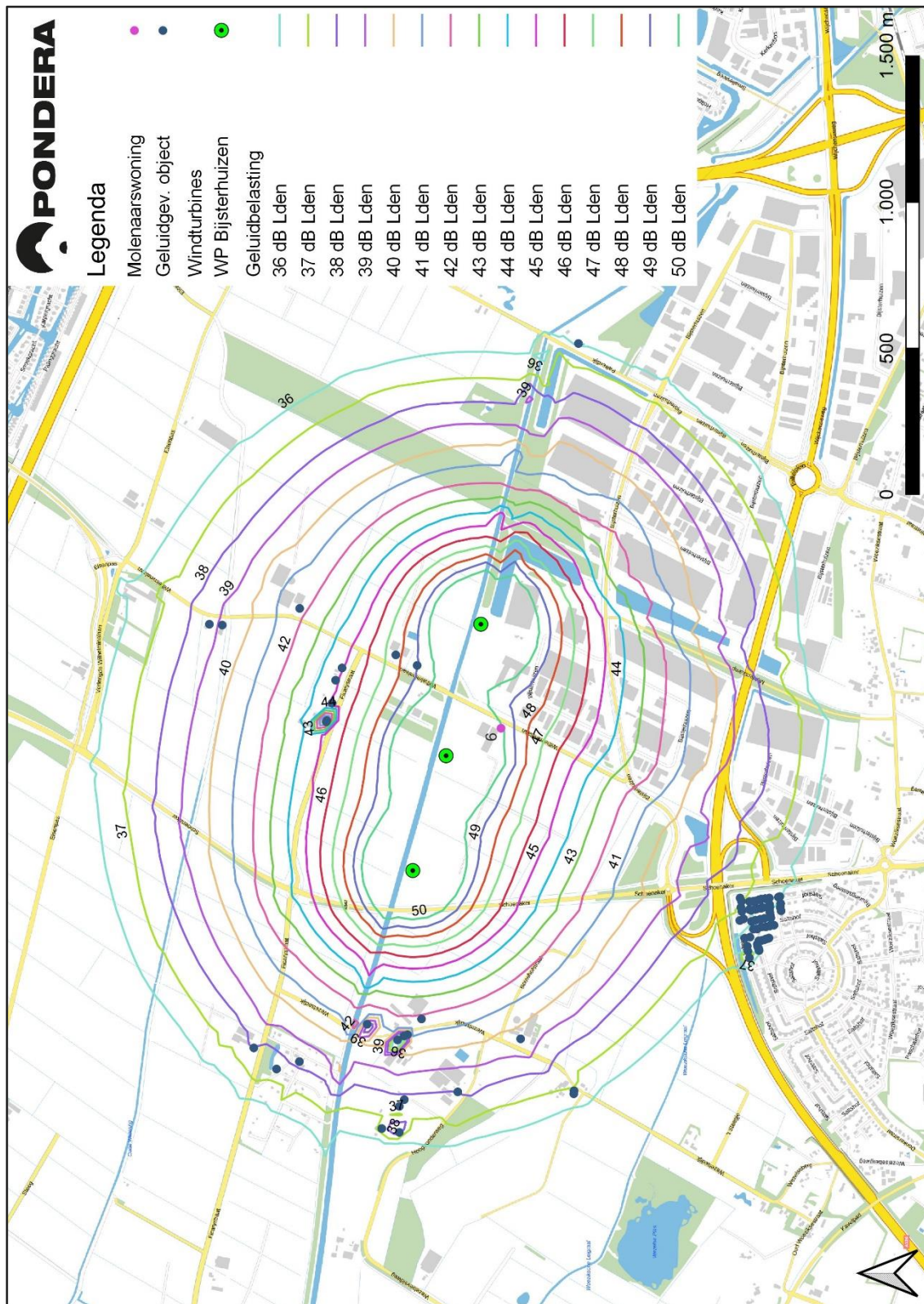
Geluidcontouren met WP Bijsterhuizen (maximale geluidbelasting WP Bijsterhuizen 47 dB L_{den})



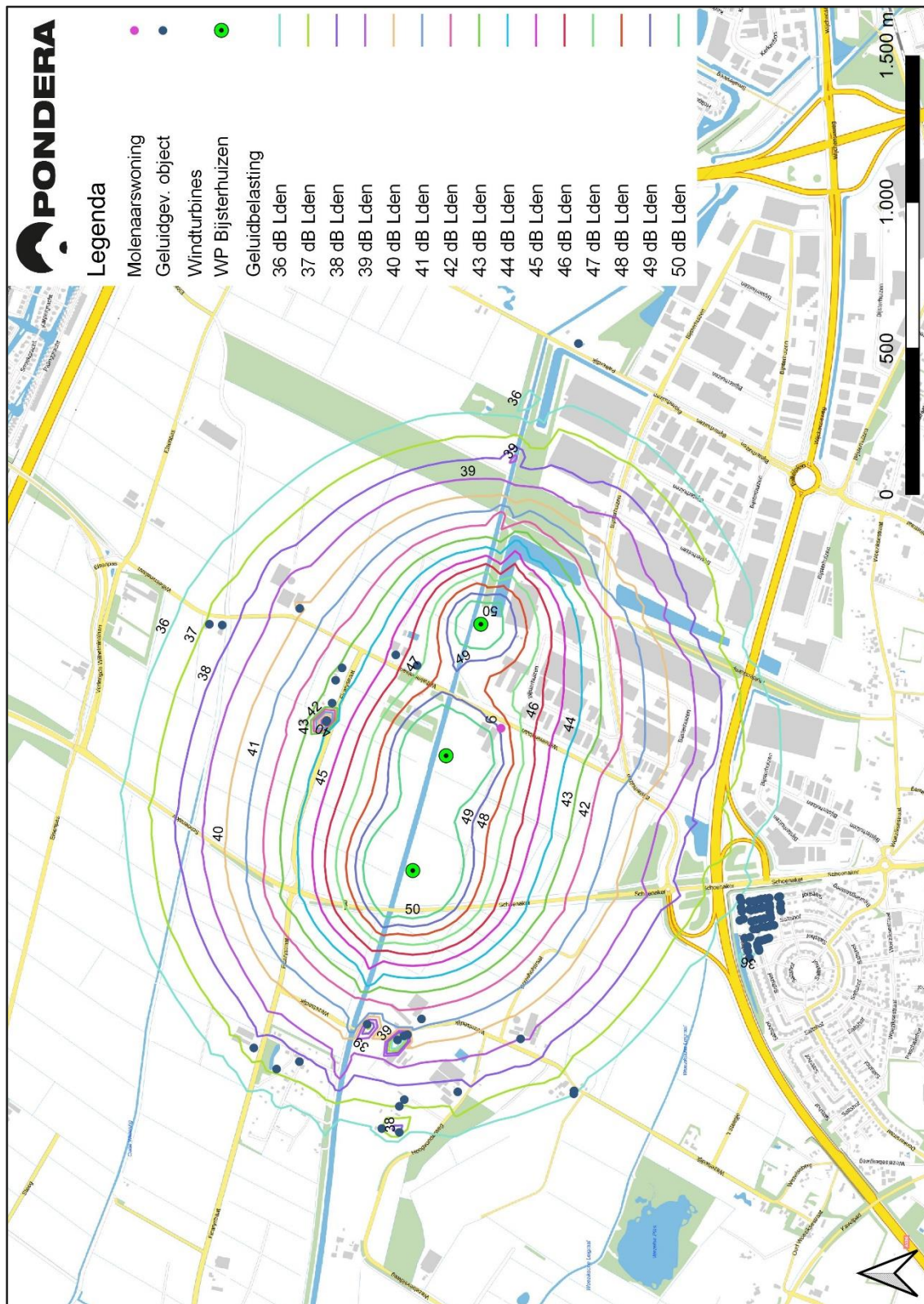
Geluidcontouren met WP Bijsterhuizen (maximale geluidbelasting WP Bijsterhuizen 45 dB Lden)



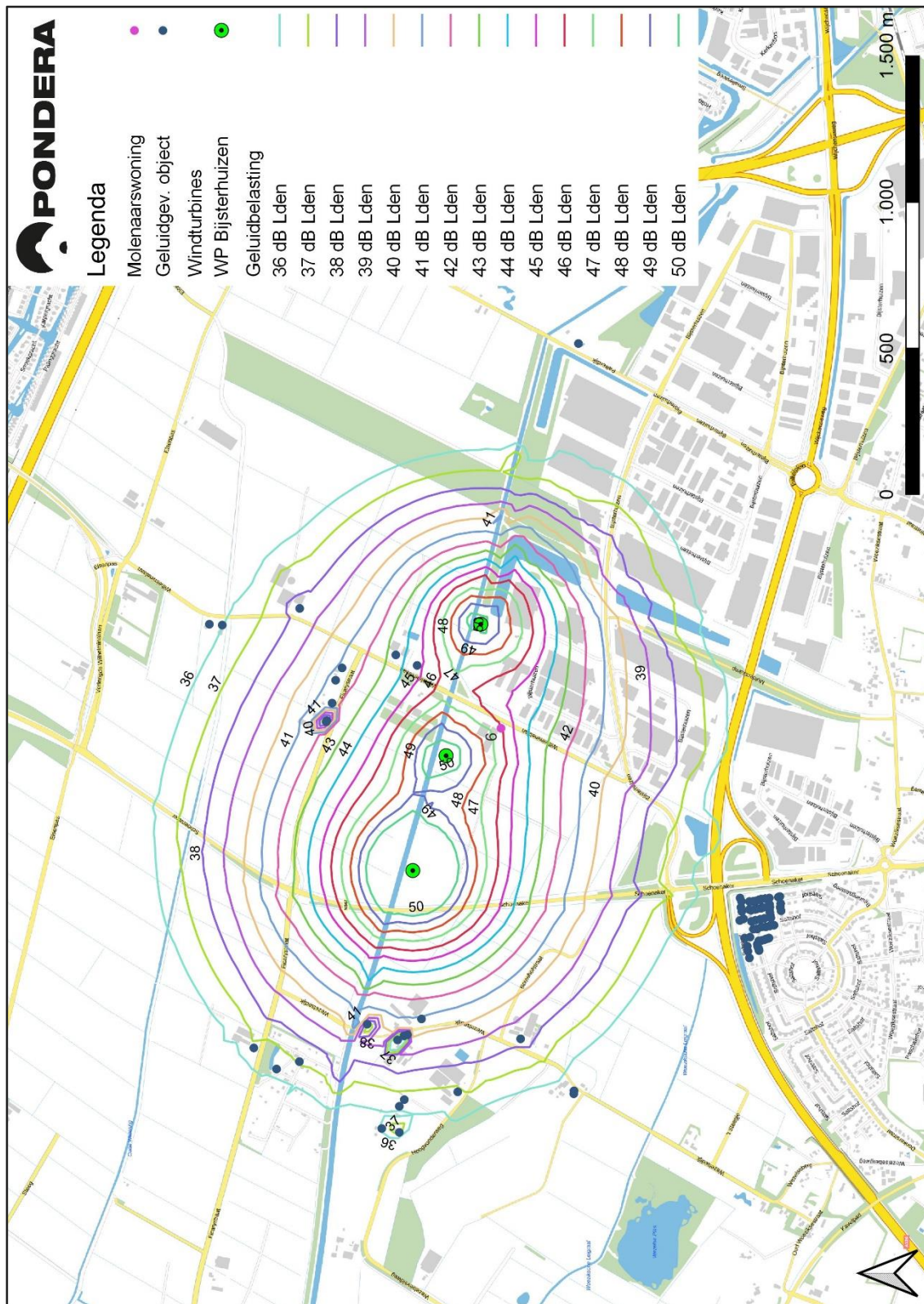
Geluidcontouren enkel WP Bijsterhuizen – geen geluidmitigatie



Enkel WP Bijsterhuizen – gemitigeerd naar 47 dB Lden



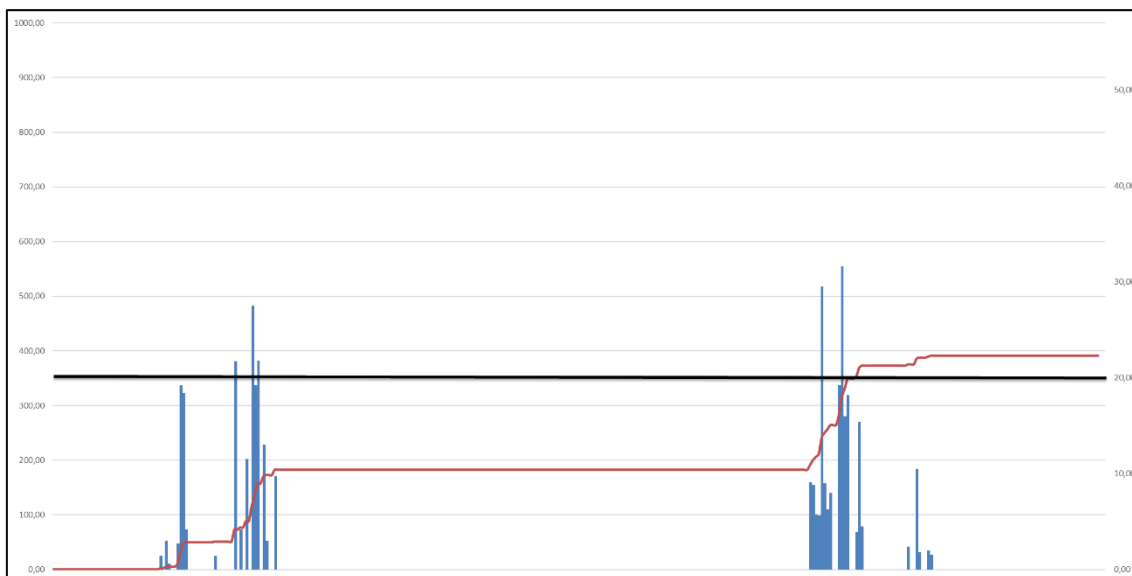
Enkel WP Bijsterhuizen – gemitigeerd naar 45 dB Lden



Bijlage 6 Slagschaduw voorbeeldgrafieken

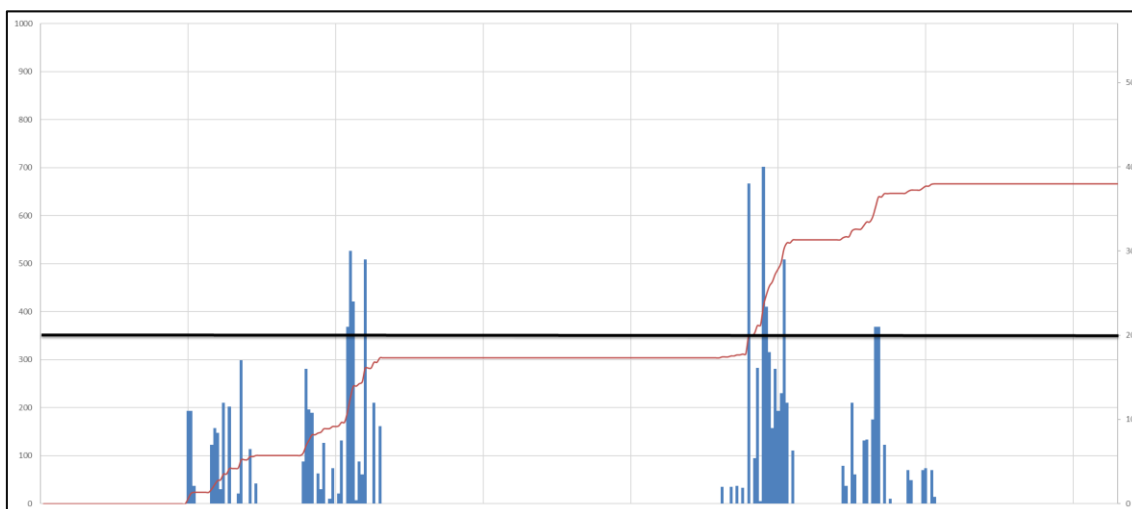
Situatie A – Een jaar voor een woning met 17 dagen met meer dan 20 minuten aan slagschaduw:

De slagschaduw is in dit geval afkomstig van drie windturbines. Op de plek waar de rode lijn de zwarte horizontale lijn kruist is er sprake van meer dan zes uur aan optredende slagschaduw in een jaar. Op de dagen waar een blauwe lijn de zwarte balk kruist is er sprake van meer dan 20 minuten op één dag. De totale potentiële slagschaduwduur zonder stilstandvoorziening bedraagt bij deze woning circa 15 uur.



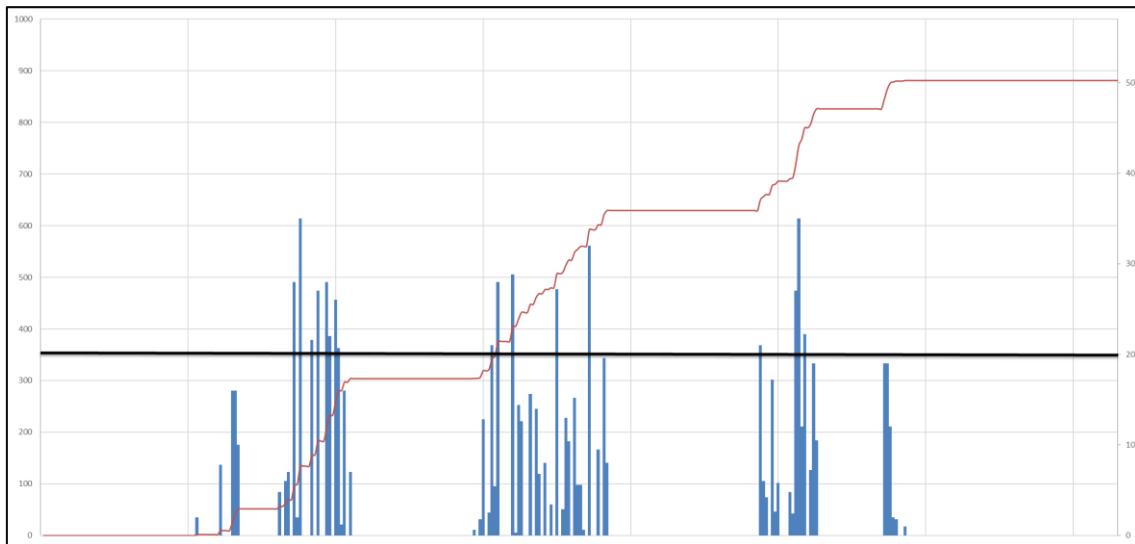
Situatie B – Een jaar voor een woning met 11 dagen met meer dan 20 minuten aan slagschaduw:

De slagschaduw is afkomstig van twee windturbines. Op de plek waar de rode lijn de zwarte horizontale lijn kruist is er sprake van meer dan zes uur aan optredende slagschaduw in een jaar. Op de dagen waar de blauwe lijn de zwarte balk kruist is er sprake van meer dan 20 minuten aan slagschaduw op één dag. De totale potentiële slagschaduwduur zonder stilstandvoorziening bedraagt bij deze woning circa 11 uur.



Situatie C – Een jaar voor een woning met 5 dagen met meer dan 20 minuten aan slagschaduw:

De slagschaduw is afkomstig van twee windturbines. Op de plek waar de rode lijn de zwarte horizontale lijn kruist is er sprake van meer dan zes uur aan optredende slagschaduw in een jaar. Op de dagen waar de blauwe lijn de zwarte balk kruist is er sprake van meer dan 20 minuten aan slagschaduw op één dag. De totale potentiële slagschaduwduur zonder stilstand voorziening bedraagt bij deze woning circa 6,5 uur.



Bijlage 7 Laagfrequent geluid

De geluidbelasting ter plaatse van Wilhelminalaan 85 is (ook na het toepassen van geluidreducerende maatregelen) het hoogst. Uitgaande van een conservatieve gevelisolatie⁷² is voor een tweetal windsnelheden het geluidniveau van de tertsbanden tussen de 20Hz en de 100Hz berekend. Er is daarbij uitgegaan van hetzelfde windturbinetype als bij de 'reguliere' geluidberekeningen. Voor de winsnelheden is gekozen voor 10 m/s op ashoogte en 20 m/s op ashoogte. Er is voor deze twee windsnelheden gekozen omdat 10 m/s op ashoogte relatief vaak voor komt en in de 80 Hz tertsband de hoogste waarde heeft van alle windsnelheden. Voor alle overige tertsbanden geldt dat bij 20 m/s op ashoogte de hoogste waarden zijn opgegeven⁷³, waardoor de berekende geluidniveaus bij 20 m/s op ashoogte als worst-case inschatting kunnen worden gezien. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande Tabel 6.5 en Tabel 6.6

Omdat het Reken- en meetvoorschrift enkel voorziet in het berekenen van geluidniveaus per octaaf (vanaf 31,5 Hz) en niet per terts, zijn de volgende aannames gedaan:

- De overdracht is per octaafband bepaald en voor alle drie de tertsen binnen die octaaf hetzelfde verondersteld;
- De overdracht voor 20 Hz is conservatief 3 dB lager verondersteld (hetgeen resulteert in een hoger geluidniveau op de gevel)

Tabel 6.5 LFG bij een windsnelheid van 20 m/s op ashoogte

Frequentie [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Immissie [dB]	65,8	62,8	62,4	57,8	58,5	58,7	54,5	46,8
Gevelisolatie [dB]	10	12	13	15	16	18	19	21
Binnenniveau [dB]	55,8	50,8	49,4	42,8	42,5	40,7	35,5	25,8
NSG-curve [dB]	74	62	55	46	<u>39</u>	<u>33</u>	<u>27</u>	<u>22</u>
Vercammen-curve [dB]	70,5	64,7	59,4	54,6	50,2	46,2	42,5	39,1

Tabel 6.6 LFG bij een windsnelheid van 10 m/s op ashoogte

Frequentie [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Immissie [dB]	62,4	59,6	56,8	57,2	56,9	55,5	55,9	44,5
Gevelisolatie [dB]	10	12	13	15	16	18	19	21
Binnenniveau [dB]	52,4	47,6	43,8	42,2	40,9	37,5	36,9	23,5
NSG-curve [dB]	74	62	55	46	<u>39</u>	<u>33</u>	<u>27</u>	<u>22</u>
Vercammen-curve [dB]	70,5	64,7	59,4	54,6	50,2	46,2	42,5	39,1

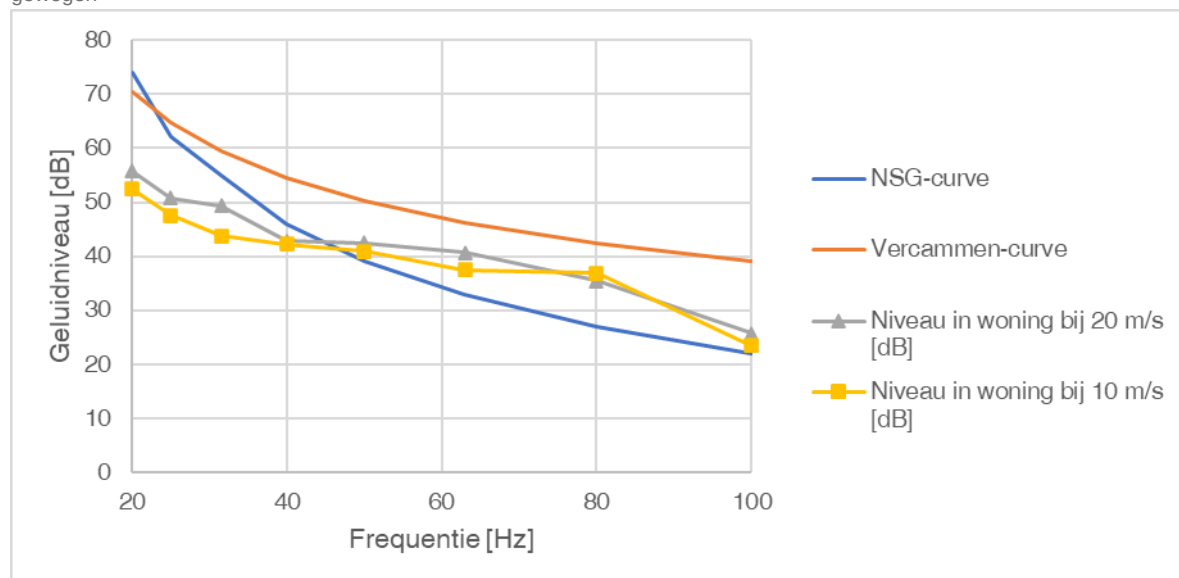
⁷² Uitspraak 201706086/1/R1, ECLI:NL:RVS:2019:295. Hierin wordt verwezen naar de notitie: Beoordeling laagfrequent geluid, V068465aa.00001.md, versie 01_001, 27 februari 2017, LBP Sight

⁷³ V136-4.0 MW Third octave noise emission, DMS 0067-4732 V00, 24-7-2017

Voor zowel een veel voorkomende windsnelheid van 10 m/s als een weinig voorkomende (maar meer LFG bevattende) windsnelheid van 20 m/s geldt dat de Vercammen-curve ruimschoots niet wordt overschreden. Er wordt derhalve geen onaanvaardbare hinder verwacht. Wel wordt in beide gevallen vanaf 50 Hz de NSG-curve overschreden, hetgeen betekent dat het geluid voor een deel van de bevolking wel hoorbaar zal zijn. De berekeningen zijn uitgevoerd op de geluidgegevens die gegeven zijn voor de 'normale' modus (geen geluidmitigatie). De windturbines zullen in een gereduceerde modus moeten draaien in de avond- en nachtperiode, waardoor de geluidniveaus in die periodes lager zullen zijn. Desondanks zal het geluidniveau ook in de dagperiode, waarbij er doorgaans meer achtergrondgeluid aanwezig is en waarschijnlijk daardoor minder goed waarneembaar is, onder de Vercammen-curve blijven.

De rekenresultaten zijn tevens in onderstaand Figuur 6.4 weergegeven.

Figuur 6.4 Geluidniveau bij twee windsnelheden in relatie tot NSG- en Vercammen-curve, geluidniveaus zijn niet A-gewogen



Memo

Betreft
Addendum milieunormonderzoek WP Bijsterhuizen

Datum
21-11-2023

Aan
Stichting Wiek II

Projectnummer
719050

Van
S. Flanderijn, Pondera Consult

Versienummer
1.0

Inleiding

Ten behoeve van het vaststellen van locatiespecifieke normen heeft Pondera Consult in mei 2023 een rapport opgesteld met de titel "Onderzoek milieunormen windenergie – Windpark Bijsterhuizen"¹. In de voorgenoemde rapportage staan 2 zinnen met foutieve getallen. In onderhavige notitie wordt ingegaan op de desbetreffende passage en de mogelijk invloed hiervan op de besluitvorming.

Passage onderzoek milieunormen

De passage waar enkele foutieve getallen staan, staat op pagina 18 van het onderzoek:

[...]

Daarnaast blijkt uit de tabel dat 92% (97 van de 105 woningen) een geluidbelasting van 40 dB L_{den} of lager ervaart, zonder dat er maatregelen worden genomen. Indien een maximale belasting van 45 dB L_{den} wordt aangehouden, zijn er nog slechts 3 woningen met een geluidbelasting van meer dan 40 dB L_{den}.

[...]

De getallen in deze zinnen moeten als volgt zijn:

[...]

Daarnaast blijkt uit de tabel dat 76% (63 van de 83 woningen) een geluidbelasting van 40 dB L_{den} of lager ervaart, zonder dat er maatregelen worden genomen. Indien een maximale belasting van 45 dB L_{den} wordt aangehouden, zijn er nog slechts 14 woningen met een geluidbelasting van meer dan 40 dB L_{den}.

[...]

Invloed op conclusie/normstelling

Om tot een advies richting normstelling te komen (paragraaf 6.2 van het normstellingonderzoek) zijn hoofdzakelijk de getallen uit de tabellen gebruikt, waarmee de foutieve getallen niet van invloed zijn op het advies in paragraaf 6.2. Op pagina 48 van het onderzoek naar milieunormen wordt bijvoorbeeld reeds de correcte 76% (woningen met een geluidbelasting van 40 dB L_{den} of minder) aangehaald.

De passage met het aantal woningen met een geluidbelasting van 40 dB L_{den} of minder bij een normstelling van 45 dB L_{den} is überhaupt niet gebruikt in het advies voor een geluidnorm. Wél wordt verwezen naar het grote deel woningen met een geluidbelasting van 40 dB L_{den} of minder bij een geluidnorm van 47 dB L_{den}. Dit zijn, op basis van tabel 3.4, 66 woningen.

¹ Onderzoek milieunormen windenergie Windpark Bijsterhuizen v5.0, Pondera Consult, 719050, 4-5-2023

Conclusie

In het onderzoek naar milieunormen voor windpark Bijsterhuizen zijn onder een tabel twee zinnen met foute getallen geconstateerd. Het aanpassen van deze getallen zorgt niet voor een andere conclusie of een ander advies omtrent de geluidnorm.