

Onderzoek milieunormen windenergie

Windturbines Haringvlietdam

Windpark Haringvliet BV

720128 | v2.0

17-11-2022



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

Windturbines Haringvlietdam

Versienummer

v2.0

Datum

17-11-2022

Project nummer

720128

Opdrachtgever

Windpark Haringvliet BV

Auteur

[Redacted]

Nagekeken door

[Redacted]

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	Alternatieven voor toetsingskader windturbinegeluid	13
3.5	Beoordeling van windturbinegeluid	14
3.6	Lokale situatie in project WP Haringvlietdam	15
4	Slagschaduw en lichtschittering van windturbines	25
4.1	Inleiding	25
4.2	Achtergrond: inzichtelijk maken van slagschaduw	25
4.3	Beoordelingskader voor slagschaduw	30
4.4	Lokale situatie in project WP Haringvlietdam	31
4.5	Normstelling voor slagschaduw en gevolgen voor windpark	37
4.6	Lichtschittering	39
5	Externe veiligheid	40
5.1	Inleiding: plaatsgebonden risico als beoordelingsmaat	40
5.2	Achtergrond: veiligheid en kansen	40
5.3	Rekenmethodiek	42
5.4	Resultaten	44
5.5	Interne veiligheid windturbines (bouw- en ontwerpnormen)	50
6	Conclusies en advies	51
6.1	Afweging	51
6.2	Geluid	51
6.3	Slagschaduw	52
6.4	Externe veiligheid	53

Bijlage 1	Eigenschappen windturbines i.r.t. externe veiligheid en toetspunten	55
Bijlage 2	Geluidgegevens windturbines	58
Bijlage 3	Instellingen geluidmitigatie	60
Bijlage 4	Aantal (ernstig) gehinderden	61
Bijlage 5	Geluidcontouren	62
Bijlage 6	Slagschaduwkalenders restaurants	65
Bijlage 7	Slagschaduwkalenders vakantiepark	68
Bijlage 8	Slagschaduw voorbeeldgrafieken	73

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 Haringvlietdam (WP Haringvlietdam) loopt momenteel de procedure tot het vaststellen van een nieuw bestemmingsplan om de windturbines mogelijk te maken. Ondanks dat de windturbines volgens het Activiteitenbesluit milieubeheer niet als windturbinepark worden gezien (en er in dat geval in het bestemmingsplan niet meer rechtstreeks mag worden uitgegaan van de windturbinebepalingen uit het Activiteitenbesluit), is de initiatiefnemer voornemens een lokale, projectspecifieke normstelling voor geluid, slagschaduw en externe veiligheid aan te vragen. Het bevoegd gezag heeft aangegeven graag een dergelijke norm in het ruimtelijk plan te willen opnemen. De initiatiefnemer van het project – Windpark Haringvliet BV – 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 te verzoeken deze normen vast te leggen in het bestemmingsplan en 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 Haringvlietdam.

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 Haringvlietdam;
- 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

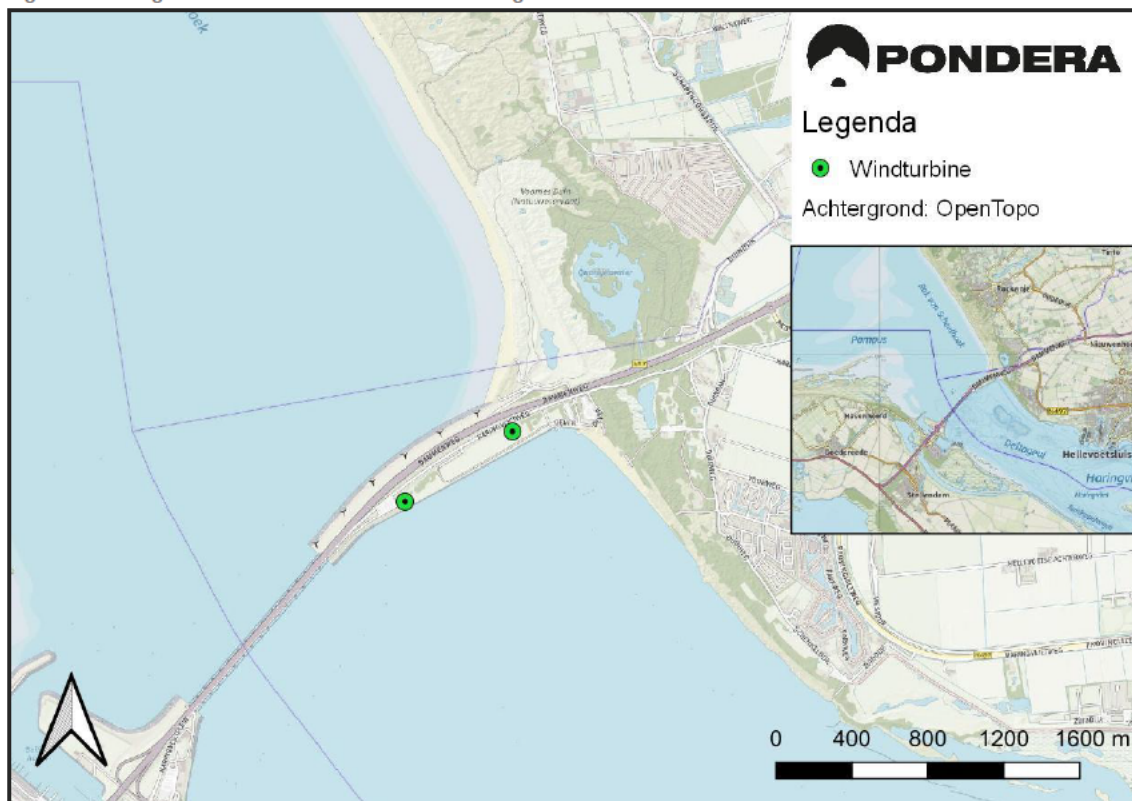
Dit rapport bestaat uit zeven hoofdstukken. In hoofdstuk 2 wordt de locatie van de windturbines en de eigenschappen van de omgeving beschreven. In hoofdstuk 3, 4, en 5 wordt per milieuthema (geluid, slagschaduw en lichtschittering en (externe) veiligheid) ingegaan op de beoordeling en normstellingsystematiek 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

Windpark Haringvlietdam BV heeft het voornemen om twee nieuwe windturbines te realiseren op de zuidzijde van de N57 op de Haringvlietdam in de gemeente Hellevoetsluis. De twee nieuwe windturbines vervangen de bestaande zes windturbines aan de noordzijde op de Haringvlietdam. De bestaande zes windturbines zijn gebouwd in 1997 en zijn inmiddels aan vervanging toe. In Figuur 2.1 is een overzicht van het plangebied van de nieuwe windturbines van WP Haringvlietdam gegeven.

Figuur 2.1 Plangebied nieuwe windturbines WP Haringvlietdam



2.2 Beschrijving omgeving

De omgeving van het windpark bestaat voornamelijk uit het water van het Haringvliet, strand, (duin)gebied, bos en gras- en akkerland. De Haringvlietdam is tevens een belangrijke verkeersader (N57). De gronden direct rond de windturbines zijn in gebruik als recreatiegebied met een strand ten oosten-zuidoosten (Quackstrand) en ten noorden van het windpark (Rockanje). Op circa 500 meter vanaf de meest oostelijke windturbine start het duin en bosgebied van het Voornes Duin. In dit gebied liggen enkele verspreid liggende woningen. Op circa 900-1.000 meter afstand (ten oosten), achter de bossen van het Voornes Duin, bevinden zich de eerste woningen in het buitengebied van Hellevoetsluis, langs de Duinweg. Hier liggen ook de recreatieverblijven Europarcs Resort Poort van Zeeland en Citta Romana (ten oosten van het windpark). Ten noordoosten van het windpark, achter het Quackjeswater op ongeveer 1,4 kilometer ligt het recreatiepark Molecaten Park Rondewebos. Het terrein ten oosten van de bossen is voornamelijk in gebruik als agrarisch gras- en akkerland.

2.2.1 Aanwezige woningen en recreatieverblijven

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

Woningen

De meeste woningen in de omgeving van WP Haringvlietdam liggen voornamelijk ten oosten van de Haringvlietdam. In het eerder uitgevoerde akoestisch onderzoek³ voor WP Haringvlietdam is een selectie gemaakt van toetspunten (woningen en overige objecten in de directe omgeving) 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 zijn de ligging van de toetspunten en overige omliggende woningen weergegeven. De geselecteerde toetspunten zijn hier in roze opgenomen, de overige woningen als gele stippen.

Tabel 2.1 Afstanden tot windturbine van referentiewoningen en toetspunten

Toetspunt	Adres	Afstand tot dichtstbijzijnde windturbine [m]
1	Rondeweiweg 22	1600
2*	Rondeweibos - plaats 285	1400
3*	Rondeweibos - plaats 715	1400
4*	Rondeweibos - plaats 734	1370
5	Duinweg 21	890
6	Duinweg 13	970
7	Duinweg 9	800
8**	Shamrock Inn	570
9	Duinweg 10	1070
10	Duinweg 20d - standplaats	1090
11	Duinweg 1	1050
12*	Strandpaviljoen Boelies	330
13	Haringvlietplein 1	2390

*: Dit betreft geen woning.

** : Ter plaatse van Shamrock Inn vindt tevens permanente bewoning plaats en wordt beschouwd als een geluidgevoelig object

Uit Tabel 2.1 kan worden opgemaakt dat de meest dichtbijgelegen woning op een afstand van ongeveer 570 m van de windturbines ligt (woning bij Shamrock Inn). De windturbines zijn gesitueerd op een afstand van ong. 3,8 km van de woonkern van Hellevoetsluis en 2,7 km van de woonkern van Rockanje. De eerste woning aan de zuidzijde van het Haringvliet ligt op ong. 2,4 km afstand (toetspunt 13 uit Tabel 2.1).

³ Akoestisch onderzoek en onderzoek naar slagschaduw windpark Haringvliet, 720128, 25-6-2021, Pondera Consult.

Figuur 2.2 Referentiewoningen, toetspunten en overige omliggende woningen



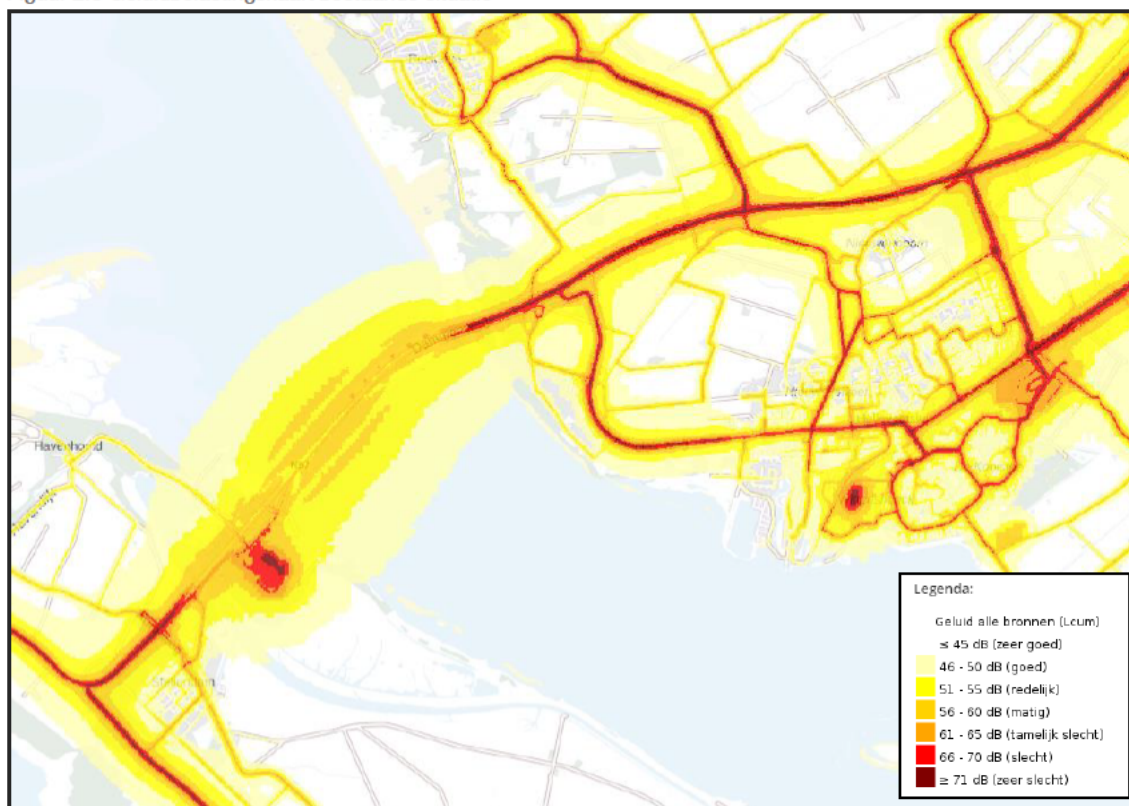
Recreatieverblijven

In de omgeving liggen meerdere recreatieterreinen, voornamelijk met recreatiewoningen en stacaravans. Op circa 1,1 km ten oosten van het windpark zijn camping de Quack, EuroParcs Resort Poort van Zeeland en Citta Romana gelegen. Ten noordoosten, op circa 1,4 km, ligt Molecaten Park Rondeweibos (afstanden zijn gemeten vanaf de windturbine tot de rand van de recreatieparken). Permanente bewoning van deze recreatieverblijven is op basis van het bestemmingsplan niet toegestaan.

2.2.2 Omgevingstype

Op basis van bovenstaande beschrijving wordt de omgeving van het windpark gekarakteriseerd als landelijk gebied, met voornamelijk vrij liggende bebouwing. Er is geen sprake van woonconcentraties in de nabijheid van de windturbines. De reeds aanwezige milieubelasting wordt voornamelijk veroorzaakt door de N57, recreatie, scheepvaart en de bestaande windturbines van windpark Haringvlietdam. Er is geen sprake van een stiltegebied direct rond de windturbines (de grens ligt op circa 1,1 kilometer vanaf de windturbines). De directe omgeving rond de windturbines betreft recreatiegebied, dat voornamelijk in de zomermaanden intensief gebruikt wordt (dagstrand). In Figuur 2.3 is een geluidbelastingskaart van de bestaande situatie opgenomen ter referentie.

Figuur 2.3 Geluidbelastingskaart bestaande situatie



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 op geluidbelastingskaarten 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 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 laatste 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 geluidsproductie gelijk. De windsnelheid is door het KNMI voor geheel Nederland op

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.

ashoogtes tussen 10 en 260 meter boven het maaiveld de windverdelingen beschikbaar gesteld. Met deze verdelingen kan een goede voorspelling per beoordelingsperiode worden gegeven van de te verwachten geluidbelasting op de omgeving.

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

In dit onderzoek is ervoor gekozen om desondanks specifiek de laagfrequente geluidbelasting inzichtelijk te maken aan de hand van de Vercammen-curve methode. In paragraaf 3.6.6 is dit verder uitgewerkt.

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 (slapeloosheid en geestelijke gezondheidseffecten) ontbreekt consistent bewijs. Onderzoek van Hongisto et al⁸ toonde aan dat voor geluidbelastingen tot 40 dB $L_{A,eq}$ de mate van ernstige hinder van een vergelijkbaar geluidniveau van windturbines tussen de 3 en 5 megawatt (hierna: MW) opgesteld vermogen overeenkomt met die van kleinere windturbines (0,15 – 3 MW)⁹. 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.

In 2018 heeft de Wereld Gezondheidsorganisatie (WHO) een rapport uitgebracht ten aanzien van geluidrichtlijnen voor verschillende geluidbronnen binnen de Europese Unie¹⁰. 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)¹¹. 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 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

⁹ Vanwege het gebrek aan hoeveelheid data van hogere geluidniveaus kan dit voor geluidniveaus boven 40 dB $L_{A,eq}$ niet worden bevestigd of ontkend.

¹⁰ Environmental Noise Guidelines for the European Region, WHO, 2018,

¹¹ 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), Janssen¹² et al uit 2011 en Kuwano¹³ et al uit 2014. De dosishinderrelatie van Janssen et al uit 2011 is dezelfde als het TNO-rapport uit 2008¹⁴ en is vastgesteld voor zowel hinder als ernstige hinder binnenshuis als buitenshuis. Tot op heden is deze dosishinderrelatie de enige die de ernstige hinder¹⁵ 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 buitenshuis^{16,17}. In onderstaande grafiek zijn de dosishinderrelaties (ernstige hinder, binnenshuis en

¹² 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

¹³ 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

¹⁴ 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

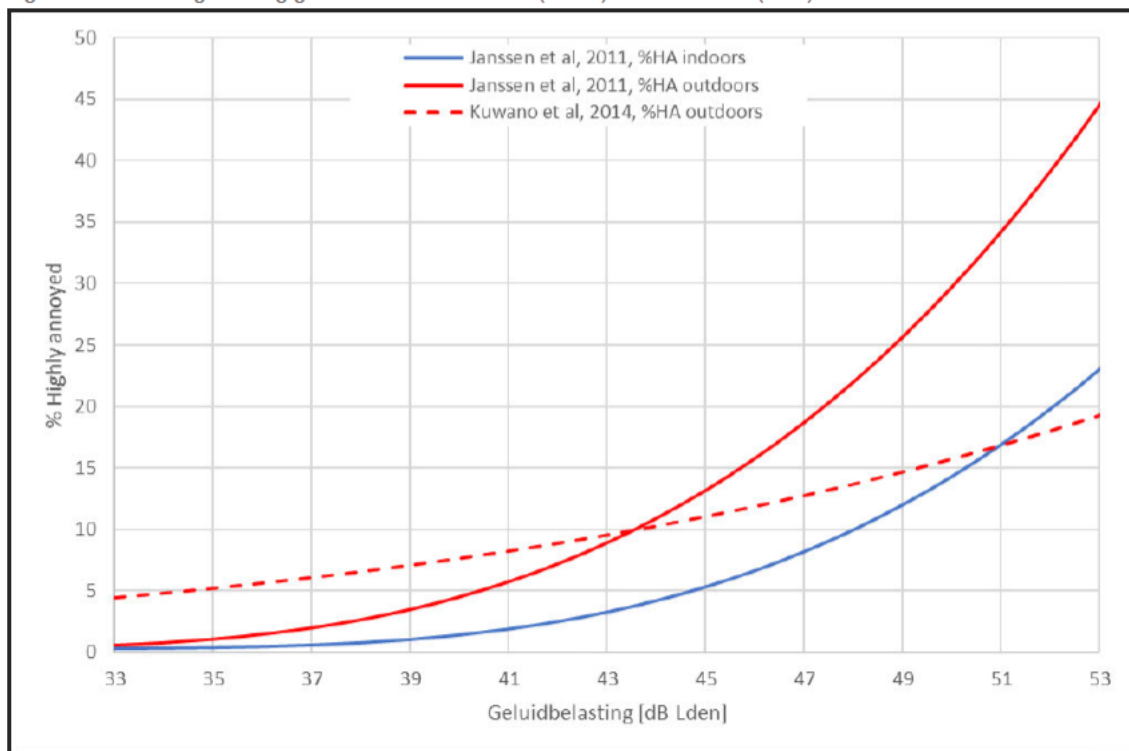
¹⁵ Volgens het TNO-rapport: “De verdeling van de hinderscores bij een gegeven geluidsniveau kan op verschillende manieren worden weergegeven. Vaak wordt het percentage antwoorden dat een zekere grens overschrijdt gerapporteerd. Als de grens 72 is op een 0-100 schaal, wordt het resultaat het percentage “ernstig gehinderde” personen (%HA: % Highly Annoyed) genoemd, de grens van 50 geeft het percentage “gehinderde” personen (%A: % Annoyed).”

¹⁶ 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

¹⁷ 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 op de gevel tussen 33 en 55 dB L_{den}.

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



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 ondervindt¹⁸. 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 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%¹⁹.

¹⁸ Brief van de minister van VROM, 31 209, nr 135, 28-9-2010

¹⁹ Zie o.a. Kamerbrief Staatssecretaris van EZK, 9 juni 2021; [DGKE-WO / 21119163](#)

Tabel 3.1 Verwacht percentage ernstig gehinderden voor verschillende geluidsbronnen²⁰

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 naar verwachting 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 gehinderden²¹.

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:

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

3.4 Alternatieven voor toetsingskader windturbinegeluid

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 dit windpark 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 windpark dient afgewogen te worden of het hanteren van deze normen voldoende bescherming biedt voor de omgeving in vergelijking met de baten van het windpark.

Voor het stellen van een andere soort van beschermingsmaat als geluidnorm (bijv. een bescherming bieden via het beperken van een geluidniveau omschreven als L₉₅, L_{aeq}, o.a.) dan de L_{den}-methodiek is er in deze geen aanleiding. Andere beschermingsmaten zijn namelijk niet voldoende vastgelegd / onderzocht in (wetenschappelijke) studies of onderbouwingen voor toepassing bij windturbinegeluid. Er is daardoor weinig bewijslast of onderzoek ten aanzien van de relatie met ervaren hinder aanwezig. Ook geeft de omgeving van het windpark (zie ook paragraaf 2.2) 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.

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

²¹ Brief van de StaS van Economische Zaken en Klimaat d.d. 9 juni 2021, DGKE-WO/21119163,

3.5 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 de Activiteitenregeling Milieubeheer 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 vergelijkbaar²² 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 gesteld²³ 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 windturbines²⁴. 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.

Kader 3.3 Invloed luchtvochtigheid op geluidbelasting

Een hogere luchtvochtigheid leidt tot een lagere absorptie en daarmee hogere geluidniveaus. In het Reken- en meetvoorschrift windturbines wordt gebruikt gemaakt van dezelfde meteorologische omstandigheden als die van de Handleiding meten en rekenen Industrielawaai (HMRI), hetgeen betekent een relatieve luchtvochtigheid van 80% en een temperatuur van 10 graden Celsius. De langjaargemiddelde luchtvochtigheid bij het dichtstbij gelegen KNMI meteostation Hoek van Holland bedraagt 80,8%, wat dus nagenoeg gelijk is aan de standaard luchtvochtigheid waar in de berekeningen van uit wordt gegaan. Enkele controleberekeningen met het rekenprogramma Geomilieu hebben aangetoond dat het verhogen of verlagen van deze relatieve luchtvochtigheid met 10% leidt tot circa 0,05 dB respectievelijk hogere of lagere geluidniveaus. Gezien de het geringe verschil tussen de langjaargemiddelde luchtvochtigheid bij KNMI meteostation Hoek van Holland en de uitgangspunten in de HMRI / het Reken- en meetvoorschrift windturbines en de geringe invloed op de geluidniveaus worden de standaard uitgangspunten als juist verondersteld.

²² CNOSSOS and industrial noise, R. Witte, DGMR, Euronoise 2018

²³ <https://rekentool.mp.nl/informatie.php>

²⁴ 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 de vergunningaanvraag 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 Haringvlietdam²⁵.

3.6 Lokale situatie in project WP Haringvlietdam

3.6.1 Reeds uitgevoerde onderzoeken

In het kader van de vergunningaanvraag voor WP Haringvlietdam is reeds een akoestisch onderzoek uitgevoerd. 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.

3.6.2 Referentiesituatie

In de referentiesituatie zijn er de zes bestaande windturbines op de Haringvlietdam. Deze zullen voor de realisatie van WP Haringvlietdam (de twee nieuwe windturbines) moeten worden gesaneerd. Voor het in beeld brengen van de effecten van de nieuwe windturbines wordt in dit onderzoek dus uitgegaan van de situatie waarbij de bestaande windturbines zijn gesaneerd en er twee nieuwe windturbines worden gerealiseerd.

3.6.3 Gevolgen WP Haringvlietdam

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 (luide) windturbinetype van WP Haringvlietdam (Nordex N163-5.X zonder 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 voor de vergunningaanvraag betreft een zeer luid windturbinetype om de maximale effecten inzichtelijk te maken.

In het plangebied en de omgeving zijn de gevoelige objecten bepaald als gedefinieerd in de Wet geluidhinder waarbij de geluidbelasting als gevolg van WP Haringvlietdam 37 dB L_{den} of meer bedraagt (het onderzoeksgebied). In dit onderzoeksgebied bevinden zich 105 woningen. Tevens bevindt zich een camping (Molecaten Park Rondeweibos) binnen het onderzoeksgebied. Hoewel campings niet worden beschermd tegen andersoortige geluidbronnen volgens de Wet geluidhinder, is ervoor gekozen om de geluidbelasting ter plaatse van de camping wel inzichtelijk te maken.

Maximale en minimale geluidniveaus en reductieopties

De maximale geluidbelasting bij woningen in dB L_{den} als gevolg van WP Haringvlietdam bedraagt (zonder toepassing van geluidemissie-reducerende voorzieningen en met toepassing van een 'worst case' windturbintype) 47 dB L_{den}. Een hogere geluidbelasting wordt daarmee dus ook niet onderzocht. Door een stiller windturbintype te realiseren, door toepassing van maatregelen als serrated edges of door de windturbines van WP Haringvlietdam in een stillere modus te laten draaien is het mogelijk om de geluidbelasting van WP Haringvlietdam te reduceren tot 45 dB L_{den}. Er is bewust gekozen om het maximale toegestane geluidniveau uit te werken tot niveaus van 45 dB L_{den} (dit is de adviesnorm van WHO). Voor het onderzoeken van een lagere geluidnorm dan deze advieswaarde van de WHO is, vanuit gezondheidsoverwegingen, geen aanleiding.

Door bepaalde windturbines van het windpark gedurende de hele etmaalperiode in een gereduceerde modus te laten draaien, is het mogelijk om de geluidbelasting op de omliggende geluidgevoelige objecten te reduceren tot waarden van maximaal 45 dB L_{den}. De configuratie van de windturbines om de geluidbelasting te reduceren tot 45 dB L_{den} is gegeven in Bijlage 3. Het toepassen van deze maatregel gaat echter wel ten koste van de energieproductie. Een alternatieve oplossing zou kunnen zijn om te kiezen voor een stiller windturbintype, of door de windturbinebladen te voorzien van zogeheten serrated edges.

Om het productieverlies te bepalen²⁶, is eerst de energieopbrengst van het windpark zonder toepassing van geluidmitigatie bepaald aan de hand van de powercurve van de windturbines en de windverdeling op ashoogte per turbintype. Vervolgens is de energieopbrengst van het windpark bepaald met de configuratie waarmee wordt voldaan aan de geluidnorm 45 dB L_{den}. Het procentuele productieverlies om te voldoen aan een strengere geluidnorm is gegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Verwachte productieverlies veroorzaakt door geluidmitigatie van WP Haringvlietdam

Scenario	Opbrengstverlies veroorzaakt door geluidmitigatie
Geen geluidmitigatie (max 47 dB L _{den})	0%
Tot 45 dB L _{den} mitigeren	3,4%

Bepaling aantal ernstig gehinderden binnenshuis

Volgens CBS²⁷ bedraagt de gemiddelde huishoudensgrootte in 2021 in de gemeente Hellevoetsluis 2,2 personen per huishouden. Per huishouden/woning is de geluidbelasting bepaald en op basis van de dosishinderrelatie uit het TNO-rapport het aantal ernstig gehinderden²⁸ binnenshuis bepaald (Highly annoyed) door het percentage te vermenigvuldigen met 2,2. Als voorbeeld: een woning ervaart een geluidbelasting van 47 dB L_{den}. Het percentage ernstig gehinderden dat hiermee correspondeert is 8,09%²⁹. Als 8,09% van 2,2 personen ernstige hinder ervaart van het windturbinegeluid, resulteert dat in een verwachting van 0,18 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

²⁶ Dit is een indicatie, berekeningen dienen als zodanig te worden geïnterpreteerd

²⁷ CBS Statline, geraadpleegd op 28-2-2022, onderwerp: Regionale kerncijfers Nederland, <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/70072ned/table?dl=62084>

²⁸ TNO-rapport: Hinder door geluid van windturbines, 2008-D-R1051/B, TNO, 2008

²⁹ In de brief van de Staatssecretaris bij invoering van de windturbinebepalingen in het Activiteitenbesluit staat 9% vermeldt. In dit onderzoek wordt uitgegaan van de nauwkeurigere waarden uit het TNO rapport.

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 105 woningen (inclusief woningen op recreatieparken waarin permanente bewoning is toegestaan). Vermenigvuldigd met de gemiddelde bezetting per huishouden betekent dit dat er circa 231 personen permanent in en rond het plangebied wonen (verder: de populatie). De effecten op deze populatie worden in de beschouwing van de verschillende scenario's vergeleken.

Het aantal personen dat ernstige hinder ervaart van WP Haringvlietdam zonder toepassing van geluidmitigatie (maximale geluidbelasting van 47 dB L_{den} op het dichtstbij gelegen geluidgevoelig object) is gegeven in Tabel 3.3. Tevens zijn de resultaten gegeven indien de maximale geluidbelasting van WP Haringvlietdam wordt gereduceerd naar 45 dB L_{den} op het dichtstbij gelegen geluidgevoelig object. Opgemerkt dient te worden dat het hier steeds gaat om een theoretische weergave van het aandeel van de bevolking dat ernstige hinder ondervindt en dat de beleving van deze hinder niet continu aanwezig is, maar zal optreden op momenten met heersende weersomstandigheden die een effect veroorzaken wat als hinderlijk wordt ervaren (o.a. afhankelijk van windsnelheid en -richting).

Tabel 3.3 Verwacht aantal ernstig gehinderden binnenshuis na realisatie van WP Haringvlietdam

Situatie	Ernstig gehinderd (binnenshuis)	
	Aantal	% van de populatie
Zonder geluidmitigatie (max. 47 dB L _{den})	2,3	1,0%
Tot 45 dB L _{den} mitigeren	1,2	0,5%

Uit bovenstaande tabel blijkt dat als WP Haringvlietdam wordt geëxploiteerd zonder toepassing van geluidvoorzieningen, met toepassing van een luide windturbine (worst case), het aantal personen binnen geluidgevoelige objecten dat ernstige hinder ervaart 2,3 bedraagt. Bij een maximale geluidbelasting van 45 dB L_{den} op omliggende woningen, daalt het aantal ernstig gehinderden naar 1,2 personen.

In Bijlage 4 is een vergelijkbare berekening gedaan voor het aantal gehinderden¹⁵.

3.6.4 Geluidbelasting ter plaatse van woningen

Woningen van derden

Voor WP Haringvlietdam zijn twee verschillende situaties onderzocht, maximaal 47 dB L_{den} (geen geluidmitigatie van WP Haringvlietdam) en een situatie bij een normstelling van maximaal 45 dB L_{den}. Voor deze verschillende scenario's is voor de 105 woningen in de omgeving de geluidbelasting in dB L_{den} bepaald en gecategoriseerd weergegeven in onderstaande tabel.

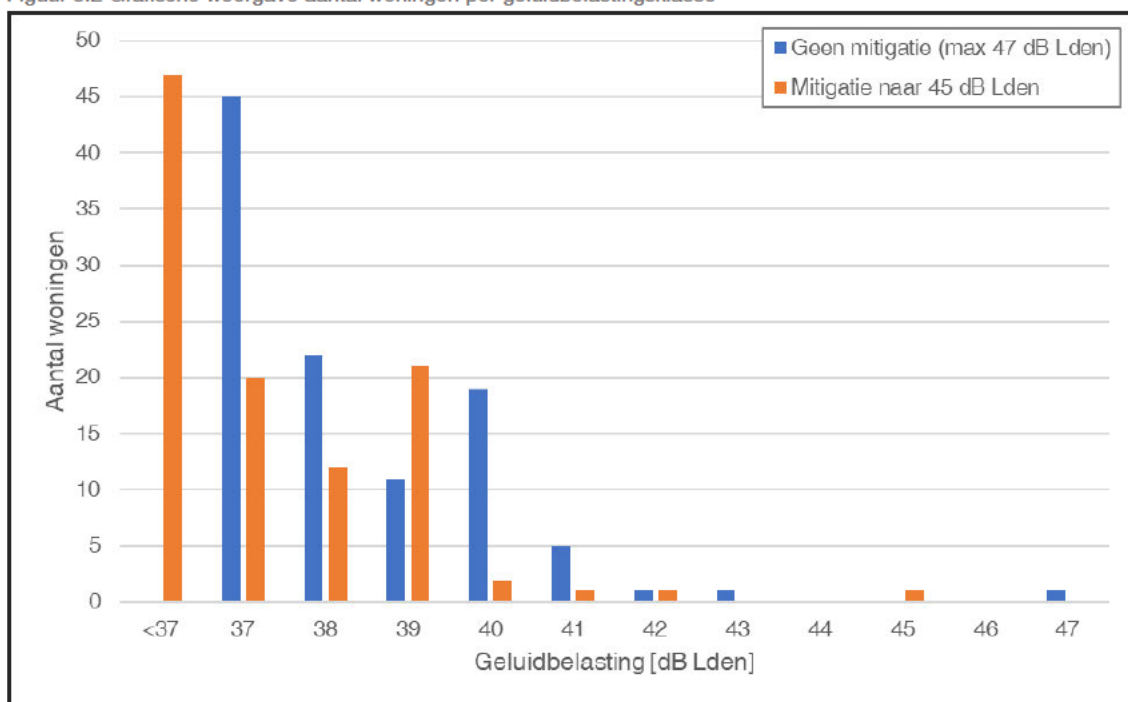
Tabel 3.4 Aantal woningen per geluidbelasting in dB L_{den}

Geluidbelasting dB L _{den}	Geen mitigatie max 47 dB L _{den}	Mitigatie naar 45 dB L _{den}
<37	0	47
37	45	20
38	22	12
39	11	21

40	19	2
41	5	1
42	1	1
43	1	0
44	0	0
45	0	1
46	0	0
47	1	0
Totalen	105	105

Bovenstaande informatie is tevens grafisch weergegeven in Figuur 3.2.

Figuur 3.2 Grafische weergave aantal woningen per geluidbelastingsklasse



Uit Tabel 3.4 en Figuur 3.2 kan worden opgemaakt dat zowel zonder geluidmitigatie als bij een strengere normering van 45 dB Lden slechts 1 van de 105 beschouwde woningen een geluidbelasting van 45 dB Lden of hoger ervaart. Daarnaast blijkt uit de tabel dat 92% (97 van de 105 woningen) een geluidbelasting van 40 dB Lden 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 Lden.

Camping Molecaten Park Rondeweibos

Nabij windpark Haringvlietdam is 'Molecaten Park Rondeweibos' gelegen. Hoewel campings en recreatiewoningen niet worden beschermd voor andersoortige geluidbronnen, is het wel een terrein waar mensen gedurende langere perioden (met name in de zomer) kunnen verblijven en de effecten kunnen

ervaren van de windturbines. De geluidbelasting ter plaatse van de camping is daarom inzichtelijk gemaakt ter indicatie van het akoestische klimaat. De geluidbelasting op drie locaties op het campingterrein is inzichtelijk gemaakt en gegeven in Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Geluidbelasting in dB L_{den} ter plaatse van twee locaties op het terrein 'Rondewe bos'

Adres	Geen mitigatie max 47 dB L_{den}	Mitigatie naar 45 dB L_{den}
Rondeweibos - plaats 285	37	36
Rondeweibos - plaats 715	37	36
Rondeweibos - plaats 734	37	36

Uit deze tabel blijkt dat de optredende geluidbelasting op de camping zeer laag is (circa 37 dB L_{den}). In de nachtperiode betekent dit circa 31 dB L_{night} . Bij dergelijke lage waarden zijn geen nadere maatregelen nodig aangezien het windturbinegeluid vrijwel altijd zal worden overstemd door het aanwezige achtergrondgeluid³⁰.

Ontwikkellocatie nabij WP Haringvlietdam

Naast windturbine 02 van het te realiseren WP Haringvlietdam is een ontwikkellocatie gesitueerd. Op de rand van deze locatie is een toetspunt gemodelleerd om inzicht te krijgen in de maximale geluidniveaus die ter plaatse van het terrein verwacht kunnen worden als gevolg van de windturbines en als gevolg van het wegverkeer. De geluidbelastingen per beoordelingsperiode zijn hieronder weergegeven in Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Geluidniveaus ter plaatse van de ontwikkellocatie (rand aan de kant van de windturbine)

Geluidbron	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
Wegverkeer N57	59	55	52	60
Winpark Haringvlietdam	50	51	51	57

Voor de ontwikkellocatie is voornamelijk het jaargemiddelde geluidniveau L_{day} relevant, gezien er in de avond- en nachtperiode weinig tot geen aanwezigheid van personen wordt verwacht. In de dagperiode is jaargemiddelde geluidniveau als gevolg van WP Haringvlietdam 50 dB L_{day} wanneer zeer luide windturbines worden gerealiseerd. Dit is 9 dB lager dan het jaargemiddelde geluidniveau van de N57. Wanneer er een stiller turbintype wordt gerealiseerd zal het verschil groter zijn en wordt het windturbinegeluid voor een groot deel overstemd door het wegverkeerslawaai van de N57.

3.6.5 Cumulatieve geluidbelasting

Naast het beschouwen van enkel het windturbinegeluid, is eveneens gekeken naar de invloed van de windturbines op de cumulatieve geluidbelasting ter plaatse van geluidgevoelige objecten. Hoewel met name in de zomerperiode ook sprake zal zijn (overdag) van geluid als gevolg van recreatie, is voor deze situatie is enkel het wegverkeerslawaai van de N57 beschouwd. Om de cumulatieve geluidbelasting te berekenen is gerekend met de rekenregels zoals die zijn beschreven in hoofdstuk 4 van het Reken- en meetvoorschrift windturbines³¹.

³⁰ Zie o.a. Geluidbelasting in het landelijk gebied; RIVM rapport 718401001/2002, waarin 40-45 dB(A) L_{Aeq} als maat wordt genomen voor de nachtperiode voor kampeerterreinen.

³¹ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0022830/2021-10-16#Bijlage4>

Tabel 3.7 Aantal woningen per cumulatieve geluidbelastingsklasse

Geluidbelastingsklasse	Wegverkeer + bestaande windturbines	Wegverkeer + nieuwe windturbines max 47 dB L _{den}	Wegverkeer + nieuwe windturbines max 45 dB L _{den}
≤ 50 dB L _{cum} (goed)	91	89	90
51 – 55 dB L _{cum} (redelijk)	6	7	6
56 – 60 dB L _{cum} (matig)	6	7	7
61 – 65 dB L _{cum} (tamelijk slecht)	2	2	2
> 65 dB L _{cum} (slecht)	0	0	0
Totaal	105	105	105

In bovenstaande Tabel 3.7 wordt duidelijk dat ter plaatse van het overgrote deel van de woningen binnen het invloedsgebied er geen verslechtering optreedt als gevolg van de realisatie van de twee windturbines. Bij circa 85% van de woningen is en blijft de cumulatieve geluidbelasting kleiner of gelijk aan 50 dB L_{cum} (goede akoestische kwaliteit). Bij een normstelling van 47 dB L_{den} verslechtert de geluidbelastingsklasse van 3 woningen. Bij een normstelling van 45 dB L_{den} zijn dit 2 woningen. Geen van de woningen komt als gevolg van de plaatsing van de windturbines in de categorie 'slecht' of 'tamelijk slecht'.

3.6.6 Laagfrequent geluid

In kader 3.1 is al ingegaan op de effecten van laagfrequent geluid van windturbines. In deze paragraaf wordt een berekening gemaakt van de gevolgen van laagfrequent geluid van windpark Haringvlietdam. Dit is gedaan door een aanvullende berekening uit te voeren om specifiek de laagfrequente geluidniveaus inzichtelijk proberen te maken en te toetsen aan de Vercammen-curve. Voor het maken van deze berekening is specifieke informatie (de geluidbelasting per tertsbands) nodig over de geluidemissie van de windturbines. Omdat voor de Nordex N163-5.X deze gedetailleerde geluidgegevens niet beschikbaar zijn, is de LFG-berekening uitgevoerd met een Vestas V162-6.2MW, waar deze geluidniveaus per tertsbands wél van bekend zijn. De Vestas V162-6.2MW windturbines hebben een maximaal bronvermogen van 107,6 dB(A) (zonder serrated edges)³². Dit is dus lager dan de genoemde Nordex windturbine.

Voor wat betreft laagfrequent geluid is getoetst aan de Vercammen curve. Bij geluidniveaus rond deze curve ondervindt circa 3-10% van de doorsnee bevolking hinder als gevolg van specifiek laagfrequent geluid. Bij de toetsing aan de Vercammen-curve is uitgegaan van een conservatieve (lage) geveldemping, zie hieronder Tabel 3.8. De geveldemping, waarmee de gevelbelasting wordt omgerekend naar een binnenniveau, gaat uit van een 15 dB reductie bij 100 Hz en 125 Hz, 16 dB bij 160 Hz en loopt af naar lagere frequenties met 3 dB per octaaf³³. De reductie is hieronder weergegeven. De hier gehanteerde geveldemping wordt als een conservatieve/lage geveldemping verondersteld³⁴. Dit betekent dat er ook woningen zijn met een afwijkende geveldemping waarbij de binnenniveaus anders kunnen zijn.

³² Het realiseren van Vestas V162-6.2MW windturbine leidt tot een geluidbelasting van maximaal 45 dB L_{den} nabij omliggende woningen.

³³ Laagfrequent geluid in de omgeving van industrieterrein Lage Weide ten behoeve van mogelijke ontwikkeling windturbines. Peutz, FA 20267-3-RA-002, 15-5-2013

³⁴ In andere bronnen worden hogere geveldempingen geconstateerd, zoals in bijv. "Laagfrequent geluid Oriënterende studie naar de ontwikkeling van laagfrequent geluid in Nederland", LBP SIGHT, R056087aa.00001.tc, 21-7-2017 of "Bekendtgørelse om støj fra vindmøller", Deense overheid, 7-2-2019

De geluidniveaus (octaafbanden van 31 t/m 125 Hz) zijn berekend op de gevel. Vervolgens zijn de octaafbanden teruggerekend naar terts-niveaus en is een geveldemping per terts toegepast. Er is gerekend met de spectrale verdeling die optreedt bij een windsnelheid van 20 m/s. De hoeveelheid laagfrequent geluid is bij deze windsnelheid het hoogst (ondanks dat dergelijke windsnelheden erg weinig voorkomen). Wanneer bij deze windsnelheid het geluidniveau niet boven de Vercammen-curve komt, zal dat bij lagere windsnelheden ook niet het geval zijn.

Tabel 3.8 Geveldemping voor toets aan Vercammen-curve

Frequentie [Hz]	10	12	16	20	25	31	40	50	63	80	100	125	160
Reductie [dB]	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15	16

De geluidbelasting van de laagfrequente frequentiebanden ter plaatse van Shamrock Inn, het maatgevende object waar bewoning plaatsvindt, per octaafband bij een windsnelheid van 20 m/s is hieronder weergegeven. Ook de omrekening naar de geluidbelasting per terts is weergegeven. In de tabel is tevens de omrekening van binnenniveau in dB(A) naar dB ongewogen weergegeven.

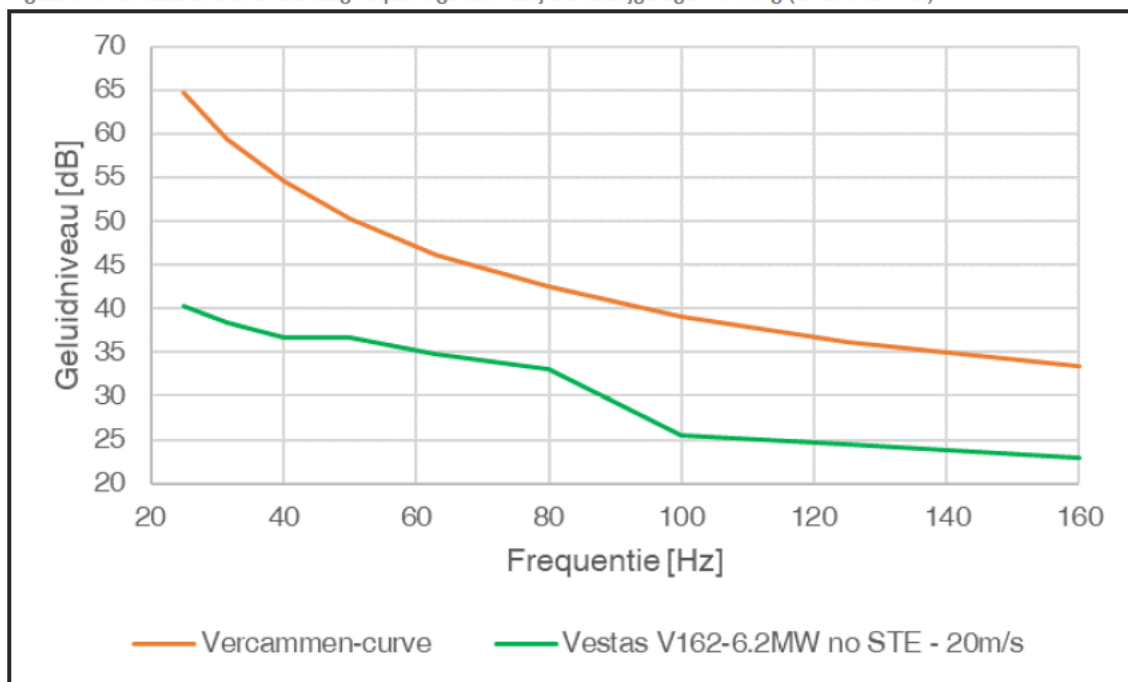
Tabel 3.9 Niveaus binnenshuis maatgevende woning met Vestas V162-6.2MW windturbines zonder serrated edges

Freq (octaaf) [Hz]	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
Geluidniveau [dB(A)] (per octaaf)	14,86			27,03			28,57		
Geluidniveau [dB(A)] (per terts)	4,56	8,96	13,06	18,43	21,63	24,63	21,37	23,47	25,47
Geveldemping [dB]	9	10	11	12	13	14	15	15	16
Binnenniveau [dB(A)]	-4,44	-1,04	2,06	6,43	8,63	10,63	6,37	8,47	9,47
Binnenniveau [dB]	40,26	38,36	36,66	36,63	34,83	33,13	25,47	24,57	22,87
Vercammen-curve [dB]	64,7	59,4	54,6	50,2	46,2	42,5	39,1	36,1	33,4

De onderste twee rijen van deze tabel geven de belangrijkste resultaten. Indien het niveau binnenshuis (in dB) ruim beneden de Vercammen curve (in dB) blijft kan worden geconcludeerd dat onaanvaardbare hinder als gevolg van laagfrequent geluid niet te verwachten is.

Ter illustratie zijn bovenstaande resultaten samengevat in onderstaand Figuur 3.3. Dit is de situatie voor de dichtstbijgelegen woning (bij Shamrock Inn). Voor woningen op grotere afstand zal de optredende belasting (groene lijn) nog lager liggen.

Figuur 3.3 Niveaus binnenshuis laagfrequent geluid nabij dichtstbijgelegen woning (Shamrock Inn)



Uit de berekening blijkt dat binnen de woning bij Shamrock Inn de Vercammen-curve niet wordt overschreden (ten minste 9 dB onder de curve) en dat op geen ernstige hinder als gevolg van laagfrequent geluid wordt verwacht. Bij andere woningen op grotere afstanden zijn de optredende geluidniveaus nog lager, waardoor ook daar ernstige hinder als gevolg van laagfrequent geluid niet aannemelijk is. Gezien de grote verschillen tussen de optredende niveaus en de Vercammen-curve is ook bij een ander windturbintype het niet aannemelijk dat deze alsnog wordt overschreden.

Kader 3.4 Ondergrens toetsing Vercammen-curve

De Vercammen curve wordt meestal vanaf 25 Hz gehanteerd omdat dit de tertsband is waarvoor van windturbines nog geluidemissiegegevens beschikbaar zijn (door fabrikanten). Lagere niveaus worden bij het vaststellen van het bronvermogen eigenlijk nooit gegeven (omdat dit niet vereist is voor certificering van de turbines). Er is ook geen aanleiding om te veronderstellen dat de niveaus beneden 25 Hz ineens heel erg hoog zijn. Dit blijkt uit metingen aan windturbines waarbij wel naar deze frequenties is gekeken.

Infrasoon geluid

Infrasoon geluid is geluid (of trillingen) met een frequentie tussen de 0,001 en 20 Hz. Health Canada heeft in de periode 2012-2015 uitgebreid onderzoek uitgevoerd³⁵ naar de gezondheidseffecten van windturbines. In het onderzoek zijn 1.238 huishoudens betrokken. Infrason geluid bleek soms tot op een grote afstand van de windturbines meetbaar te zijn. Het geluid was echter lager dan het aanwezige infrason geluid van het heersende omgevingsgeluid. De infrason geluidniveaus bij de voet van de windturbine liggen rond de gehoordrempel zoals gerapporteerd door 1% van de meest gevoelige mensen.

³⁵ <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/health-risks-safety/radiation/everyday-things-emit-radiation/wind-turbine-noise/wind-turbine-noise-health-study-summary-results.html>

Op het 'International Conference on Wind Turbine Noise 2017' zijn onderzoeken over infrason geluid gepresenteerd. Uit onderzoek van L. Hermann et al. bleek dat infrason geluid van technische en natuurlijke bronnen alom aanwezig is, maar dat de bijdrage van windturbines ondergeschikt is en onder de waarneemdrempel ligt. Onderzoeker G. Leventhall meldde dat het infrason geluid van windturbines onder het niveau ligt van infrason geluid dat het lichaam intern zelf produceert.

3.6.7 Effecten tijdens de nachtperiode

Omdat windturbinegeluid met name in de nachtperiode als hinderlijk kan worden ervaren is – mede op verzoek van de initiatiefnemer – de invloed van de normstelling op het geluidniveau gedurende de nachtperiode (tussen 23:00 en 7:00u) specifiek inzichtelijk gemaakt. Zoals in paragraaf 3.6.4 het aantal woningen per geluidbelasting in dB L_{den} is weergegeven, is eenzelfde analyse uitgevoerd voor het jaargemiddelde geluidniveau, maar dan specifiek voor de nachtperiode, in dB L_{night} .

Tabel 3.10 Aantal woningen per klasse jaargemiddeld geluidniveau dB L_{night}

Jaargemiddeld geluidniveau dB L_{night}	Geen mitigatie max 47 dB L_{den}	Mitigatie naar 45 dB L_{den}
<30	0	21
30	19	38
31	37	12
32	14	14
33	13	17
34	18	0
35	1	1
36	1	1
37	1	0
38	0	0
39	0	1
40	1	0
41	0	0
Totalen	105	105

De resultaten in Tabel 3.10 laten zien dat het maximale jaargemiddelde geluidniveau als gevolg van de realisatie van WP Haringvlietdam 40 dB L_{night} bedraagt. Bij een strengere normering van 45 dB L_{den} is het maximale jaargemiddelde geluidniveau in de nachtperiode 39 dB L_{night} . Het verschil tussen de geluidbelasting in dB L_{den} en jaargemiddeld geluidniveau in de nachtperiode in dB L_{night} bedraagt 6,3 dB³⁶.

Hoewel er geen specifieke wetenschappelijk onderbouwde aanbeveling bestaat voor de nachtelijke geluidbelasting van windturbines geeft de WHO in een algemeen advies over nachtelijke geluidbelasting aan dat een geluidniveau van L_{night} 40 dB of lager voor geluidbronnen in het algemeen een wenselijke

³⁶ In verband met afronding komen de getallen daarom niet helemaal overeen met de getallen zoals die in Tabel 3.4 zijn weergegeven voor de geluidbelasting in dB L_{den} .

grens is om gevolgen voor de gezondheid uit te kunnen sluiten³⁷. Windpark Haringvlietdam voldoet daar (zonder maatregelen) reeds aan.

3.6.8 Energieverliezen als gevolg van lagere geluidnorm

Om de lagere geluidbelastingen op de gevel van omliggende woningen te kunnen realiseren bij geluidnorm van 45 dB L_{den} zijn mitigerende maatregelen nodig. Omdat er nog geen turbinekeuze gemaakt is, en er gerekend is met luide windturbines, zijn de berekende verliezen een conservatieve inschatting. Het kiezen van een stillere windturbine of het toepassen van maatregelen (serrated edges) kan ook een lagere geluidbelasting realiseren, zonder dat daarbij energieopbrengstverliezen aan de orde hoeven te zijn. Daarnaast is het mogelijk om bijvoorbeeld enkel in de nachtperiode maatregelen te nemen. Dergelijke optimalisaties zijn niet onderzocht, er is enkel een conservatieve inschatting gemaakt van de verliezen voor het worst-case windturbintype uit de vergunningaanvraag. In onderstaande tabel is weergegeven welke gevolgen er optreden voor de verwachte energieproductie van het windpark bij uitvoering van de twee verschillende geluidnormen, uitgaande van het 'worst case' windturbintype.

Tabel 3.11 Energieopbrengstverlies als gevolg van mitigerende maatregelen bij strengere normstelling

Scenario	Productieverlies veroorzaakt door geluidmitigatie
Geen geluidmitigatie (max 47 dB L _{den})	0%
Tot 45 dB L _{den} mitigeren	3,4%

In de worst case situatie (luide windturbine in een andere geluidmodus laten opereren) zou een lagere norm tot maximaal circa 3,4% energieproductieverlies kunnen leiden.

³⁷ WHO, 2009; Night noise guidelines for Europe, ISBN 978 92 890 4173 7

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 zonneshij. 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 zonneshijnduur.

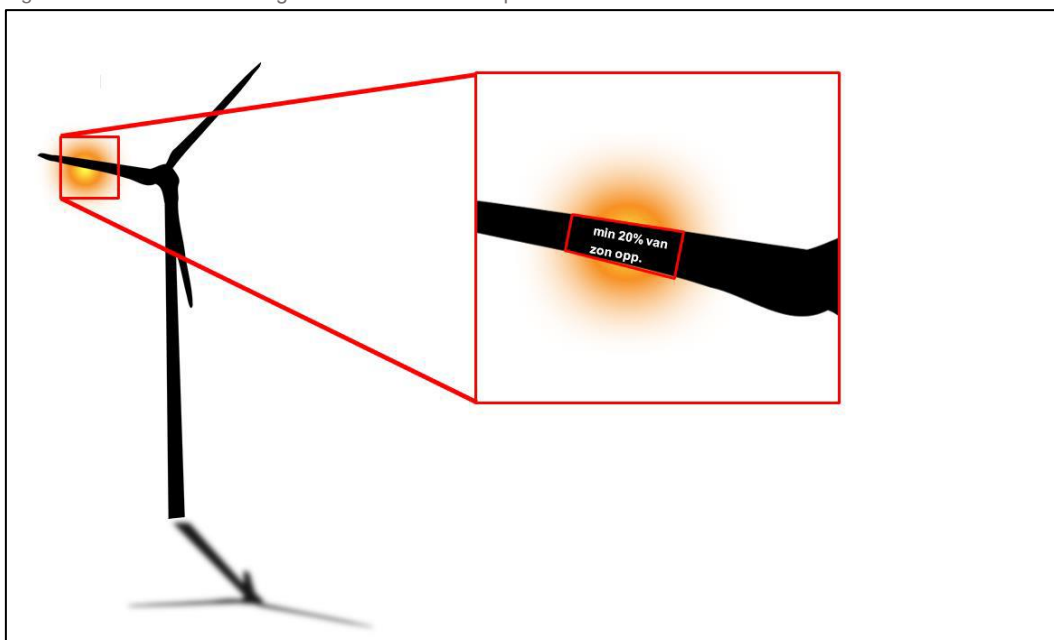
4.2 Achtergrond: inzichtelijk maken van slagschaduw

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 schaduw³⁸;

Figuur 4.1 Minimale afdekking als voorwaarde voor optreden 'schaduw'



³⁸ 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 optreden³⁹;
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 3.5). 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. Ook kan afscherming door bijvoorbeeld beplanting of bebouwing ervoor zorgen dat er geen schaduw op kan treden.

Het Activiteitenbesluit gaat ervan uit dat een slagschaduwgevoelig object hetzelfde is als een geluidgevoelig object, conform art.1 van de Wet geluidhinder. In de praktijk blijkt echter dat dit niet helemaal toereikend is. Voor de definitie van een slagschaduwgevoelig object of terrein maken we in dit onderzoek daarom 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 of terreinen:

Overige objecten of terreinen voor zover personen in een ruimte binnen dit object of op dit terrein 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.

³⁹ 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 leefomgeving⁴⁰. 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 licht⁴¹. 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.

⁴⁰ Pohl, J, Faul, F, & Mausfeld, R; Belästigung durch periodischen schattenwurf von Windenergieanlagen, 1999.

⁴¹ 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 al⁴², 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 het Activiteitenbesluit is opgenomen dat maximaal 17 dagen per jaar meer dan 20 minuten slagschaduw mag optreden. Dit werd in de praktijk veelal vertaald naar een maximale slagschaduwduur van 6 uur per jaar op een slagschaduwgevoelig object. 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 Canada⁴³ 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

⁴² Koppen, E., et al, 2017; International Legislation and Regulations for Wind Turbine Shadow Flicker Impact

⁴³ <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 windturbines⁴⁴.

Tabel 4.2 Mate van ernstige hinder bij verschillende aangesloten blootstellingsduren⁴⁵

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 waarop meer dan een bepaalde slagschaduwduur per dag kan optreden. In Bijlage 8 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. Hier wordt verderop in dit onderzoek dan ook vanuit gegaan.

Tot slot wordt opgemerkt dat verscheidene landen een bruto slagschaduwnorm⁴⁶ 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 invloed⁴⁷. 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.

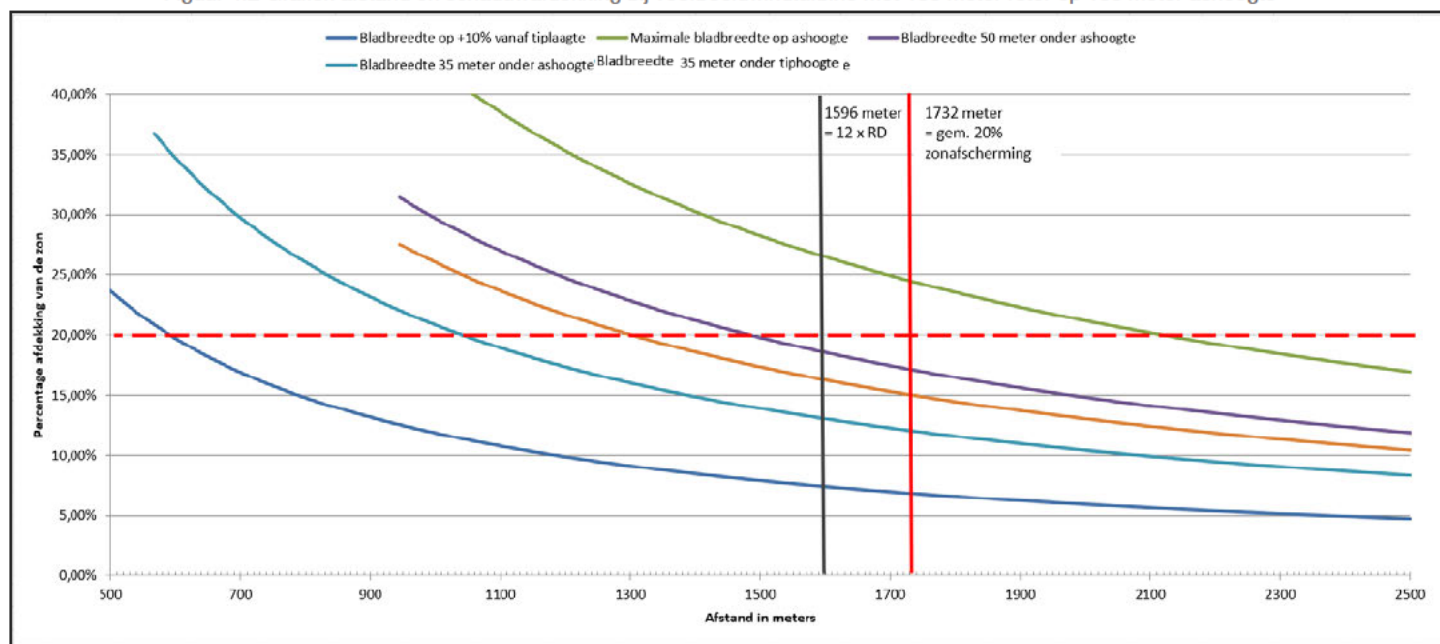
⁴⁴ De onderzoekers geven aan dat de gepresenteerde dosis effectrelatie minder significant is, wanneer enkel naar slagschaduw onafhankelijk van geluidbelasting wordt gekeken.

⁴⁵ 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

⁴⁶ 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.

⁴⁷ 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 voorbeeldwindturbine met 133 meter rotor op 135 meter ashoogte⁴⁸



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

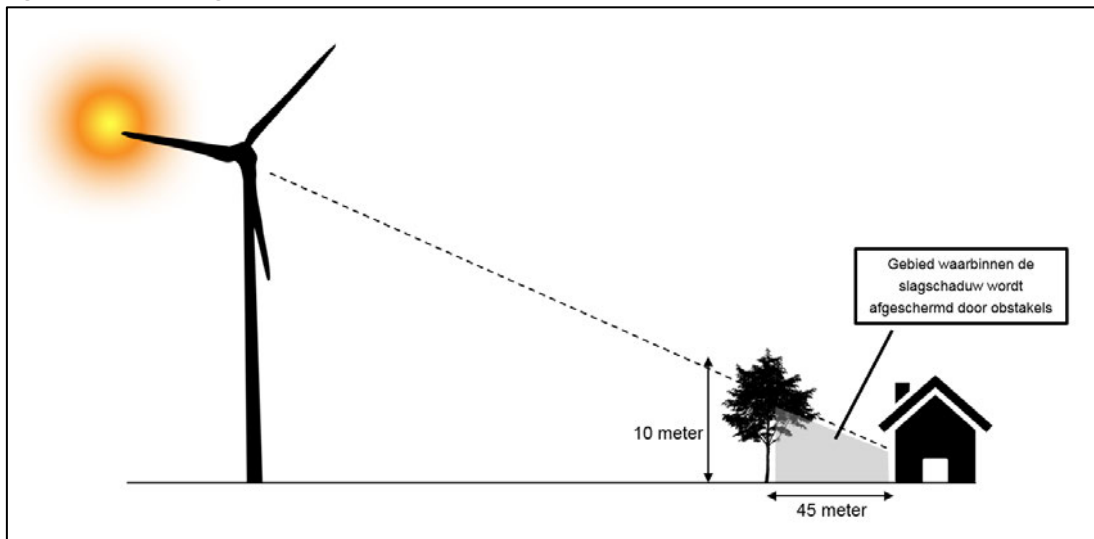
In de rekenmodellen die worden gehanteerd om slagschaduw te bepalen wordt ervan uitgegaan dat er altijd een 'line of sight' bestaat tussen de windturbine en de gevel van een gevoelig object of het schaduwgevoelige terrein. Dit betekent dat afscherming door bijvoorbeeld andere gebouwen of bomen niet wordt 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

⁴⁸ 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.

het algemeen snel optreden. Door de afstand waarop slagschaduw wordt beoordeeld te begrenzen is echter al deels rekening gehouden met dit effect. Voor windpark Haringvlietdam speelt dit bijvoorbeeld een rol bij de woningen aan de Duinweg, waar direct aan de overzijde van de weg een bosgebied ligt en er sprake is van een hoogteverschil (de woningen liggen iets lager, achter het duingebied).

Figuur 4.3 Afscherming effect



4.4 Lokale situatie in project WP Haringvlietdam

4.4.1 Onderzoeksopzet

De slagschaduwberekeningen zijn uitgevoerd met het softwareprogramma windPRO versie 3.5.552⁴⁹. Voor de windturbines van WP Haringvlietdam is uitgegaan van fictieve windturbines met een rotordiameter van 165 m op een ashoogte van 117,5 m (worst case). De tiphoogte bedraagt 200 m. Met een maximale rotatiesnelheid van 9,3⁵⁰ is de frequentie van slagschaduw (lichtflikkering) maximaal 0,5 Hz.

Voor de slagschaduwberekeningen is de slagschaduw meegenomen die optreedt bij een zonnestand van minimaal 5 graden boven de horizon. Dit betekent dat resultaten met een zonnestand onder de 5 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 5 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.

⁴⁹ 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.

⁵⁰ Op basis van de Vestas V162-6.0MW:

RPM Curves EnVentus™ V162-6.0 MW 50/60 Hz, Document no.: 0098-0873 V00, 2020-10-08.

- 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'.

De overige slagschaduwgevoelige objecten zijn gebaseerd op de data beschikbaar in de BAG-database. 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 (zonneshijn en windrichting) wordt gebruik gemaakt van gegevens van het nabijgelegen KNMI-meteostation Hoek van Holland.

4.4.2 Referentiesituatie

De bestaande zes windturbines van Haringvlietdam worden vervangen door de twee nieuw op te richten windturbines. Er is in de bestaande situatie weliswaar sprake van enige slagschaduw, echter gezien de afmetingen van de bestaande windturbines reikt deze schaduw niet tot nabijgelegen gevoelige objecten.

4.4.3 Resultaten berekeningen WP Haringvlietdam

Het gebied waarin slagschaduw veroorzaakt door WP Haringvlietdam als hinderlijk waarneembaar kan zijn, ligt binnen een afstand van 2.050 meter (uitgaande van een V162-5.6MW windturbine⁵¹). In totaal liggen in dit gebied 292 objecten die als slagschaduwgevoelig worden aangemerkt (woningen).

Binnen een afstand van 2.050 meter liggen 379 overig slagschaduwgevoelige objecten of terreinen. Hiervan zijn zes objecten een horeca bedrijf. Twee hiervan, namelijk Restaurant De Houten Paardjes en Zoet of Zout, bevinden zich buiten het slagschaduwgebied en zullen dus geen slagschaduw ontvangen van de windturbines. De andere vier horeca bedrijven, namelijk Boelies, Shamrock Inn, Restaurant Duinhoek en Friends 'n Bites, bevinden zich wel in het slagschaduwgebied van de windturbines. Hierbij zijn restaurant Duinhoek en Friends 'n Bites gelegen op het terrein van de recreatieverblijven Europarcs Resort Poort en Citta Romana. Voor deze vier horeca bedrijven worden de slagschaduwduren apart inzichtelijk gemaakt, gezien de tijds- en seizoensgebonden functie van deze objecten.

Tevens is het vakantiepark Rondeweibos gelegen in het onderzoeksgebied van de windturbines (in het totale aantal overig slagschaduwgevoelige objecten is deze meegeteld als één object). Ook voor dit

⁵¹ De Vestas V162-5.6MW heeft een maximale bladbreedte van 4,5 m en bladbreedte op 90% radius van 1,5 m.

Gevolgen voor woningen

Als gevolg van WP Haringvlietdam wordt bij 264 van de 292⁵² woningen in de omgeving daadwerkelijk slagschaduw ondervonden. Voor alle woningen bij elkaar opgeteld is de maximale jaarlijkse slagschaduwduur zonder toepassing van mitigerende maatregelen ongeveer 706 uur. De maximale blootstellingsduur per dag bedraagt voor de meeste woningen tussen de 10 en 20 minuten slagschaduw op één dag. In onderstaande tabel zijn de woningen opgedeeld in aantal woningen waar een bepaalde slagschaduwduur wordt verwacht.

Tabel 4.4 aantal woningen binnen 2.050 meter met bepaalde verwachte netto slagschaduwduur per jaar

Aantal uur slagschaduw per jaar	Aantal woningen
Geen slagschaduw	28
0-1 uur	63
1-2 uur	46
2-3 uur	63
3-4 uur	44
4-5 uur	19
5-6 uur	22
6-7 uur	3
7-8 uur	1
8-9 uur	1
9-10 uur	0
> 10 uur	2
Totalen	292

Uit deze tabel blijkt dat ruim 97% van de woningen gelegen binnen 2.050 m van de windturbines (285 van de 292) jaarlijks < 6 uur slagschaduw ontvangt, zonder dat een stilstandvoorziening in werking is. Voor slechts 7 woningen is de verwachting dat er jaarlijks meer dan 6 uur slagschaduw optreedt. Hierbij is nog geen rekening gehouden met de afschermende werking van bijvoorbeeld het duinbos.

Overige slagschaduwgevoelige objecten: logies

Bij 530 van de van de 548 overige slagschaduwgevoelige objecten (in dit geval objecten met logiesfunctie, voornamelijk recreatiewoningen) wordt slagschaduw ondervonden als gevolg van WP Haringvlietdam. De totale jaarlijkse slagschaduwduur bij deze overige slagschaduwgevoelige objecten bedraagt ongeveer 1.484 uur.

Deze slagschaduwduur is de totale slagschaduwduur gedurende het hele jaar opgeteld voor alle betrokken objecten. Hierdoor zal een deel ervan optreden op momenten dat er niemand aanwezig is op de betreffende locatie. Dit is bijvoorbeeld het geval buiten het hoogseizoen, wanneer de bezettingsgraad van de logies lager zal zijn en de logies gedurende meerdere dagen/weken niet in gebruik zijn. Indien er geen mensen aanwezig zijn in de logies, wordt op deze momenten bij de logies geen hinder ervaren als gevolg

⁵² 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.

van slagschaduw. Hierdoor zal de totale slagschaduwduur die in de omgeving als hinderlijk wordt ervaren verschillen van de hierboven genoemde 1484 uur.

Tabel 4.5 aantal overige objecten (logies) binnen 2.050 meter met bepaalde verwachte netto slagschaduwduur per jaar

Aantal uur slagschaduw per jaar	Aantal objecten
Geen slagschaduw	18
0-1 uur	108
1-2 uur	106
2-3 uur	66
3-4 uur	89
4-5 uur	118
5-6 uur	30
6-7 uur	9
7-8 uur	4
8-9 uur	0
9-10 uur	0
> 10 uur	0
Totalen	548

Uit deze tabel blijkt dat ruim 97% van de overige slagschaduwgevoelige objecten (535 van de 548) jaarlijks < 6 uur slagschaduw ontvangt, zonder dat een stilstandvoorziening in werking is. Voor slechts 13 overige slagschaduwgevoelige objecten met logies functie (recreatiewoningen, zonder permanente bewoning) is de verwachting dat er jaarlijks meer dan 6 uur slagschaduw optreedt (maximaal circa 8 uur).

Overige slagschaduwgevoelige objecten: horecabedrijven

Ter plaatse van de vier horecabedrijven (Boelies, Shamrock Inn, Restaurant Duinhoek en Friends 'n Bites) kan slagschaduw optreden. Gezien de seizoens- en tijdsgebonden functie van deze horecabedrijven kunnen er momenten zijn waarop slagschaduw plaatsvindt, maar waarbij geen hinder wordt ondervonden, omdat er geen mensen aanwezig zijn. Als gevolg hiervan moet worden bepaald in welke mate deze objecten door slagschaduw worden beïnvloed op een wijze dat dit de functie beperkt, hindert of onmogelijk maakt.

Voor de dichtbijgelegen horecabedrijven Boelies en Shamrock Inn is apart inzichtelijk gemaakt wanneer in het jaar slagschaduw optreedt als gevolg van de windturbines. De slagschaduwkalenders voor Boelies en Shamrock Inn zijn gegeven in Bijlage 6.

In de slagschaduwkalender is te zien dat bij Boelies slagschaduw optreedt van februari t/m juni en van midden juli t/m begin november. In deze perioden treedt slagschaduw op tussen 16:30 en 19:30 uur. In totaal wordt circa 70 uur slagschaduw per jaar verwacht. De meeste slagschaduw ter plaatse van dit bedrijf wordt veroorzaakt door de oostelijke windturbine. Door de initiatiefnemer worden er afspraken gemaakt met de eigenaar van Boelies om slagschaduw tussen 1 mei en 15 september te voorkomen middels een stilstandregeling. Deze windturbine zal tussen 1 mei en 15 september moeten worden stilgezet op de momenten dat deze slagschaduw veroorzaakt ter plaatse van Boelies om te voldoen aan

de afspraken die zijn gemaakt. Dit reduceert de optredende slagschaduwhinder in het seizoen dat de meeste gasten te verwachten zijn.

Ter plaatse van Shamrock Inn kan slagschaduw optreden van maart t/m midden oktober. In maart treedt slagschaduw op tussen 17:30 en 18:30 uur. In april t/m begin september kan in de avonden tussen 19:00 en 20:30 uur slagschaduw ondervonden worden. Tot slot treedt slagschaduw op tussen halverwege september en halverwege oktober tussen 18:00 en 19:00 uur. In totaal wordt circa 35 uur slagschaduw per jaar verwacht. De meeste slagschaduw komt tevens van de oostelijke windturbine. In het pand van Shamrock Inn ligt een woning, waarvoor middels een slagschaduwnorm voor woningen al een mate van bescherming zal worden toegepast⁵³. Het horeca gedeelte van het gebouw van Shamrock Inn zal hiermee 'automatisch' op dezelfde wijze worden beschermd.

Restaurant Duinhoek en Friends 'n Bites zijn gelegen op het terrein van de recreatieverblijven Europarcs Resort Poort en Citta Romana. In totaal wordt bij Restaurant Duinhoek circa 1 uur en bij Friends 'n Bites circa 2 uur slagschaduw per jaar verwacht. Bij dergelijke lage waarden zijn geen nadere maatregelen nodig, aangezien de optredende slagschaduwduur in vergelijking met de daglichtperiode per jaar verwaarloosbaar is (<0,05%).

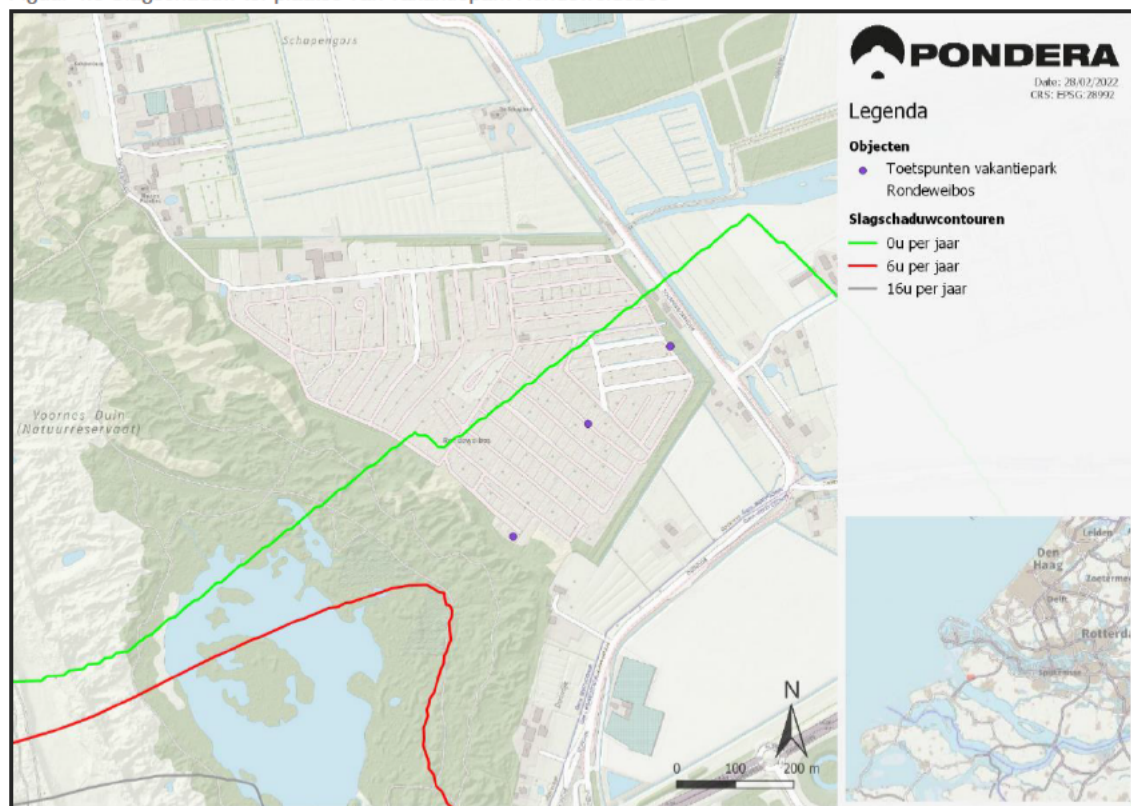
Overige slagschaduwgevoelige objecten: vakantiepark Molecaten Park Rondeweibos

Om inzicht te geven in de verwachte slagschaduwduur op het terrein van vakantiepark Molecaten Park Rondeweibos zijn op drie locaties op het terrein representatieve toetspunten bepaald. Voor die punten is berekend welke slagschaduwduur verwacht wordt. In Bijlage 7 zijn de ligging en de slagschaduwkalenders van deze locaties gegeven. Op basis van deze toetspunten zal jaarlijks maximaal circa 4 uur aan slagschaduw ervaren kunnen worden op het terrein. Op de locaties die dichterbij de windturbines zijn gelegen zal meer slagschaduw worden ondervonden dan op de locaties die verder van de windturbines gelegen zijn. Slagschaduw treedt slechts op een deel van het terrein op. In Figuur 4.5 is te zien dat slagschaduw alleen optreedt op delen van het terrein die binnen de 0-uurscontour liggen (groene lijn). Buiten deze contour treedt geen effectieve slagschaduw op.

Afhankelijk van de locatie op het vakantiepark kan slagschaduw optreden tussen halverwege november t/m halverwege januari. In deze perioden kan slagschaduw optreden tussen 15:00 en 16:30 uur. Gezien de maanden wanneer slagschaduw kan optreden zal dit buiten het hoogseizoen van het vakantiepark zijn. Dit, in combinatie met de beperkte duur (maximaal 4 uur per jaar), maakt de optredende hinder als gevolg van slagschaduw zeer beperkt voor het vakantiepark Rondeweibos.

⁵³ Mits deze als gevoelig object wordt beschouwd.

Figuur 4.5 Slagschaduw ter plaatse van vakantiepark Rondeweidebos



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 Haringvlietdam – 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 Haringvlietdam zal dit windpark – zonder het nemen van mitigerende maatregelen – bij 264 woningen enige vorm van slagschaduw veroorzaken. In totaal veroorzaakt het windpark circa 706 uur slagschaduw bij woningen. Bij 41% van de woningen waar slagschaduw optreedt (108) is dit minder dan 2 uur per jaar (zonder mitigatie). Bij slechts 7 woningen treedt jaarlijks meer dan 6 uur slagschaduw op (zonder maatregelen).

In Tabel 4.6 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 72 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 9 minuten en circa 5 uur per jaar).

Tabel 4.6 Toename in jaargemiddelde slagschaduwduur ter plaatse van woningen en energieopbrengstverliezen

Situatie (grens aantal uren per object per jaar)	Toename totale jaargemiddelde slagschaduwduur t.o.v. referentie-situatie [u:mm]	Energieopbrengst-verlies in uren bij volledige stilstand	Percentage verlies draaiuren in % van 1x jaar ⁵⁴ en in % t.o.v. windpark
+ WP Haringvlietdam zonder mitigatie	1494:46	0 u	0%
+ WP Haringvlietdam – 16 uur/jaar	815:51	120 u	0,17%
+ WP Haringvlietdam – 6 uur/jaar	452:09	241 u	0,34%
+ WP Haringvlietdam – ~0* uur/jaar	~0:00*	309 u	0,44%

* 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 4.6 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 Haringvlietdam zou een dergelijke normstelling van 6 uur per jaar leiden tot een aanvullende bescherming van 7 woningen. Van de overige 257 woningen is de afstand tot de windturbines al dusdanig groot dat deze ook zonder maatregelen al minder dan 6 uur per jaar slagschaduw ontvangen.

Overige schaduwgevoelige objecten: logies (recreatiewoningen)

In Tabel 4.7 zijn de gevolgen van een normstelling tussen de 16 uur en ~0 uur voor overige gevoelige objecten (logies) weergegeven.

Na realisatie van WP Haringvlietdam zal dit windpark – zonder het nemen van mitigerende maatregelen – bij 530 overige slagschaduwgevoelige objecten enige vorm van slagschaduw veroorzaken. In totaal veroorzaakt het windpark circa 1.484 uur slagschaduw bij overige slagschaduwgevoelige objecten. Ook hier is bij 41% van de overig slagschaduwgevoelige objecten waar slagschaduw optreedt (215) dit minder dan 2 uur per jaar (zonder mitigatie). Bij slechts 13 overige slagschaduwgevoelige objecten treedt jaarlijks meer dan 6 uur slagschaduw op (zonder maatregelen).

⁵⁴ Uitgaande dat afhankelijk van de zonneschijn 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.

Tabel 4.7 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 ⁵⁵ en in % t.o.v. windpark
+ WP Haringvlietdam zonder mitigatie	1484:05	0 u	0%
+ WP Haringvlietdam – 16 uur/jaar	1484:05	0 u	0%
+ WP Haringvlietdam – 6 uur/jaar	1396:34	105 u	0,15%
+ WP Haringvlietdam – ~0* uur/jaar	0:00	144 u	0,21%

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 seizoensgebonden 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.

4.6 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-EN-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.

⁵⁵ Uitgaande dat afhankelijk van de zonschijn 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.

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 werken⁵⁶.

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 maximale effectafstand (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"⁵⁷. 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 jaar⁵⁸, wordt uitgedrukt in het plaatsgebonden risico ^{59,60}. 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 al met introductie van het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) in 2004 gelijkgetrokken (vóór het in werking treden van de regels voor windturbines in

⁵⁶ Handreiking Risicozonering Windturbines (HRW2020)

⁵⁷ Beleid externe veiligheid: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/ruimte/omgevingsthema/externe-veiligheid/beleid/>

⁵⁸ Deze risico's komen overeen met een kans op overlijden van 1 op 1.000.000 en 1 op 10.000 per jaar.

⁵⁹ Nota Modernisering omgevingsveiligheid (Tweede Kamer, vergaderjaar 2013-2014, 29517, nr. 92)

⁶⁰ Roels, J.M., et al, 2018; Bewust Omgaan met Veiligheid: doelen en effectmaten in het risico- en veiligheidsbeleid, RIVM Rapport 2018-0029

het Activiteitenbesluit). Het hanteren van 10^{-5} en 10^{-6} voor een aanvaardbaar risico 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 vuurwerkramp 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 twijfelen 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's⁶¹. 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)⁶² 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

⁶¹ Risico's in perspectief – Risicovergelijking, HaskoningDHV Nederland B.V, november 2014 i.o.v. Ministerie BZK

⁶² Reducing risks, HSE's decision-making process, Health and Safety Executive, 2001.

ondervinden hoe minder geaccepteerd het risico wordt. Dit komt tot uiting in beoordeling van normen die 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 beoordelen⁶³. 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 risicobeoordeling 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 effectafstand (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 Aanwezighheidsfactor per gebruiksdoel van gebouw.

Gebruiksdoel	Personen	Uren per week	Aanwezighheidsfactor.
Woonfunctie	2,2	168	2,2
Bedrijfsfunctie (kleinschalig)	5	40	1,19
Industriefunctie (agrarische activiteit)	2	40	0,476
Geen toegewezen functie (i.e. agrarische schuren)	1	21	0,125

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

⁶³ 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 Haringvlietdam⁶⁴. 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

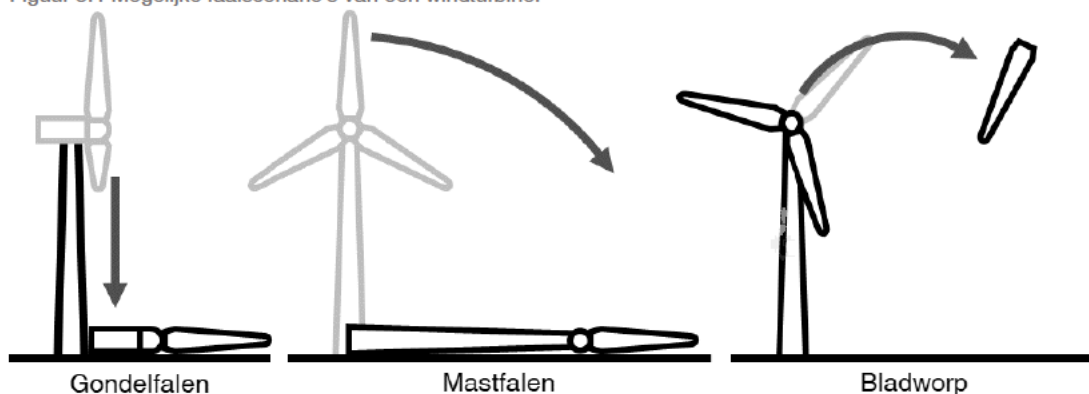
Conform het HRW zijn er drie mogelijke faalscenario's van windturbines: gondelfalen, mastfalen en bladworp. De faalscenario's zijn weergegeven in Figuur 5.1. In geval van gondelfalen breekt de gondel los van de mast en valt langs de mast naar beneden, vervolgens breekt ook een blad los. Bij mastfalen 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

⁶⁴ Rapportage analyse Externe Veiligheid Windpark Haringvliet - 720128 v3.0 van Pondera Consult van 19 maart 2021

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. Dit PR profiel wordt vervolgens geconverteerd in een data-image (geotiff), waarin elke pixel het PR weergeeft van de betreffende pixel. Het PR dat een object ondervindt is de maximale waarde van alle pixels van de data-image (geotiff) binnen het betreffende object.

5.3.4 Effectbeoordeling via groepsrisico 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 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 wederom aangesloten bij de kengetallen zoals genoemd aan het begin van dit hoofdstuk.

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	200 m
Rotordiameter	145 – 165 m
Ashoogte	115 – 130 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 uiteindelijke te plaatsen windturbine veiliger is dan (of gelijk aan) de onderzochte worst-case situatie. De windturbines waarvan de effecten zijn bepaald staan in Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Windturbines onderzocht op potentiële effecten.

Windturbintype	Rotordiameter (in m)	Nominaal toerental (in RPM)	Toegepaste ashoogte (in m)
Enercon E160 EP5 E3	160	9,6	120
GE 5.8 – 158	158	9,7	121
Nordex N149	149	10,8	125
Nordex N163	163	9,8	118
SG 5.0 – 145	145	10,8	128
SG 5.8 – 155	155	9,3	123
Vestas V150 – 4.3 MW	150	10,1	125
Vestas V162 - 5.6 MW	162	9,3	119

NB. Het kan zijn dat windturbintypen variëren in vermogen t.o.v. deze lijst. Het vermogen is geen eigenschap die direct invloed heeft op de te bepalen veiligheidseffecten. De hier genoemde vermogens zijn ter indicatie.

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 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 5.5. De gebruikte uitgangspunten voor de fictieve worst-case turbine zijn te vinden in de tabellen in Bijlage 1.

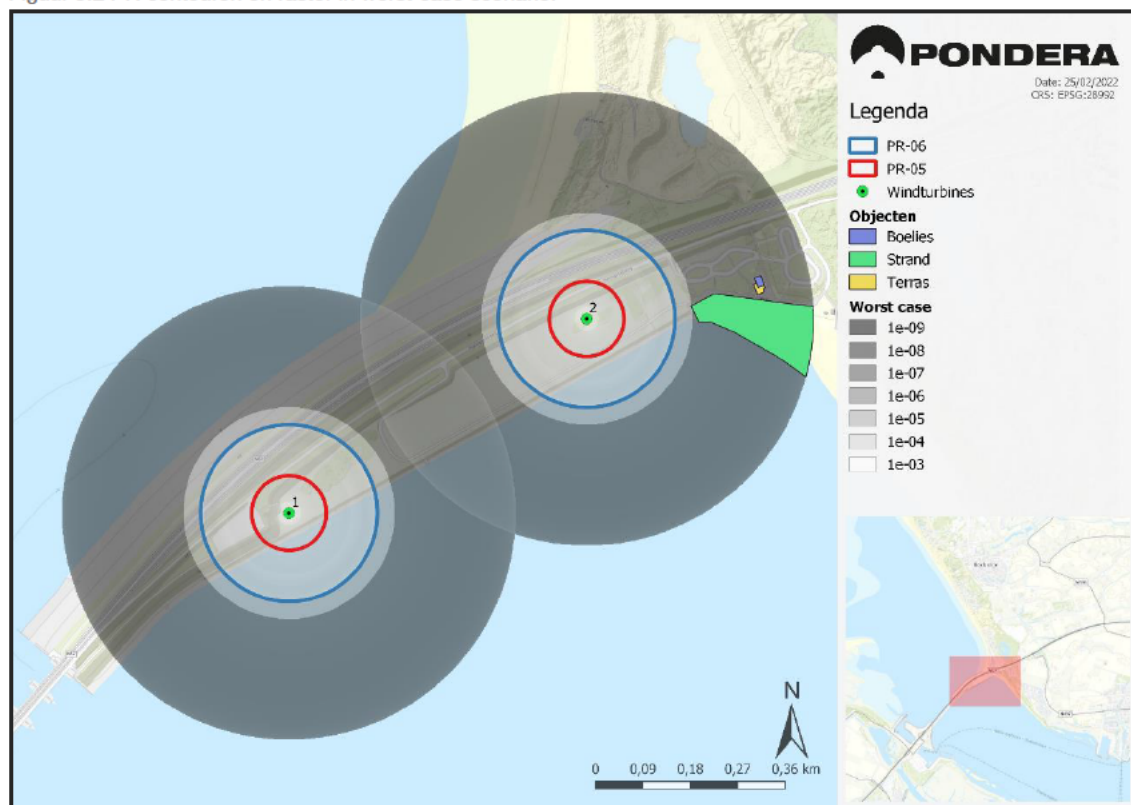
Tabel 5.5 PR contouren per turbine type en maximale effectafstand.

Turbine type	Contouren op basis van vuistregels		Specifieke contouren		Maximale effectafstand
	PR 10^{-5}	PR 10^{-6}	PR 10^{-5}	PR 10^{-6}	
Enercon E160 EP5 E3	80 m	200 m	65 m	150 m	380 m
GE 5.8 – 158	79 m	200 m	59 m	155 m	396 m
Nordex N149	74,5 m	199,5 m	42 m	166 m	431 m
Nordex N163	81,5 m	199, 5 m	60 m	161 m	420 m
SG 5.0 – 145	72,5 m	200 m	42 m	162 m	414 m
SG 5.8 – 155	77,5 m	200 m	61 m	145 m	362 m
Vestas V150 – 4.3 MW	75 m	200 m	46 m	154 m	392 m
Vestas V162 - 5.6 MW	81 m	200 m	66 m	151 m	386 m
Fictieve worst-case turbine	82,5 m	200 m	71 m	168 m	441 m

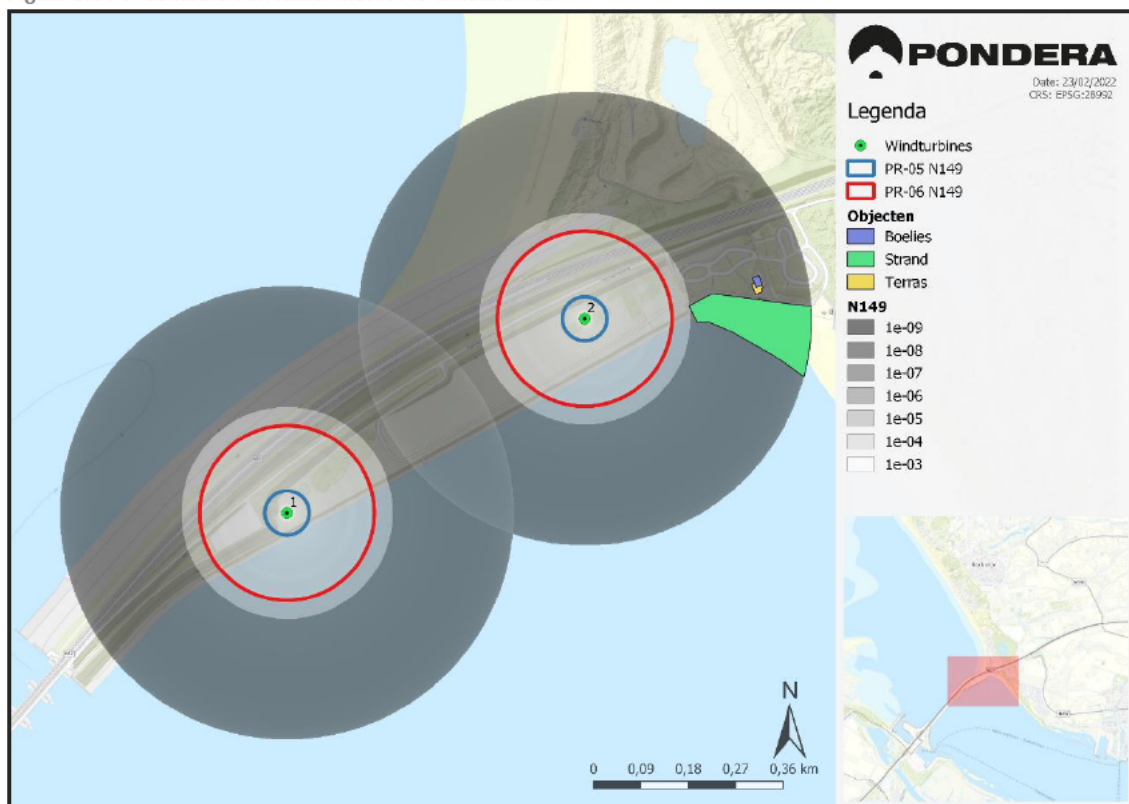
Het onderzoeksgebied voor externe veiligheid is vastgesteld op een zone rondom de windturbines met een maximale afstand van 441 meter voor de fictieve worst-case windturbine. Dit is gebaseerd op de maximale effectafstand van het faalscenario bladworp bij overtoeren. Binnen deze afstand zijn één pand (Boelies), één terras (behorende bij Boelies) en een deel van het recreatiestrand aanwezig. Deze objecten en terreinen liggen niet binnen de PR 10^{-5} en PR 10^{-6} contouren van de fictieve worst-case windturbine. In onderstaande figuur 5.2 is dit op kaart weergegeven.

In Figuur 5.3 en Figuur 5.4 is voor twee daadwerkelijk leverbare windturbintypes inzichtelijk gemaakt waar de risicocontouren liggen voor deze types. Uit deze figuren valt af te leiden dat de contouren veelal kleiner zijn dan die van de fictieve worst case windturbine.

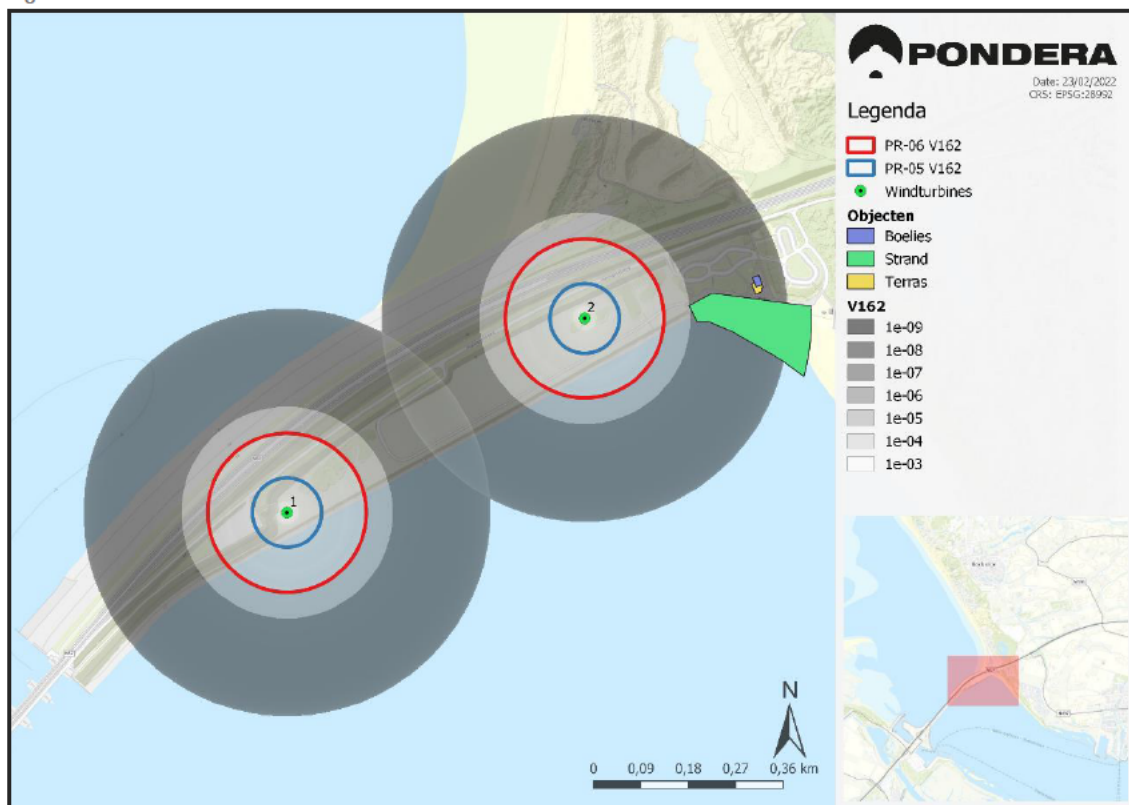
Figuur 5.2 PR-contouren en raster in worst-case scenario.



Figuur 5.3 PR-contouren en raster met N149 windturbines.



Figuur 5.4 PR-contouren en raster met V162 windturbines.



Effecten voor horeca onderneming Boelies

Binnen de maximale effectafstand bevindt zich het horecabedrijf Boelies; dit is het enige pand binnen de maximale effectafstand. Het pand zelf heeft een PR van $1,66E-09$ uitgaande van de worst-case windturbine. Met andere woorden: de kans op een dodelijk ongeval als gevolg van een calamiteit aan de windturbine indien een persoon een jaar lang onafgebroken in Boelies zou verblijven is circa 1 op 600.000.000. Aangrenzend aan het pand van Boelies is er ook een terras aanwezig. Om ook voor het terras een indicatie te geven voor het plaatsgebonden risico is met behulp van een luchtfoto de locatie en omvang van het terras bepaald. Voor het terras worden vergelijkbare PR-waardes berekend (tussen $1,67E-09$ en $2,76E-09$). Ook dit zijn zeer kleine kansen.

Deze getallen gaan echter uit van jaarrond verblijf.

Omdat zich op drukke momenten meerdere personen in en om het pand kunnen bevinden wordt ook een inschatting gemaakt van het groepsrisico. We gaan er daarbij vanuit dat er per persoon 5 m^2 bruto vloeroppervlak beschikbaar is⁶⁵. Het pand heeft een oppervlakte van circa $245,2 \text{ m}^2$, waarmee uitgegaan kan worden van een bezetting van maximaal 50 personen. Het terras heeft een oppervlakte van $248,6 \text{ m}^2$. Bij een zelfde bezettingsgraad wordt voor het terras daarom ook met maximaal 50 personen gerekend.

Naast de maximale bezetting is het van belang om een inschatting te maken van de gemiddelde bezettingsgraad per open uur (50 %), het aantal mooi weer dagen per jaar (75 dagen) en de openingstijden van Boelies (8 uur per dag) om later het GR te bepalen. Dit leidt tot aanwezigheidsfactoren van 1,71 voor zowel het pand als het terras van Boelies.

Strand

Onder het pand van Boelies is een recreatiegebied (strand) waarvoor ook de PR-waarde is bepaald. De gebruikte methodiek voor het terras van Boelies is ook toegepast voor dit recreatiegebied. De PR-waardes zijn voor de worst-case inschatting $6,35E-07$, $6,36E-07$ voor de V162 en $6,35E-07$ voor de N149 windturbine.

Ook hier is een inschatting gemaakt voor het maximaal aantal personen op dit strand, op basis van diezelfde Handleiding Populatieservice⁶⁶, welke aangeeft dat in een recreatiegebied een kerngetal van 100 personen/hectare gehanteerd kan worden. Het recreatiegebied wat binnen de effectcirkels ligt heeft een oppervlakte van 20.411 m^2 wat overeen komt met een maximum van 205 personen in dit gebied. Voor dit recreatiegebied is een gemiddelde bezettingsgraad van 50 % aangenomen, met 75 mooi weer dagen per jaar met 6 uur per dag. Dit leidt tot een permanente aanwezigheid van 5,27 voor dit recreatiegebied.

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 $5,0 \times 10^{-7}$ per jaar. Ter referentie: Rijkswaterstaat en ProRail hanteren als beheerders van infrastructurele werken een toetsingsnorm van maximaal 2×10^{-3} per jaar.

⁶⁵ Handleiding Populatieservice hoofdstuk 2.3, bijeenkomstfunctie uit Tabel 1, <https://www.datocms-assets.com/37731/1607343801-handleiding-populatieservice-1-0.pdf>

⁶⁶ Handleiding Populatieservice hoofdstuk 2.3, bijeenkomstfunctie uit Tabel 2, <https://www.datocms-assets.com/37731/1607343801-handleiding-populatieservice-1-0.pdf>

5.4.1 Effectbeoordeling via groepsrisico benadering

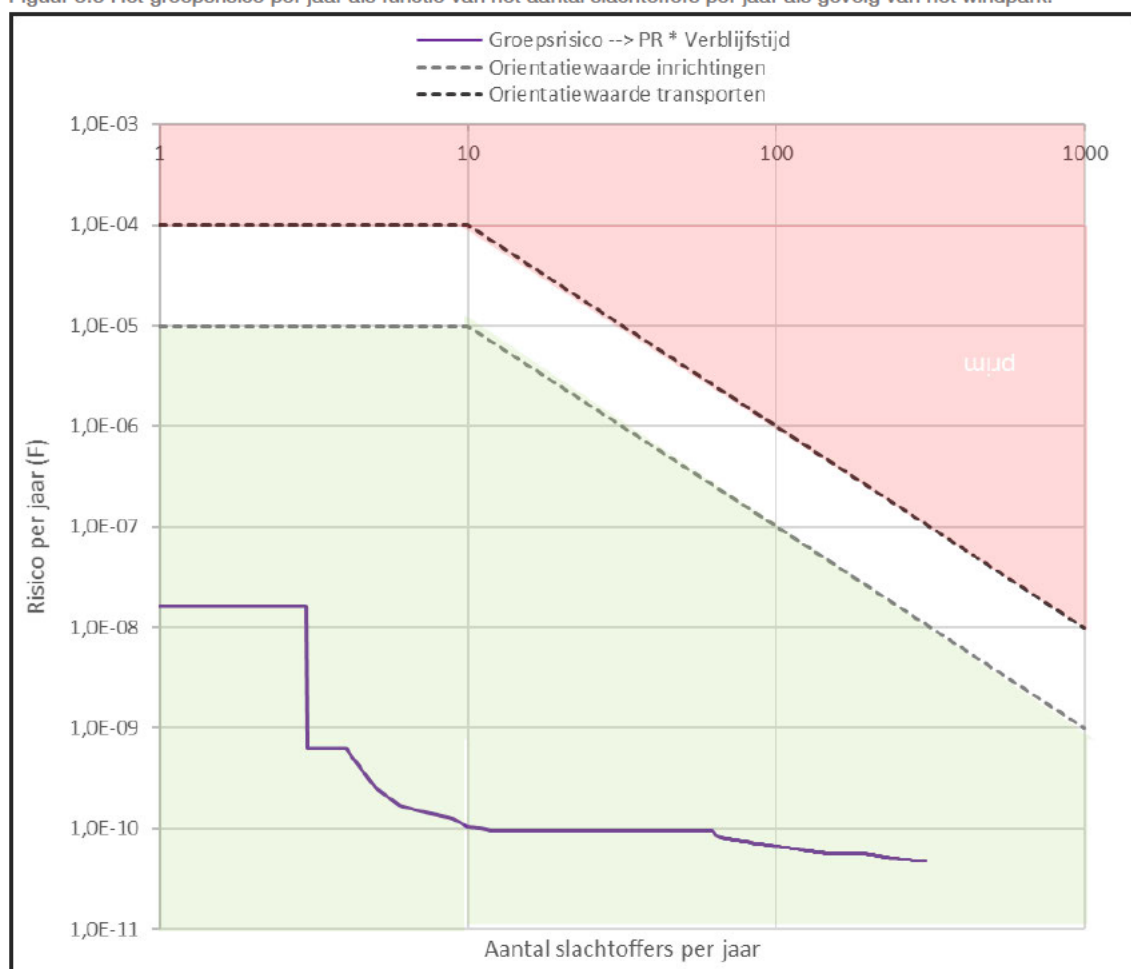
Naast de bescherming van het maximaal optredende risico per object kan de situatie rondom de externe veiligheid van een windpark ook beoordeeld worden aan de verhouding van de hoeveelheid personen die een bepaald risico kunnen ondervinden. Een dergelijke beoordeling kan plaatsvinden door te kijken naar de berekeningsmethodiek 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. De te beoordelen locaties die gebruikt zijn om de aanwezigheid van personen weer te geven zijn in de tabel hieronder weergegeven.

Tabel 5.6 Weergave totale groepsrisico's

Object	Maximaal aantal personen	Verblijfstijdfactor	Maximaal PR	Maximale trefkans per jaar rekening houdend met de verblijfstijd
Boelies	50 personen	0,034247	$1,66 \times 10^{-09}$	$5,7 \times 10^{-11}$
Boelies terras	50 personen	0,034247	$2,76 \times 10^{-09}$	$9,4 \times 10^{-11}$
Strandterrein*	205 personen	0,025685	$6,35 \times 10^{-07}$	$1,6 \times 10^{-08}$

* Trefkans bepaald a.h.v. afstand tot strand

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 het windpark 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. Uit deze grafiek kan worden geconcludeerd dat er weliswaar een grote hoeveelheid personen binnen de invloedssfeer aanwezig kunnen zijn, maar dat deze individueel slechts een zeer beperkte tijd van het jaar blootgesteld kunnen worden aan risico's als gevolg van de windturbines. Het totale risico optredende risico voor groepen personen is daardoor klein. De oriëntatiewaarde voor het groepsrisico van inrichtingen of transporten wordt niet overschreden. Er is geen aanleiding om specifieke bescherming tegen groepsrisico's te hanteren door middel van een normstelling. Er is tevens geen noodzaak om extra maatregelen te nemen om de aanwezigheid van groepen personen op het strand en nabij Boelies te beperken om daarmee het groepsrisico te beperken.

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.

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 bestemmingsplan en de omgevingsvergunning 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 Haringvlietdam zal – zonder het nemen van mitigerende maatregelen – een maximale geluidbelasting van 47 dB L_{den} veroorzaken op één omliggend geluidgevoelig object. Voor 92% (97 van de 105 woningen) treedt een geluidbelasting van 40 dB L_{den} of lager op, zonder dat er maatregelen worden genomen. Dit treedt op bij het realiseren van een windturbine met een hoge geluidemissie (worst case). De geluidbelasting die zonder mitigerende maatregelen optreedt leidt tot circa 2,3 ernstig gehinderden.

Wanneer een lagere maximale geluidbelasting van 45 dB L_{den} wordt toegepast, neemt het aantal ernstig gehinderden af tot 1,2. Dit heeft echter primair effect op woningen die al een geluidbelasting van 40 dB L_{den} of lager ontvangen. Het verlagen van de geluidnorm naar 45 dB L_{den} levert daarmee voornamelijk milieuwinst op bij woningen die toch al een lage geluidbelasting hebben als gevolg van het windpark.

Tabel 6.1 Aantal ernstig gehinderden per normstelling

Situatie	Ernstig gehinderden (binnenshuis)
	Aantal
Zonder geluidmitigatie (max. 47 dB L _{den})	2,3
Tot 45 dB L _{den} mitigeren	1,2

Om de lagere geluidbelastingen op de gevel van omliggende woningen te kunnen realiseren bij geluidnorm van 45 dB L_{den} zijn mitigerende maatregelen nodig. Het mitigeren van geluid naar de strenge norm van 45 dB L_{den} betekent in het slechtste geval een energieproductieverlies van 3,4%.

Advies

Uit de analyses blijkt dat bij realisatie van WP Haringvlietdam zonder geluidvoorzieningen de maximale geluidbelasting 47 dB L_{den} bedraagt, waarbij het percentage ernstig gehinderden 1,0% telt van de omwonenden van het windpark. Er is slechts één woning (Shamrock Inn) met deze geluidbelasting. Dit komt omdat het overgrote deel van de woningen op relatief grote afstand ligt en een relatief lage geluidbelasting ervaart, zowel in de dag- als avond en nachtperiode. Voor laagfrequent geluid zijn tevens

berekeningen gedaan, waaruit blijkt dat ruim (minimaal 9 dB) onder de Vercammen-curve wordt gebleven ter plaatse van gevoelige objecten.

Gezien de relatief lage belastingen 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} (41 dB L_{night}) niet tot onaanvaardbare hinder of gezondheidseffecten. Wel adviseren we om te verkennen of met de keuze van het windturbintype of het toepassen van technische maatregelen (serrated edges) 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. Om te borgen dat laagfrequent geluid geen nadelige milieueffecten veroorzaakt, adviseren we tevens om 'voldoen aan de Vercammen-curve' op te nemen als voorschrift. Daarmee is ook dit aspect publiekrechtelijk geborgd.

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 Haringvlietdam wordt bij 264 van de 292⁶⁷ woningen in de omgeving daadwerkelijk slagschaduw ondervonden. Hieronder vallen tevens recreatiewoningen met een ontheffing voor permanente bewoning. De meeste woningen ontvangen maximaal tussen 10 en 20 minuten slagschaduw per dag. Verder blijkt uit de analyse dat ruim 97% van de woningen (285 van de 292) jaarlijks < 6 uur slagschaduw ontvangt, zonder dat een stilstandvoorziening in werking is. Voor slechts 7 woningen is de verwachting dat er jaarlijks meer dan 6 uur slagschaduw optreedt. Zonder maatregelen treedt bij geen van de woningen meer dan 11 uur slagschaduw per jaar op (met uitzondering van Shamrock Inn, zie hieronder).

Overige slagschaduwgevoelige objecten

Naast woningen is ook onderzocht welke effecten van slagschaduw te verwachten zijn bij overige slagschaduwgevoelige objecten (in dit geval objecten met logiesfunctie, voornamelijk recreatiewoningen, horecabedrijven en campings). Bij 535 van de 557 overige slagschaduwgevoelige objecten wordt slagschaduw ondervonden als gevolg van WP Haringvlietdam. Uit de analyse blijkt dat circa 97% van de overige slagschaduwgevoelige jaarlijks minder dan 6 uur slagschaduw ontvangt, zonder dat een stilstandvoorziening in werking is. Voor slechts 13 overige slagschaduwgevoelige objecten met logiesfunctie (recreatiewoningen, zonder permanente bewoning) is de verwachting dat er jaarlijks meer dan 6 uur slagschaduw optreedt. Bij geen van de objecten bedraagt dit meer dan 8 uur per jaar.

Boelies en Shamrock Inn

Tot slot is voor twee horecabedrijven waar nog een relevante tijdsduur aan slagschaduw kan optreden (Boelies en Shamrock Inn) inzichtelijk gemaakt welke gevolgen van slagschaduw kunnen optreden. Nabij Shamrock Inn bedraagt dit maximaal circa 35 uur per jaar, bij Boelies maximaal circa 70 uur per jaar. In de slagschaduwkalender is te zien dat bij Boelies slagschaduw optreedt van februari t/m juni en van midden

⁶⁷ 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.

juli t/m begin november. In deze perioden treedt slagschaduw op tussen 16:30 en 19:30 uur. Dit geldt zowel voor het terras als voor het gebouw zelf. Met name gedurende het hoogseizoen (1 mei tot en met 15 september), wanneer veel recreanten gebruik maken van deze horecavoorzieningen, is het voor de hand liggend om de optredende slagschaduw te beperken.

Advies

Uit de analyse blijkt dat voor veruit de meeste woningen en overige slagschaduwgevoelige objecten de optredende slagschaduw – zonder maatregelen – al beperkt is en minder dan 6 uur per jaar bedraagt. Daarmee zijn 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. Hierbij is nog geen rekening gehouden met de effecten van afscherming door bijvoorbeeld bomen, waardoor dit in de praktijk nog minder zal zijn, met name voor de woningen aan de Duinweg. Om een goed woon- en leefklimaat ter plaatse van woningen te borgen wordt aanbevolen voor woningen (slagschaduwgevoelige objecten) een norm van maximaal 6 uur per jaar te hanteren. Voor overige slagschaduwgevoelige objecten (recreatiewoningen zonder permanente bewoning) mag ervan uit worden gegaan dat hier niet het gehele jaar mensen aanwezig zijn. Omdat de maximale optredende schaduwduur hier echter maximaal 8 uur per jaar is, zijn er geen reden om aanvullende normen te hanteren voor deze objecten.

Een uitzondering hierop vormt het horecagebouw en terras van Boelies. Omdat de uitbater voor een groot deel van zijn inkomsten afhankelijk is van recreanten, die hier tijdens de zomerperiode (dagen met zonnig weer) naartoe komen, wordt geadviseerd een norm vast te leggen voor de maximale optredende hoeveelheid slagschaduw gedurende het hoogseizoen, zijnde de periode mei tot en met september. Buiten die periode is de optredende slagschaduw minimaal en is ook de optredende slagschaduw voor Boelies aanvaardbaar. Omdat Shamrock Inn tevens een woning betreft (en daar al een norm van maximaal 6 uur per jaar wordt aanbevolen) zijn geen andere specifieke normen voor deze locatie nodig.

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 op de 100.000 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 personen die een risico van meer dan $PR10^{-6}$ kunnen ondervinden voor deze projectlocatie. Om te voorkomen dat personen dit risico kunnen 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 $PR10^{-5}$ kunnen ervaren kan ook voor

objecten met minder personen (beperkt kwetsbare objecten) een norm worden gesteld op een bepaalde PR-waarde.

Bij toepassing van een beschermingsniveau van $PR10^{-05}$ voor beperkt kwetsbare objecten en $PR10^{-06}$ voor kwetsbare objecten is er in dit project geen sprake van een overschrijding van deze waarden. Het aantal mensen wat een significant risico ondervindt is extreem beperkt waarmee deze projectsituatie, in vergelijking met de normstellingen en situering van andere risicobronnen in Nederland, een acceptabele situatie met betrekking tot het onderwerp externe veiligheid oplevert. Er is geen aanleiding om specifieke bescherming tegen groepsrisico's aan te brengen door middel van een normstelling. Er is geen noodzaak om extra maatregelen te nemen om het groepsrisico te beperken.

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

Worst-case

Tabel 6.2 Eigenschappen windturbines voor gondelfalen (Generieke windturbine).

Eigenschap	Waarde
Rotordiameter [m]	165
Ashoogte [m]	117,5
Tiphoogte [m]	200
Maximale breedte van blad [m]	4,5
Lengte gondel exclusief hub [m]	22,5
Breedte gondel [m]	6
Hoogte gondel [m]	6,77

Tabel . Eigenschappen windturbines voor mastfalen (Generieke windturbine).

Eigenschap	Waarde
Rotordiameter [m]	145
Ashoogte [m]	127,5
Tiphoogte [m]	200
Mastdiameter [m]	10
Lengte gondel exclusief hub [m]	22,5
Breedte gondel [m]	6
Hoogte gondel [m]	6,77

Tabel 6.3 Eigenschappen windturbines voor bladworp (Nordex N149).

Eigenschap	Waarde
Rotordiameter [m]	149
Ashoogte [m]	125
Tiphoogte [m]	199,5
Nominaal toerental [rpm]	10,81
Afstand tot zwaartepunt van een blad, gemeten vanaf de hub-as [m]	24,83

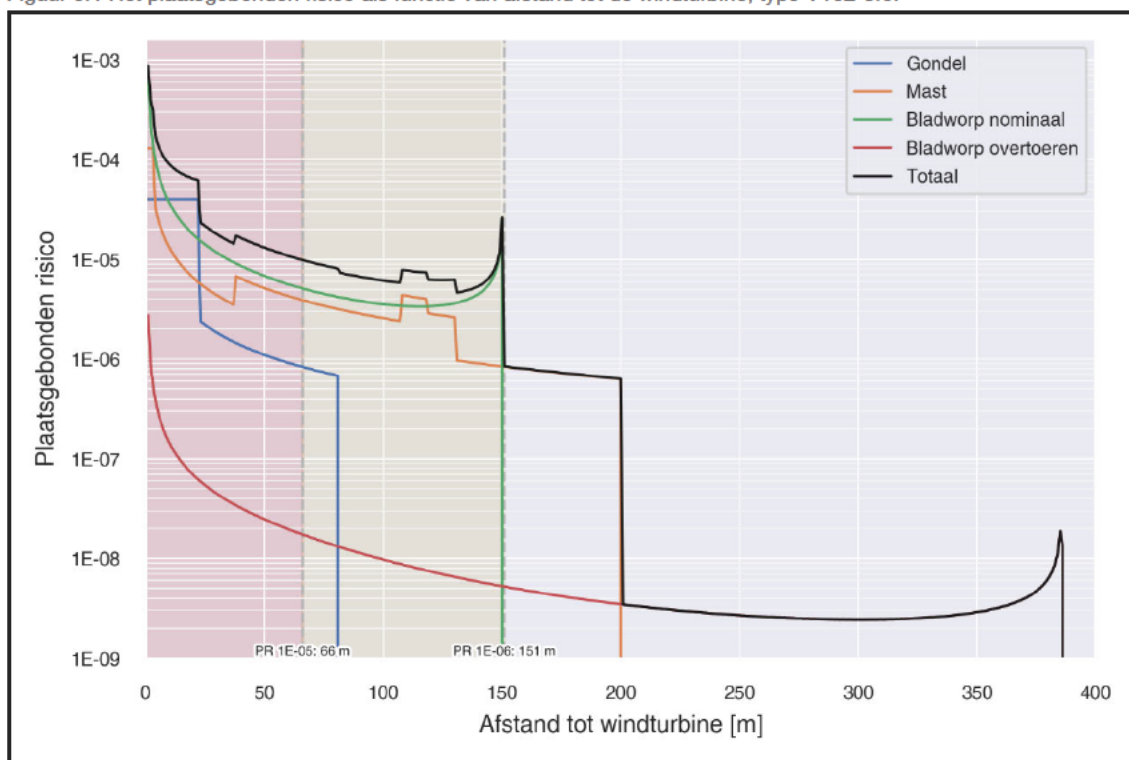
Dit resulteert in onderstaande grafieken van het plaatsgebonden risico. Voor de bepaling van de bladworpstrefkansen is gebruik gemaakt van de formules: 2.5 t/m 2.13 van de Handleiding risicobeoordeling windturbines (versie oktober 2020). De PR-contouren zijn berekend met behulp van de formules 2.18 tot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

Vestas V162-5.6MW

Tabel 6.4 Eigenschappen Vestas V162-5.6MW.

Eigenschap	Waarde
Rotordiameter [m]	162
Ashoogte [m]	119
Tiphoogte [m]	200
Nominaal toerental [rpm]	9,33
Afstand tot zwaartepunt van een blad, gemeten vanaf de hub-as [m]	27
Maximale breedte van blad [m]	4,32
Mastdiameter [m]	6,3
Lengte gondel exclusief hub [m]	22,5
Breedte gondel [m]	4,2
Hoogte gondel [m]	4,4

Figuur 6.1 Het plaatsgebonden risico als functie van afstand tot de windturbine, type V162-5.6.



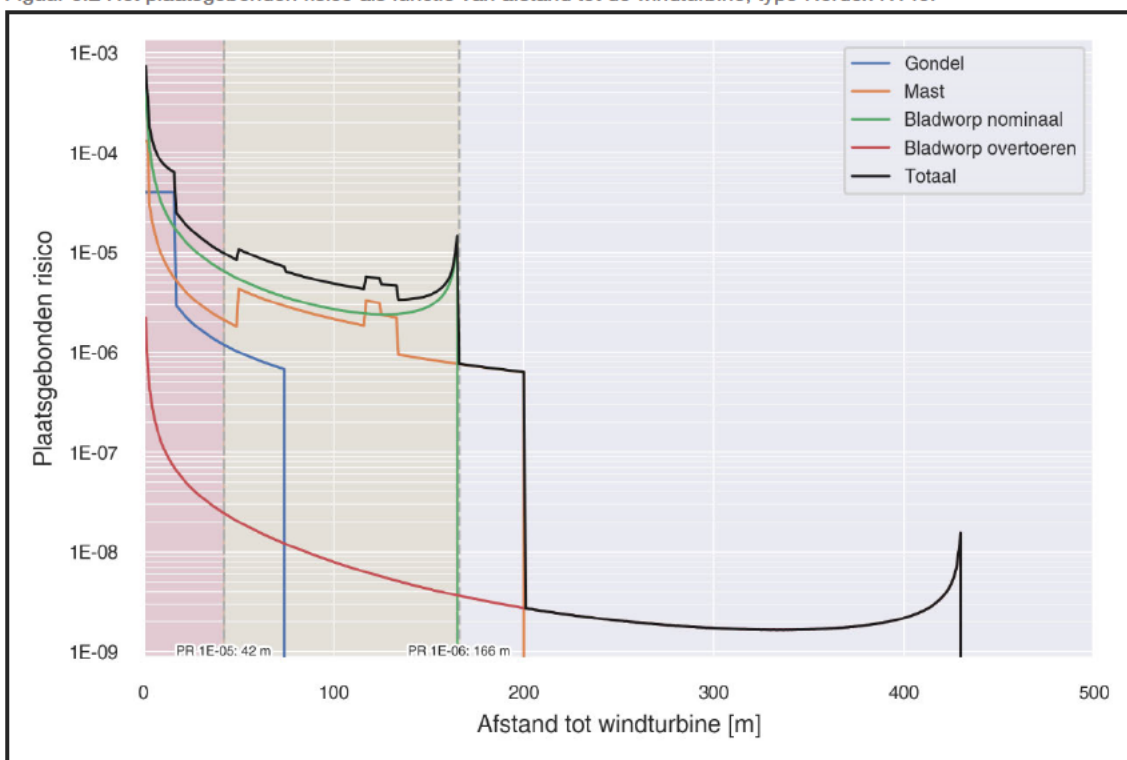
Nordex N149

Tabel 6.5 Eigenschappen Nordex N149

Eigenschap	Waarde
Rotordiameter [m]	149
Ashoogte [m]	125

Tiphoogte [m]	199,5
Nominaal toerental [rpm]	10,81
Afstand tot zwaartepunt van een blad, gemeten vanaf de hub-as [m]	24,83
Maximale breedte van blad [m]	3,94
Mastdiameter [m]	4,3
Lengte gondel exclusief hub [m]	16,5
Breedte gondel [m]	4,3
Hoogte gondel [m]	3,8

Figuur 6.2 Het plaatsgebonden risico als functie van afstand tot de windturbine, type Nordex N149.



Bijlage 2 Geluidgegevens windturbines

Geluidgegevens Nordex N163-5.X no STE, mode 0

Coördinaten RD 63517 428848				 Gecorrigeerd voor bedrijfsduur (Lw + Cb)					
Coördinaten WGS 51,8407 4,0597									
Ashoogte [m] 119									
Hoogte windprofiel [m] 119									
Windturbine Nordex N163-5.X									
Mode mode 0 5700kW									
								LE	LE
v_as	dag	avond	nacht	Lw_as	LE dag	avond	nacht		
[m/s]	[%]	[%]	[%]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]		
1	1,95	1,70	1,45						
2	3,68	3,18	2,47						
3	5,96	4,66	3,81	97,5	85,3	84,2	83,3		
4	8,36	7,48	5,83	97,5	86,7	86,2	85,2		
5	10,11	9,73	7,32	98,3	88,3	88,2	86,9		
6	11,20	10,93	10,40	100,5	91,0	90,9	90,7		
7	11,51	12,00	13,60	103,8	94,4	94,6	95,1		
8	10,72	12,20	13,82	106,8	97,1	97,7	98,2		
9	8,78	9,74	11,17	109,1	98,5	99,0	99,6		
10	6,80	7,31	7,86	109,2	97,5	97,8	98,2		
11	5,34	5,21	5,67	109,2	96,5	96,4	96,7		
12	4,26	4,03	4,37	109,2	95,5	95,3	95,6		
13	3,19	3,15	3,39	109,2	94,2	94,2	94,5		
14	2,21	2,36	2,58	109,2	92,6	92,9	93,3		
15	1,67	1,86	1,79	109,2	91,4	91,9	91,7		
16	1,37	1,54	1,31	109,2	90,6	91,1	90,4		
17	0,97	1,05	1,06	109,2	89,1	89,4	89,5		
18	0,70	0,57	0,79	109,2	87,6	86,8	88,2		
19	0,40	0,49	0,48	109,2	85,2	86,1	86,0		
20	0,29	0,32	0,33	109,2	83,8	84,3	84,4		
21	0,21	0,20	0,22	109,2	82,4	82,2	82,6		
22	0,16	0,12	0,11	109,2	81,2	80,0	79,6		
23	0,10	0,05	0,07	109,2	79,2	76,2	77,7		
24	0,04	0,05	0,04	109,2	75,2	76,2	75,2		
25	0,06	0,06	0,06	109,2	77,0	77,0	77,0		
					Totaal	106,11	106,31	106,65	
Gehanteerde spectrale verdeling [dB(A)]									
31 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
-29,71	-19,71	-13,51	-9,31	-6,01	-4,61	-7,01	-15,81	-24,61	

Geluidgegevens Nordex N163-5.X no STE, mode 5

Coördinaten RD63517428848								
Coördinaten WGS51,84074,0597								
Ashoogte [m]119								
Hoogte windprofiel [m]119								
WindturbineNordex N163-5.X								
Mode mode 5 5150kW				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	1,95	1,70	1,45					
2	3,68	3,18	2,47					
3	5,96	4,66	3,81	97,5	85,3	84,2	83,3	
4	8,36	7,48	5,83	97,5	86,7	86,2	85,2	
5	10,11	9,73	7,32	98,3	88,3	88,2	86,9	
6	11,20	10,93	10,40	100,5	91,0	90,9	90,7	
7	11,51	12,00	13,60	103,8	94,4	94,6	95,1	
8	10,72	12,20	13,82	106,1	96,4	97,0	97,5	
9	8,78	9,74	11,17	107	96,4	96,9	97,5	
10	6,80	7,31	7,86	107	95,3	95,6	96,0	
11	5,34	5,21	5,67	107	94,3	94,2	94,5	
12	4,26	4,03	4,37	107	93,3	93,1	93,4	
13	3,19	3,15	3,39	107	92,0	92,0	92,3	
14	2,21	2,36	2,58	107	90,4	90,7	91,1	
15	1,67	1,86	1,79	107	89,2	89,7	89,5	
16	1,37	1,54	1,31	107	88,4	88,9	88,2	
17	0,97	1,05	1,06	107	86,9	87,2	87,3	
18	0,70	0,57	0,79	107	85,4	84,6	86,0	
19	0,40	0,49	0,48	107	83,0	83,9	83,8	
20	0,29	0,32	0,33	107	81,6	82,1	82,2	
21	0,21	0,20	0,22	107	80,2	80,0	80,4	
22	0,16	0,12	0,11	107	79,0	77,8	77,4	
23	0,10	0,05	0,07	107	77,0	74,0	75,5	
24	0,04	0,05	0,04	107	73,0	74,0	73,0	
25	0,06	0,06	0,06	107	74,8	74,8	74,8	
				Totaal	104,50	104,70	105,02	
Gehanteerde spectrale verdeling [dB(A)]								
31 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
-29,71	-19,71	-13,51	-9,31	-6,01	-4,61	-7,01	-15,81	-24,61

Bijlage 3 Instellingen geluidmitigatie

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

Windturbine	Turbinetype	Dag	Avond	Nacht
WT-02	Nordex N163-5.X	Mode 5	Mode 5	Mode 5

Bijlage 4 Aantal (ernstig) gehinderden

In paragraaf 3.6.3 is berekend hoeveel ernstig gehinderden er worden verwacht na realisatie van WP Haringvlietdam. 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

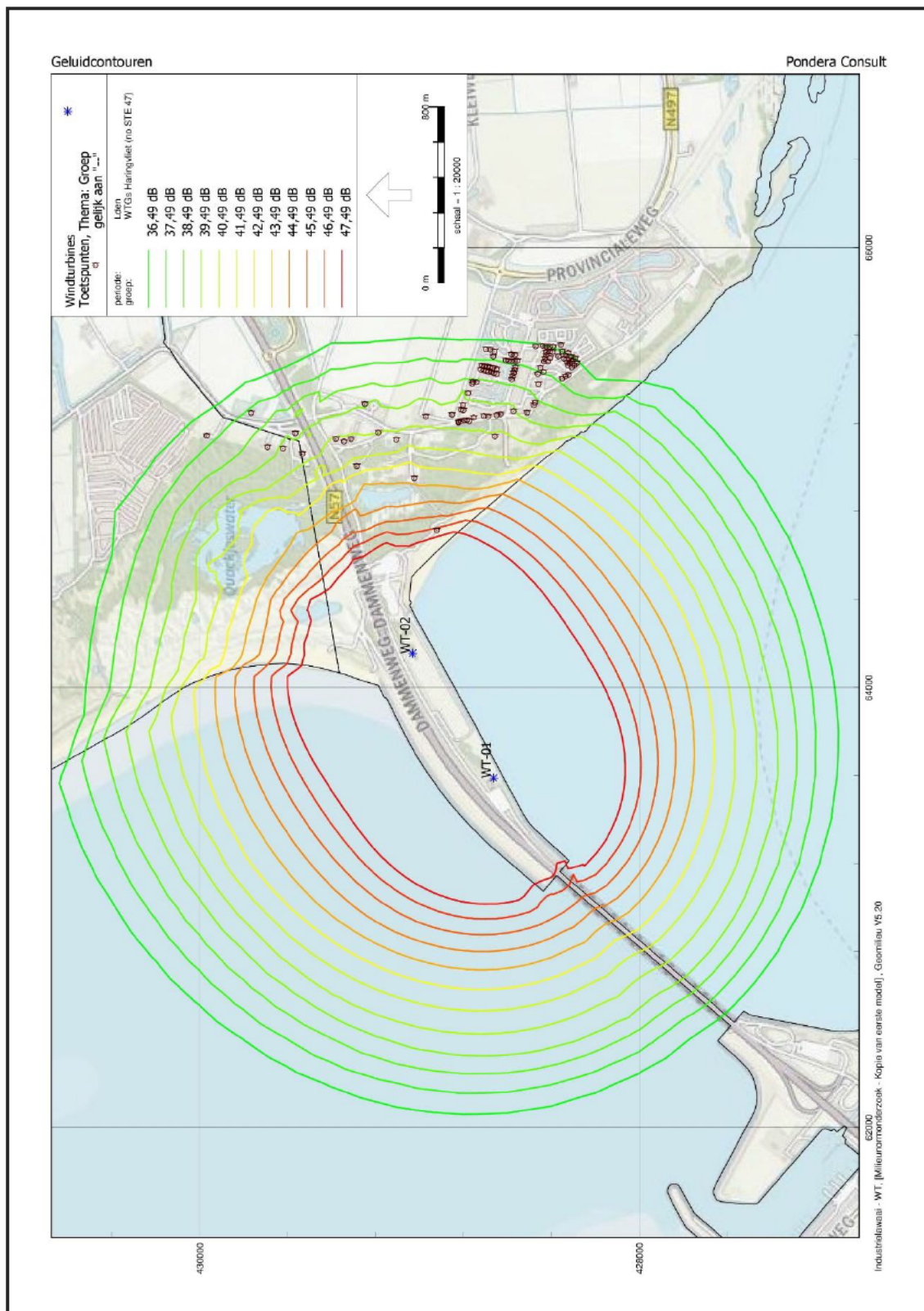
Situatie	Ernstig gehinderd (binnenshuis)	
	Aantal	% van de populatie
Zonder geluidmitigatie (max. 47 dB L _{den})	2,3	1,0%
Tot 45 dB L _{den} mitigeren	1,2	0,5%

Aantal gehinderden

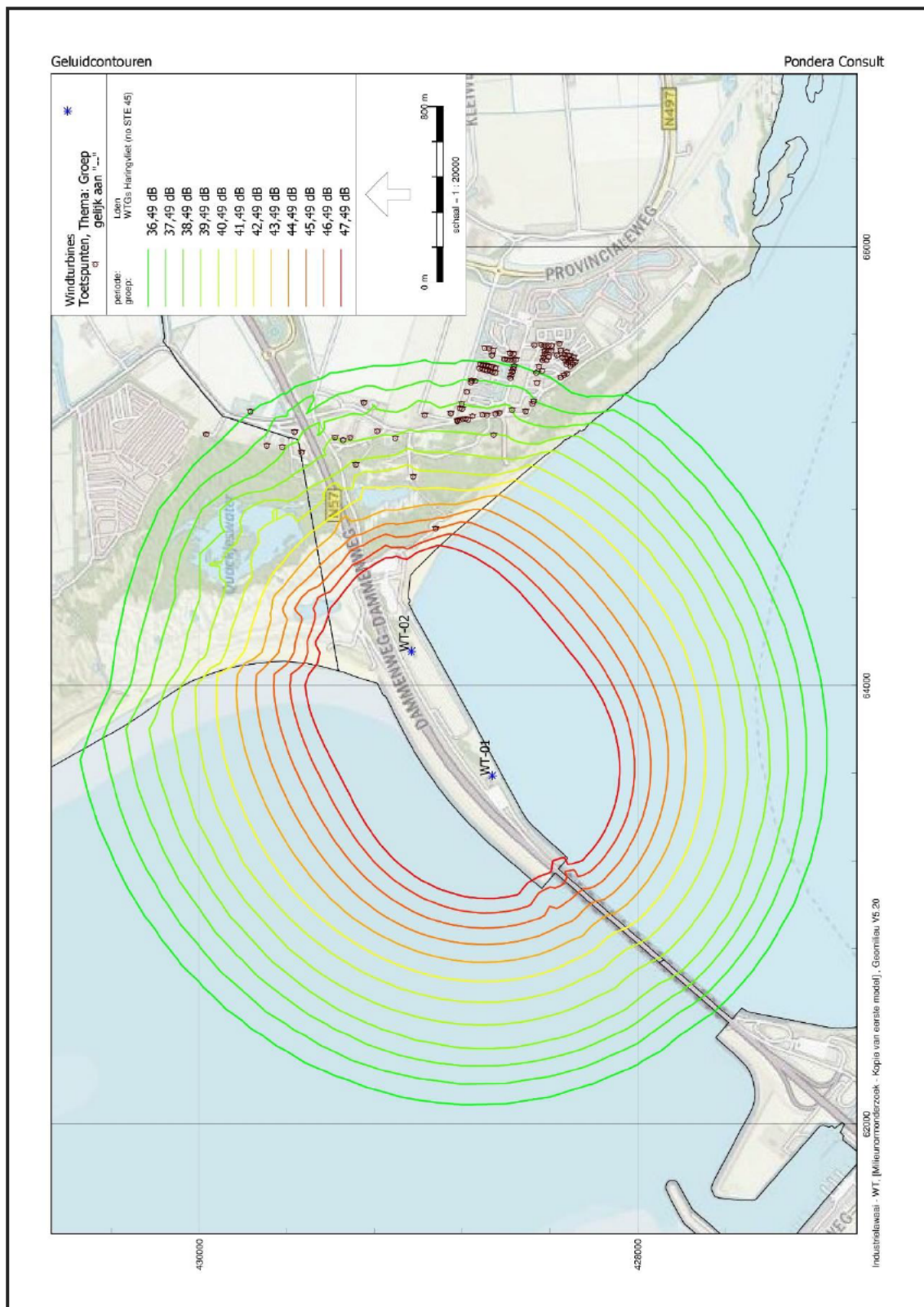
Situatie	Gehinderd (binnenshuis)	
	Aantal	% van de populatie
Zonder geluidmitigatie (max. 47 dB L _{den})	6,9	3,0%
Tot 45 dB L _{den} mitigeren	3,7	1,6%

Bijlage 5 Geluidcontouren

Geluidcontouren zonder mitigatie



Geluidcontouren met mitigatie naar 45 dB L_{den}



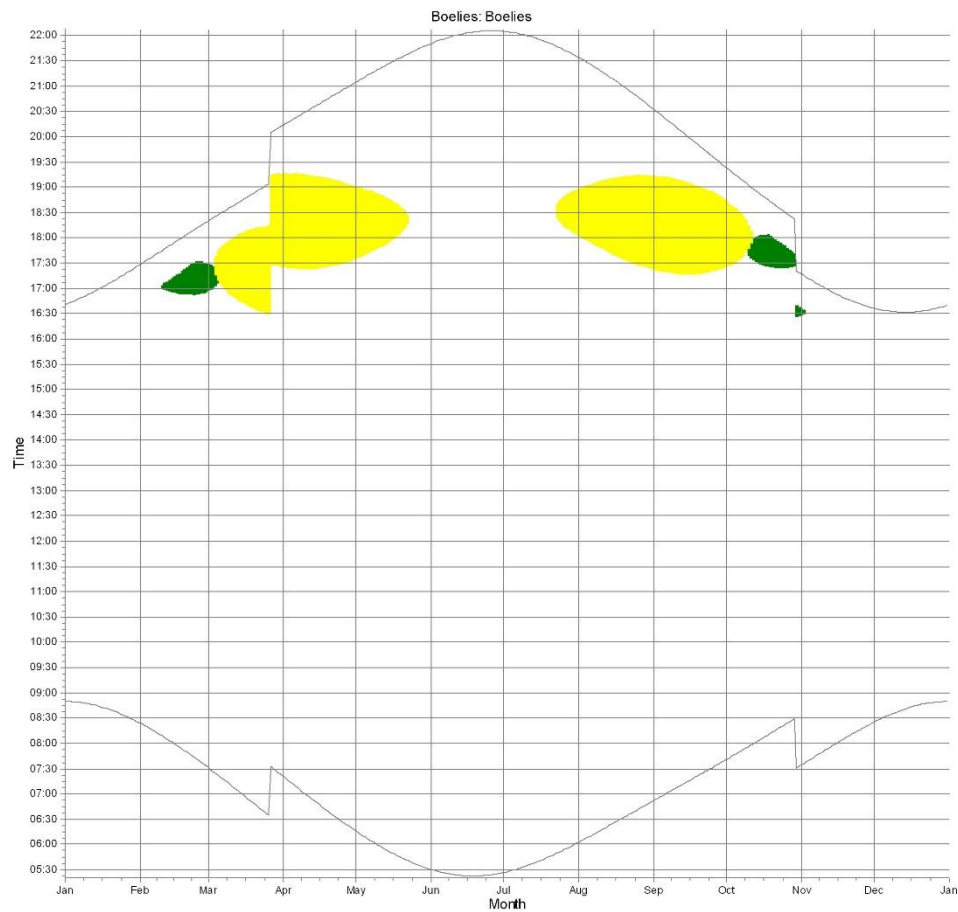
Bijlage 6 Slagschaduwkalenders restaurants

Project:
ss 720128

Licensed user:
Pondera Consult B.V.
Amsterdamseweg 13
NL-6814 CM Arnhem
+31 (0)88 7663372
Jori / J.Dreef@ponderaconsult.com
Calculated:
25/02/2022 09:37/3.5.552

SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: WP Haringvliet - Shemrock en Boelies Shadow receptor: Boelies - Boelies



WTGs

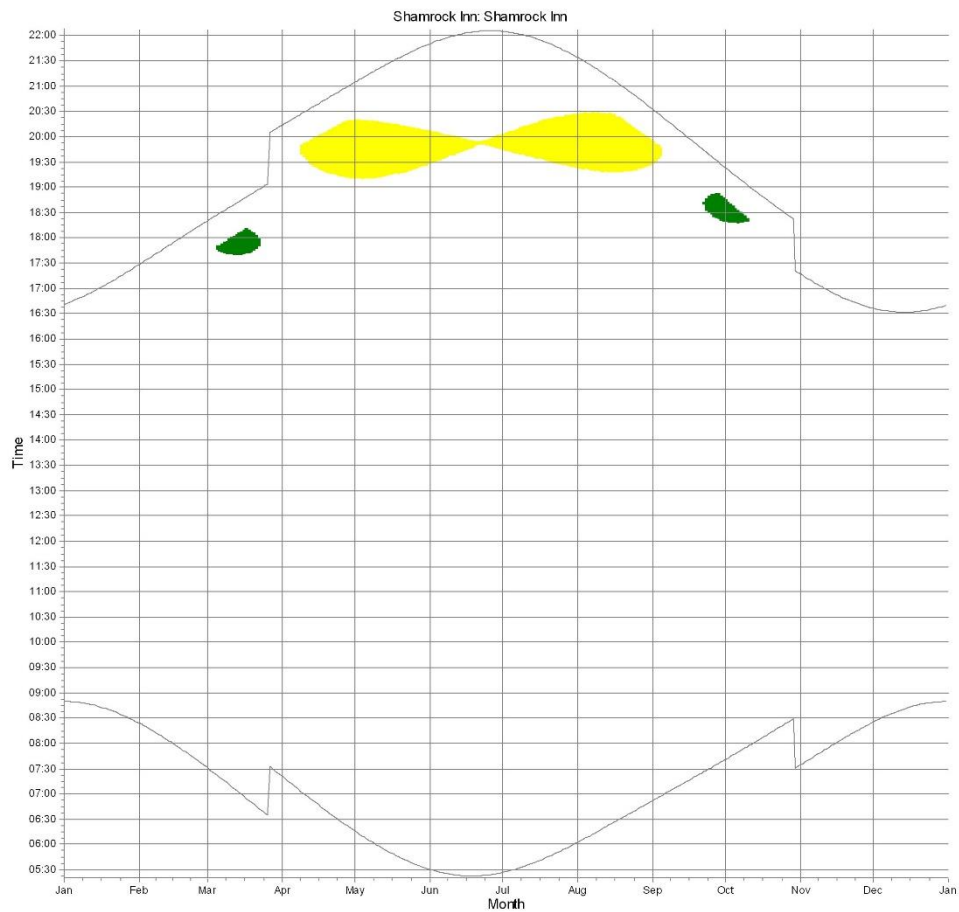
- wt-01: Pondera 165/145 8000 165.0 !-! hub: 117.5 m (TOT: 200.0 m) (1)
- wt-02: Pondera 165/145 8000 165.0 !-! hub: 117.5 m (TOT: 200.0 m) (2)

Project:
ss 720128

Licensed user:
Pondera Consult B.V.
Amsterdamseweg 13
NL-6814 CM Arnhem
+31 (0)88 7663372
Jori / J.Dreef@ponderaconsult.com
Calculated:
25/02/2022 09:37/3.5.552

SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: WP Haringvliet - Shemrock en Boelies **Shadow receptor:** Shamrock Inn - Shamrock Inn



WTGs

- wt-01: Pondera 165/145 8000 165.0 l-l hub: 117.5 m (TOT: 200.0 m) (1)
- wt-02: Pondera 165/145 8000 165.0 l-l hub: 117.5 m (TOT: 200.0 m) (2)

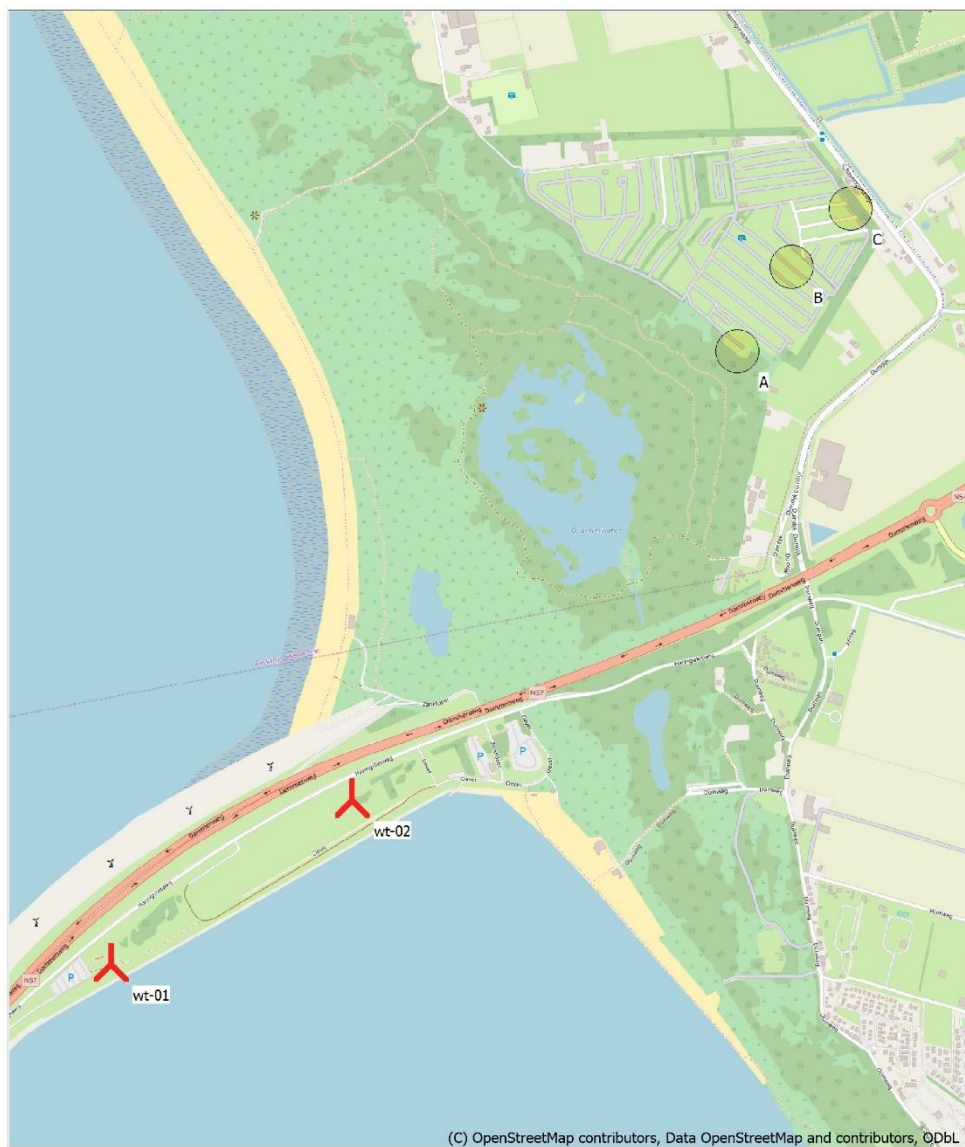
Bijlage 7 Slagschaduwkalenders vakantiepark

Project:
ss 720128

Licensed user:
Pondera Consult B.V.
Amsterdamseweg 13
NL-6814 CM Arnhem
+31 (0)88 7663372
Pondera / w.pustjens@ponderaconsult.com
Calculated:
28-2-2022 14:11/3.5.552

SHADOW - Map

Calculation: WP Haringvliet - camping Rondeweibos bladbreedte



Map: EMD OpenStreetMap , Print scale 1:12,500, Map center Dutch Stereo-RD/NAP 2008 East: 64,464 North: 429,525
 New WTG Shadow receptor
 Flicker map level: 0 m above sea level

windPRO 3.5.552 by EMD International A/S, Tel. +45 69 16 48 50, www.emd-international.com, windpro@emd.dk

28-2-2022 14:14 / 1

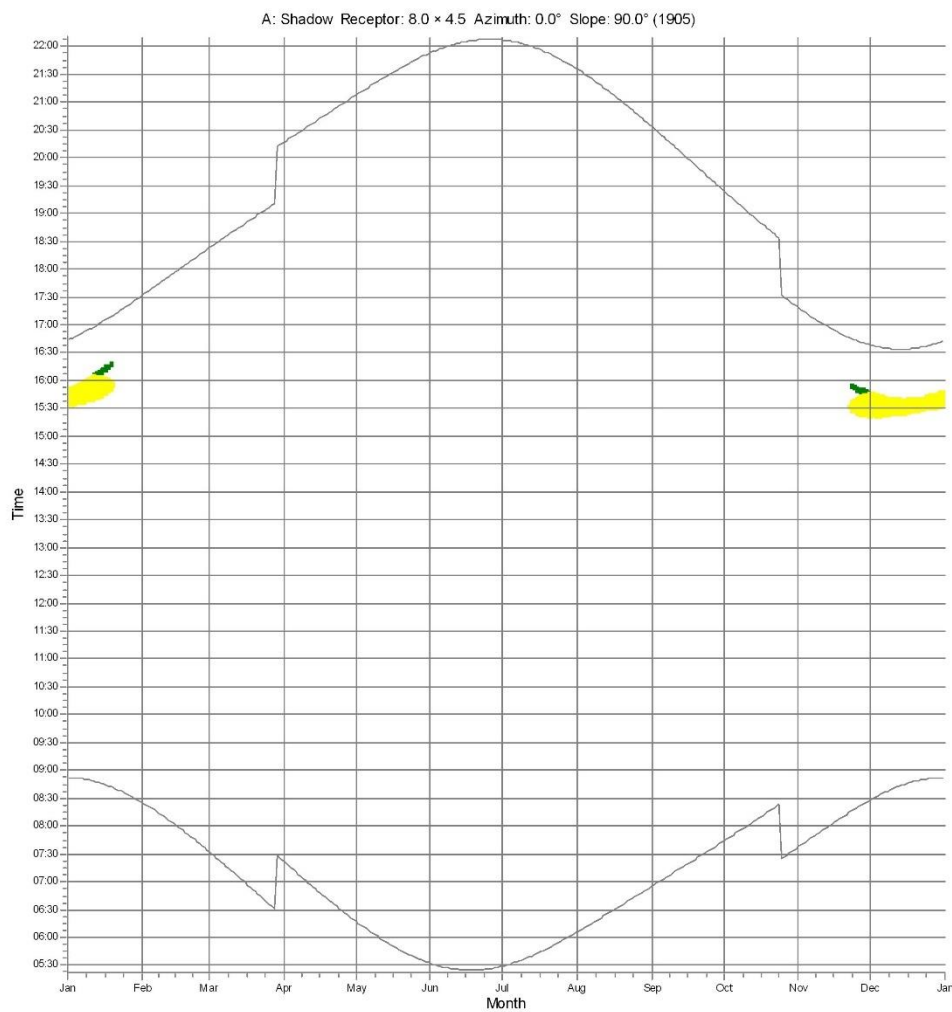


Project:
ss 720128

Licensed user:
Pondera Consult B.V.
Amsterdamseweg 13
NL-6814 CM Arnhem
+31 (0)88 7663372
Pondera / w.pustjens@ponderaconsult.com
Calculated:
28-2-2022 14:11/3.5.552

SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: WP Haringvliet - camping Rondewelbos bladbreedte **Shadow receptor:** A - Shadow Receptor: 8.0 × 4.5 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (1905)



WTGs

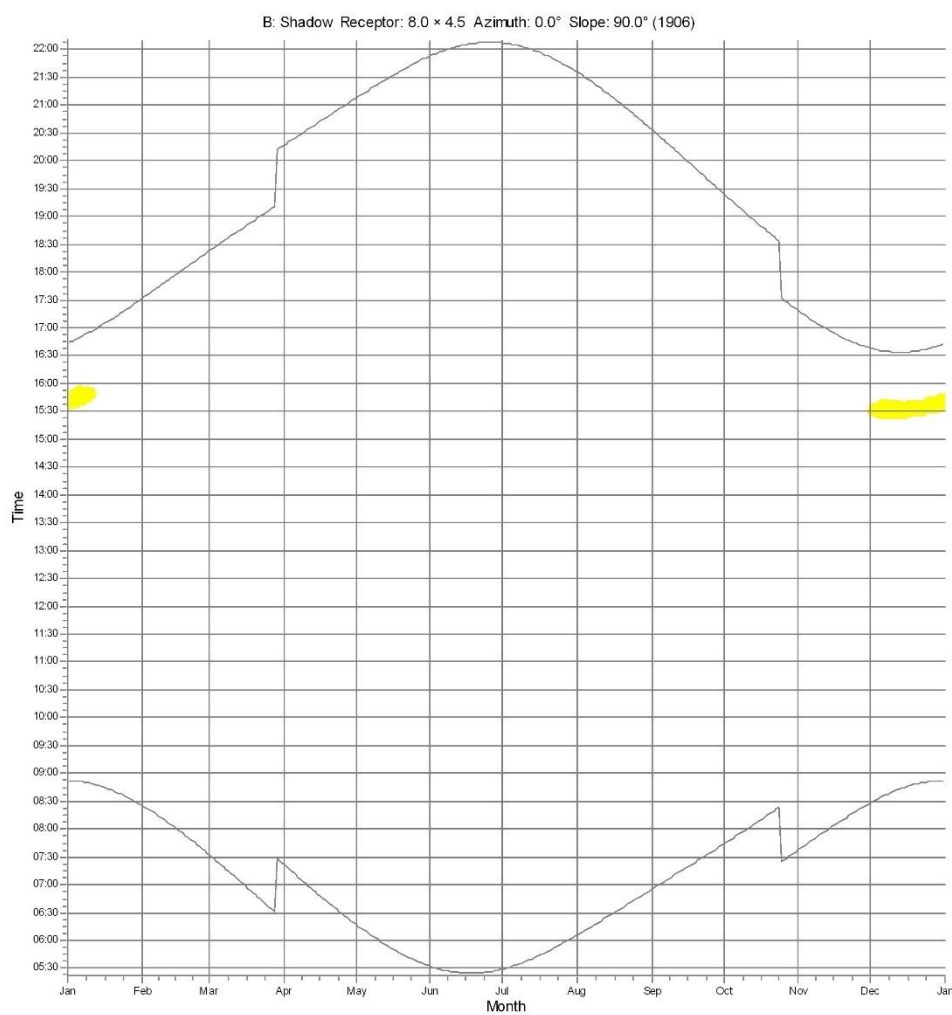
- wt-01: Pondera 165/145 8000 165.0 l-l hub: 117.5 m (TOT: 200.0 m) (1)
- wt-02: Pondera 165/145 8000 165.0 l-l hub: 117.5 m (TOT: 200.0 m) (2)

Project:
ss 720128

Licensed user:
Pondera Consult B.V.
Amsterdamseweg 13
NL-6814 CM Arnhem
+31 (0)88 7663372
Pondera / w.pustjens@ponderaconsult.com
Calculated:
28-2-2022 14:11/3.5.552

SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: WP Haringvliet - camping Rondewelbos bladbreedte **Shadow receptor:** B - Shadow Receptor: 8.0 × 4.5 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (1906)



WTGs

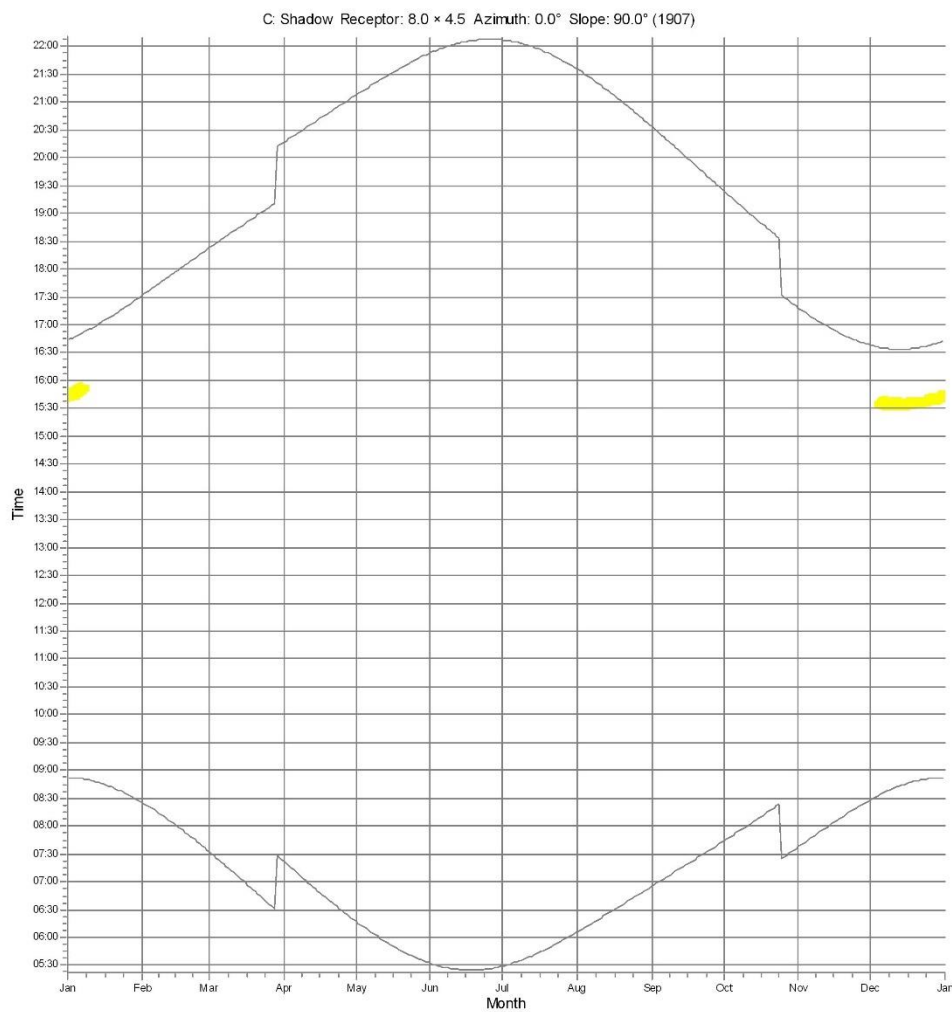
wt-02: Pondera 165/145 8000 165.0 l-l hub: 117.5 m (TOT: 200.0 m) (2)

Project:
ss 720128

Licensed user:
Pondera Consult B.V.
Amsterdamseweg 13
NL-6814 CM Arnhem
+31 (0)88 7663372
Pondera / w.pustjens@ponderaconsult.com
Calculated:
28-2-2022 14:11/3.5.552

SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: WP Haringvliet - camping Rondewelbos bladbreedte **Shadow receptor:** C - Shadow Receptor: 8.0 × 4.5 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (1907)



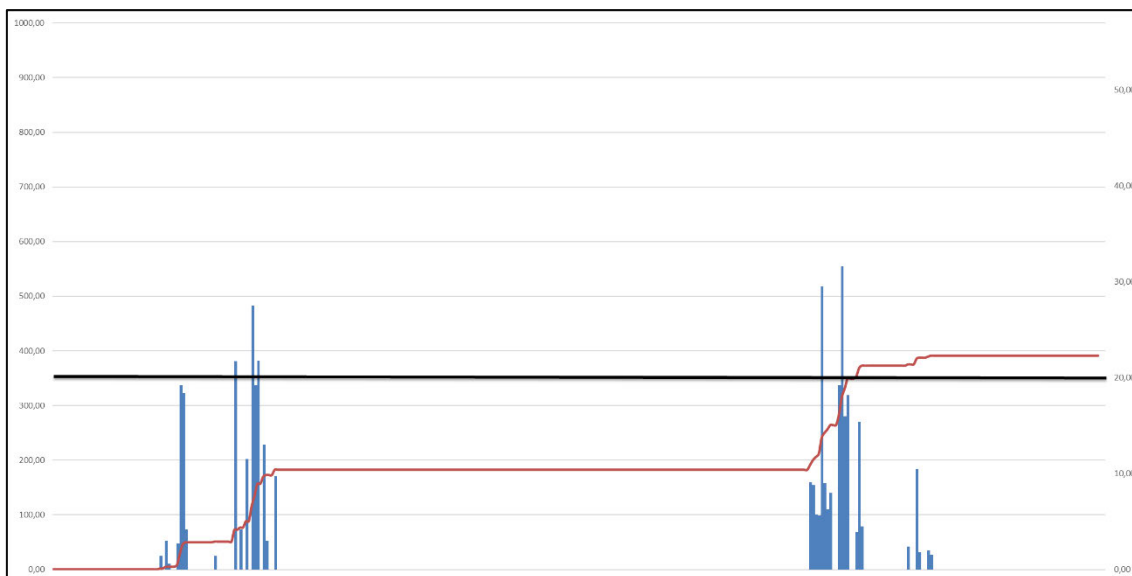
WTGs

wt-02: Pondera 165/145 8000 165.0 l-l hub: 117.5 m (TOT: 200.0 m) (2)

Bijlage 8 Slagschaduw voorbeeldgrafieken

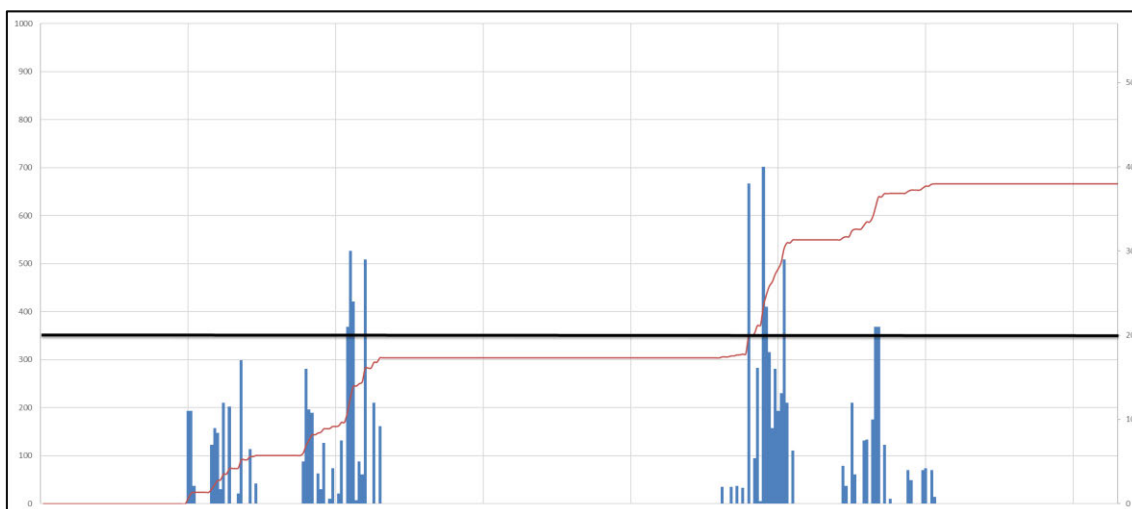
Situatie A – Een jaar voor een woning met 17 dagen met meer dan 20 minuten aan slagschaduw:

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.

