



a company of **Haskoning**

Onderzoek akoestiek, slagschaduw, externe veiligheid

Programma Duurzame Energie (PDE) gemeente
Dordrecht

Gemeente Dordrecht

725058 | V2.0

7 augustus 2025



Pondera

Hoofdvestiging Nederland

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

Postbus 919
6800 AX Arnhem

Vestiging South East Asia

Jl. Mampang Prapatan XV no 18
Mampang
Jakarta Selatan 12790
Indonesia

Vestiging North East Asia

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

Vestiging Vietnam

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

Colofon

Soort document

Onderzoek akoestiek, slagschaduw, externe veiligheid

Projectnaam

Programma Duurzame Energie (PDE) gemeente Dordrecht

Versienummer

V2.0

Datum

7 augustus 2025

Project nummer

725058

Opdrachtgever

Gemeente Dordrecht

Auteur

Timo van Arkel, Stefan Flanderijn

Nagekeken door

Roy van Alst

Disclaimer

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

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Akoestisch onderzoek	3
2.1	Normstelling	3
2.2	Invoer rekenmodel	4
2.3	Windaanbod	5
2.4	Geluidbron Nordex N163/6.X STE	6
2.5	Geluidbron Siemens Gamesa SG170	7
2.6	Rekenresultaten	8
2.7	Analyse geluid	10
2.8	Voorzieningen geluid	11
3	Slagschaduwonderzoek	12
3.1	Normstelling	12
3.2	Slagschaduwgebied	12
3.3	Potentiële slagschaduw	13
3.4	Rekenresultaten	14
3.5	Potentiële maatregelen	16
4	Externe veiligheid	17
4.1	Plaatsgebonden risicocontouren	17
4.2	Analyse buisleiding	22
Bijlage A.	Geluidcontouren Nordex N163/6.X STE	27
Bijlage B.	Geluidcontouren Siemens Gamesa SG170	31
Bijlage C.	Slagschaduwcontouren	35
Bijlage D.	Invoergegevens slagschaduwmodel	39

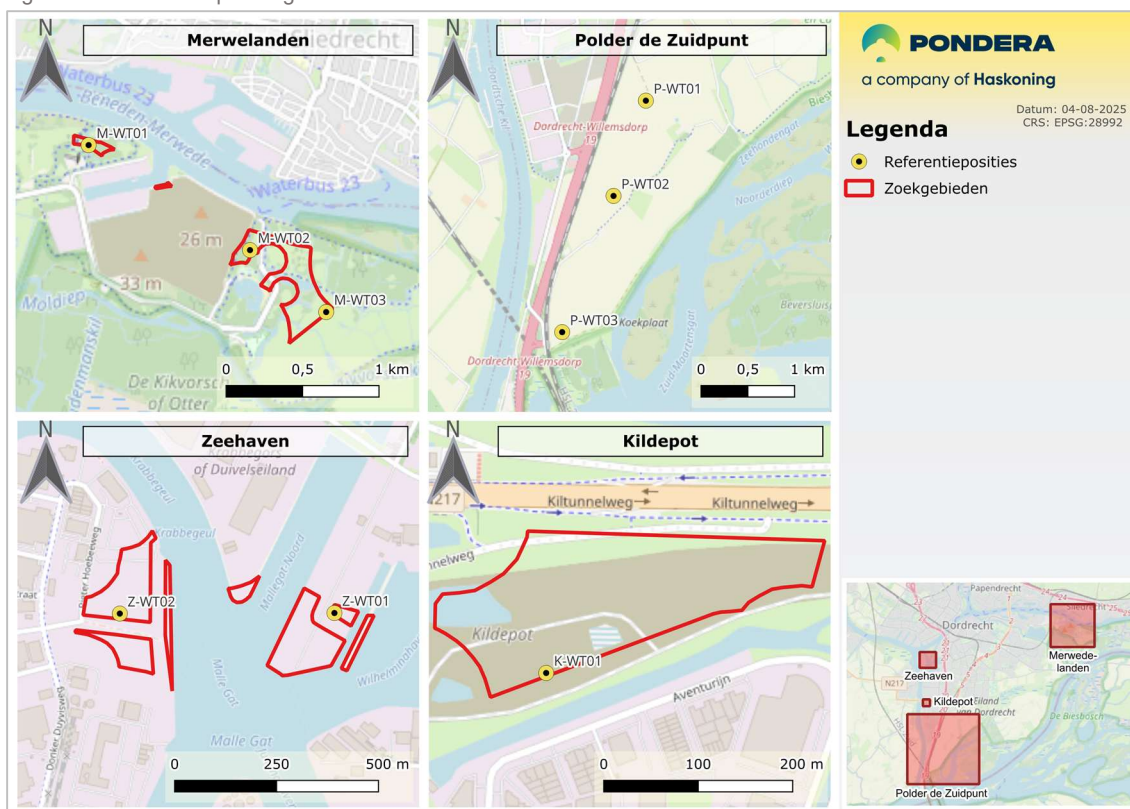
1 Inleiding

Dit rapport dient als aanvulling op de planMER voor verschillende zoekgebieden in de gemeente Dordrecht. In dit rapport worden onderzoeken wat betreft akoestiek, slagschaduw en externe veiligheid verder toegelicht. Hierin worden dezelfde uitgangspunten gehanteerd als voor het planMER. Tabel 1.1 toont de turbineafmetingen. In Figuur 1.1 zijn de referentieopstellingen voor de verschillende zoekgebieden weergegeven.

Tabel 1.1 Turbineafmetingen

Eigenschap	Afmetingen (m)
Rotordiameter	170
Tiphoogte (boven maaiveld)	255
Tiplaagte	85

Figuur 1.1 Referentieopstellingen



2 Akoestisch onderzoek

2.1 Normstelling

Volgens artikel 22.76 van het Omgevingsplan van de gemeente Dordrecht¹ wordt het geluidniveau vanwege een windturbine of een combinatie van windturbines dat optreedt op de gevels van geluidgevoelige gebouwen getoetst aan de waarden 47 dB L_{den} en 41 dB L_{night} .

Bij de toepassing van artikel 22.76 van het Omgevingsplan wordt geen rekening gehouden met een windturbine of een combinatie van windturbines die behoort tot een andere activiteit (voorheen: inrichting) waarvoor tot 1 januari 2011 een vergunning in werking en onherroepelijk was of een melding was gedaan (Artikel 12.13j Besluit kwaliteit leefomgeving). Dit betekent dat geen rekening hoeft te worden gehouden met reeds bestaande windturbines vergund voor 2011.

Kader 2.1 Geluidnorm in relatie tot het ontwerpbesluit windturbines leefomgeving

Voor geluid wordt in het ontwerpbesluit een standaardwaarde van 45 dB L_{den} en 39 dB L_{night} voor geluidgevoelige gebouwen (voorheen: 'objecten') voorgesteld, en een grenswaarde van 47 dB L_{den} en 41 dB L_{night} . Daarnaast wordt een straftoeslag van +5 dB voorgesteld wanneer het door de windturbines geproduceerde geluid als tonaal wordt aangemerkt.

Laagfrequent geluid

Er is geen algemeen geaccepteerd normstelsel voorhanden waarmee laagfrequente geluidhinder kan worden geobjectiveerd. Laagfrequent geluid (LFG) is geluid in het voor mensen laagst hoorbare frequentiegebied, onder 200 Hz. Windturbines stralen, net als de meeste geluidbronnen, ook laagfrequent geluid uit.

Het RIVM heeft op verzoek van de GGD-en de invloed op de beleving en gezondheid van omwonenden door windturbines onderzocht². Uit dit onderzoek blijkt dat windturbines weliswaar laagfrequent geluid produceren maar dat er geen bewijs bestaat dat dit een factor van belang is. Bij een A-gewogen normstelling van 47 dB L_{den} is geen noodzaak voor een aanvullende normstelling van laagfrequent geluid. De mate van bescherming bij een geluidnorm van 47 dB L_{den} wordt eveneens beschouwd in een literatuuronderzoek³ naar laagfrequent geluid van windturbines van Agentschap NL. Ook hier zijn geen aanwijzingen dat het aandeel laagfrequent geluid een bijzondere dan wel belangrijke rol speelt.

¹ <https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR696337/1>

² Windturbines: invloed op de beleving en gezondheid van omwonenden, GGD Informatieblad medische milieukunde Update 2013; RIVM-rapport 200000001/2013.

³ Literatuuronderzoek laagfrequent geluid windturbines, LBP Sight in opdracht van Agentschap NL, projectnummer DENB 138006 september 2013.

Tenslotte is door de Staatsecretaris van Infrastructuur en Milieu, mede namens de minister van Economische Zaken en de minister van Infrastructuur en Milieu over het onderwerp laagfrequent geluid van windturbines een brief aan de Tweede kamer gestuurd⁴. Deze brief baseert zich onder andere op bovengenoemd onderzoek van het RIVM waarin wordt gesteld dat:

- laagfrequent geluid bij windturbines in samenhang met hogere frequenties wordt gehoord en niet afzonderlijk hiervan;
- dit impliceert tevens dat de effecten van laagfrequent geluid op mensen niet anders zullen zijn dan effecten van geluid met hogere frequenties zoals hinder, slaapverstoring, moeheid, concentratieproblemen en dergelijke;
- voor beweringen dat laagfrequent geluid van windturbines allerlei klinische ziekten bij mensen kan veroorzaken is geen betrouwbare bewijsvoering aangetroffen, hetgeen in lijn is met de voorgegaande inzichten;
- het feitelijke aandeel laagfrequent geluid in het brongeluid van een windturbine gering is. Daarom is ook het aandeel in de geluidbelasting op een woninggevel gering;
- bij het groter worden van turbines (tot 5 of 7,5 MW) zal dit aandeel met hooguit 1 à 2 dB toenemen. Het bij de Nederlandse norm voor windturbinegeluid voorgeschreven reken- en meetvoorschrift is goed in staat om hiermee rekening te houden zodat een correcte toetsing aan de norm mogelijk is;
- de Deense norm voor laagfrequent windturbinegeluid in het binnenmilieu van een woning geen extra bescherming biedt ten opzichte van een norm van 47 dB L_{den} voor de gevelbelasting in geval van een standaard geïsoleerde woning.

Op grond van de brief van de Staatsecretaris kan worden gesteld dat toetsing aan een geluidnorm van 47 dB L_{den} (zoals in dit rapport gebeurt) voldoende bescherming biedt tegen laagfrequent geluid. Het is dan ook niet noodzakelijk onderzoek uit te voeren naar laagfrequent geluid voor deze windturbines. Ook uit een recentere literatuurstudie⁵ van het RIVM (2020) blijkt dat laagfrequent geluid niet zorgt voor extra hinder dan hinder gerelateerd aan 'gewoon' geluid.

2.2 Invoer rekenmodel

Van de situatie is een akoestisch rekenmodel opgesteld met behulp van het programma Geomilieu® versie V2024.0. Hiermee zijn de jaargemiddelde geluidniveaus berekend. De modellering en de overdrachtsberekening zijn uitgevoerd conform de Meet- en rekenmethode geluid windturbines.

De geometrie van de omgeving is vastgesteld aan de hand van kaartmateriaal (BAG, TOP10NL), luchtfoto's en aangeleverde documentatie. In het gebied zijn bodemgebieden standaard aangeduid als akoestisch absorberend ($B = 0,9$). Relevante wegen, verhardingen, wateroppervlakken en zonneparken zijn aangeduid als akoestisch reflecterend ($B = 0,0$). Gebieden met gedeeltelijke verharding en gedeeltelijke begroeiing zijn aangeduid met een bodemfactor $B = 0,5$. Bebouwing (bedrijventerrein) is aangeduid met een bodemfactor van $B = 0,3$.

De windturbines zijn akoestisch gemodelleerd met drie rondom uitstralende puntbronnen (dag-, avond- en nachtemissie) ter hoogte van de rotoras.

⁴ Brief d.d. 31 maart 2014, betreft laagfrequent geluid van windturbines, kenmerk IenM/bsk-2014/44564, staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu Wilma J. Mansveld.

⁵ Gezondheidseffecten van windturbinegeluid, RIVM-rapport 2020-0214, I. van Kamp & G.P. van den Berg

De geluidsberekeningen ten behoeve van de geluidcontouren worden uitgevoerd op een raster van rekenpunten op een hoogte van 5 m boven het maaiveld. Daarmee worden geluidcontouren bepaald, ofwel lijnen waar de geluidbelasting overal dezelfde waarde heeft.

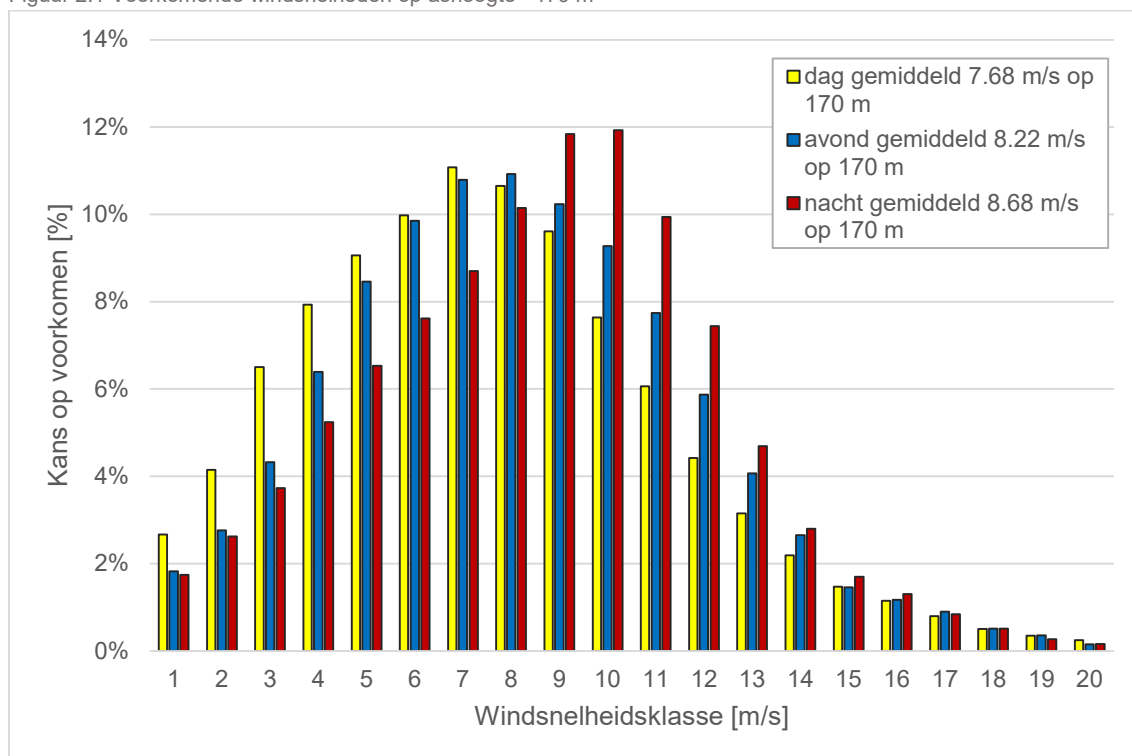
Voor het akoestisch onderzoek is gerekend met twee windturbinemodellen. De Nordex N163/6.X STE biedt een *worst-case* benadering van het windturbine geluid. Daarnaast is ook de Siemens Gamesa SG170 opgenomen welke een gemiddelde windturbine binnen de bandbreedte representeert wat betreft windturbinegeluid.

2.3 Windaanbod

De jaargemiddelde bronsterkte L_E van een windturbine is afhankelijk van de optredende windsnelheden op ashoogte. Door het KNMI zijn gegevens gepubliceerd over de distributie van voorkomende windsnelheden op 10 tot 260 m hoogte. Deze KNMI-gegevens zijn gebaseerd op langjarige windstatistiek. De distributies zijn gespecificeerd voor de dag-, de avond- en de nachtperiode. De gegevens zijn gebaseerd op het meteo-model van het KNMI en beschikbaar op raster-punten over heel Nederland⁶.

Voor de geluidberekeningen is uitgegaan van de windverdeling op maximale ashoogte (170 m) voor een windturbine met een rotordiameter van 163 m. In Figuur 2.1 is de windverdeling weergegeven op 170 m ashoogte voor de dag-, avond- en nachtperiode. Windsnelheden boven 20 m/s zijn hier niet weergegeven omdat de kans dat deze voorkomen erg laag is, echter de berekening houdt er wel rekening mee.

Figuur 2.1 Voorkomende windsnelheden op ashoogte +170 m



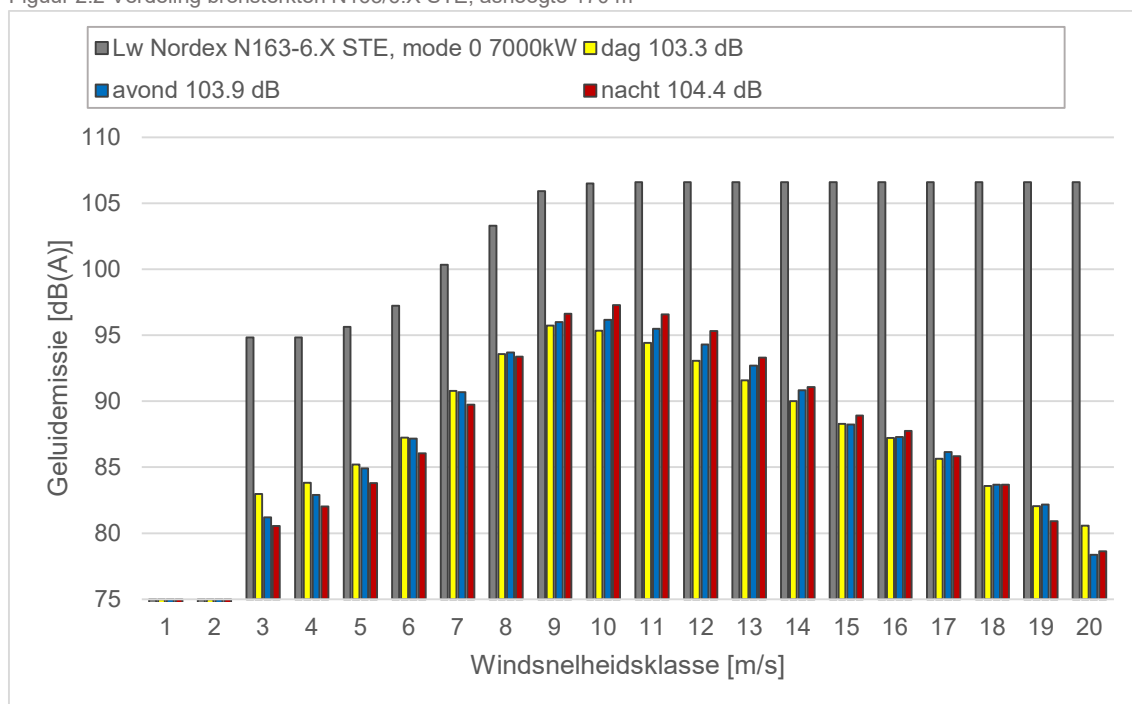
⁶ Omgevingsregeling, bijlage IVi, Meet- en rekenmethode geluid windturbines, §2.4.3 bepaling windsnelheidsverdeling.

2.4 Geluidbron Nordex N163/6.X STE

Nordex heeft geluidgegevens van de N163/6.X STE beschikbaar gesteld⁷. De bronsterkten zijn gerapporteerd bij windsnelheden op ashoogte van 3 t/m 12 m/s. Het gebruikte octaafspectrum is gegeven bij een windsnelheid van $V_{as}=8$ m/s. De maximale bronsterkte bedraagt 106,4 dB(A) en treedt op bij windsnelheden op ashoogte vanaf 6 m/s.

De gerapporteerde bronsterkten van de Nordex N163/6.X STE (grijze staven in Figuur 2.2) zijn omgerekend naar jaargemiddelde bronsterkten in relatie tot de windsnelheid op een ashoogte van 170 m.

Figuur 2.2 Verdeling bronsterkten N163/6.X STE, ashoogte 170 m



N.B.: In de grafiek zijn ook de gecorrigeerde bronsterkten weergegeven per windsnelheidsklasse voor de dag, de avond en de nacht. De gele, blauwe en rode staven representeren de bronsterkten gecorrigeerd voor het percentage van de tijd dat de betreffende windsnelheidsklasse optreedt. Cumulatie van deze bronsterkten over alle windsnelheidsklassen levert de jaargemiddelde bronsterkten op. Deze waarden L_{Wj} variëren en bedragen voor een ashoogte van 170 m 103,3, 103,9 en 104,4 dB(A) voor respectievelijk de dag-, de avond- en de nachtperiode.

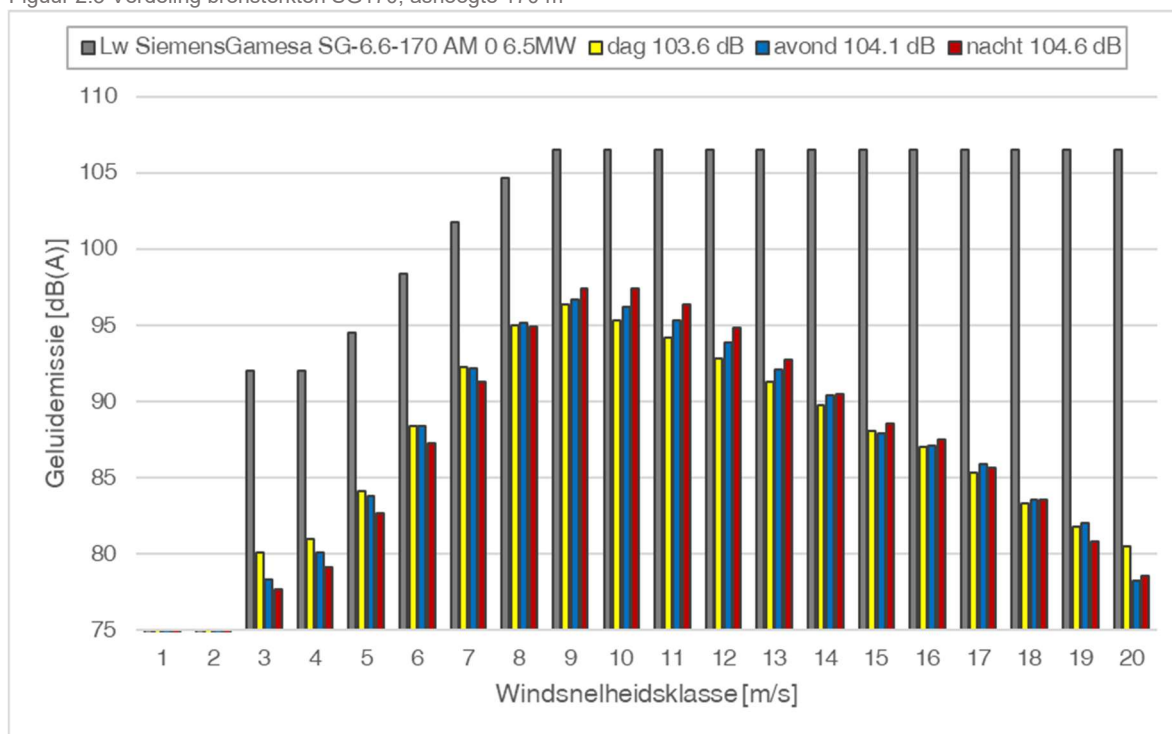
⁷ Octave sound power levels Nordex N163/6.X F008_277_A13_EN Revision 05, 2022-07-18, Nordex.

2.5 Geluidbron Siemens Gamesa SG170

Siemens Gamesa heeft geluidgegevens van de SG170 beschikbaar gesteld⁸. De bronsterkten zijn gerapporteerd bij windsnelheden op ashoogte van 3 t/m 12 m/s. Het gebruikte octaafspectrum is gegeven bij een windsnelheid van $V_{as}=8$ m/s. De maximale bronsterkte bedraagt 106,5 dB(A) en treedt op bij windsnelheden op ashoogte vanaf 9 m/s.

De gerapporteerde bronsterkten van de Siemens Gamesa SG170 (grijze staven in Figuur 2.2) zijn omgerekend naar jaargemiddelde bronsterkten in relatie tot de windsnelheid op een ashoogte van 170 m.

Figuur 2.3 Verdeling bronsterkten SG170, ashoogte 170 m



N.B.: In de grafiek zijn ook de gecorrigeerde bronsterkten weergegeven per windsnelheidsklasse voor de dag, de avond en de nacht. De gele, blauwe en rode staven representeren de bronsterkten gecorrigeerd voor het percentage van de tijd dat de betreffende windsnelheidsklasse optreedt. Cumulatie van deze bronsterkten over alle windsnelheidsklassen levert de jaargemiddelde bronsterkten op. Deze waarden $L_{w,j}$ variëren en bedragen voor een ashoogte van 170 m 103,6, 104,1 en 104,6 dB(A) voor respectievelijk de dag-, de avond- en de nachtperiode.

⁸ Standard Acoustic Emission SG 6.6-170 AM0-AM6; N1-N7

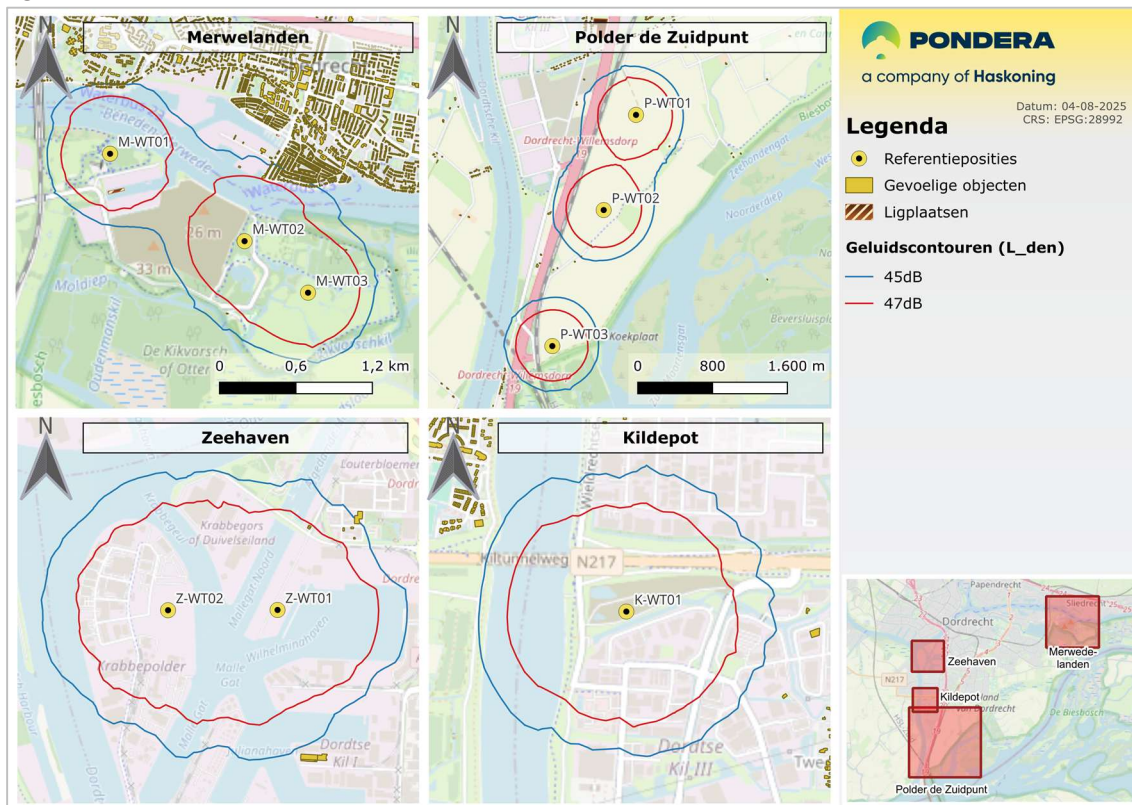
2.6 Rekenresultaten

Voor de verschillende zoekgebieden zijn de contouren van de jaargemiddelde geluidniveaus L_{night} en L_{den} in kaart gebracht die optreden op +5 m hoogte. De L_{den} is het tijdgewogen gemiddelde van:

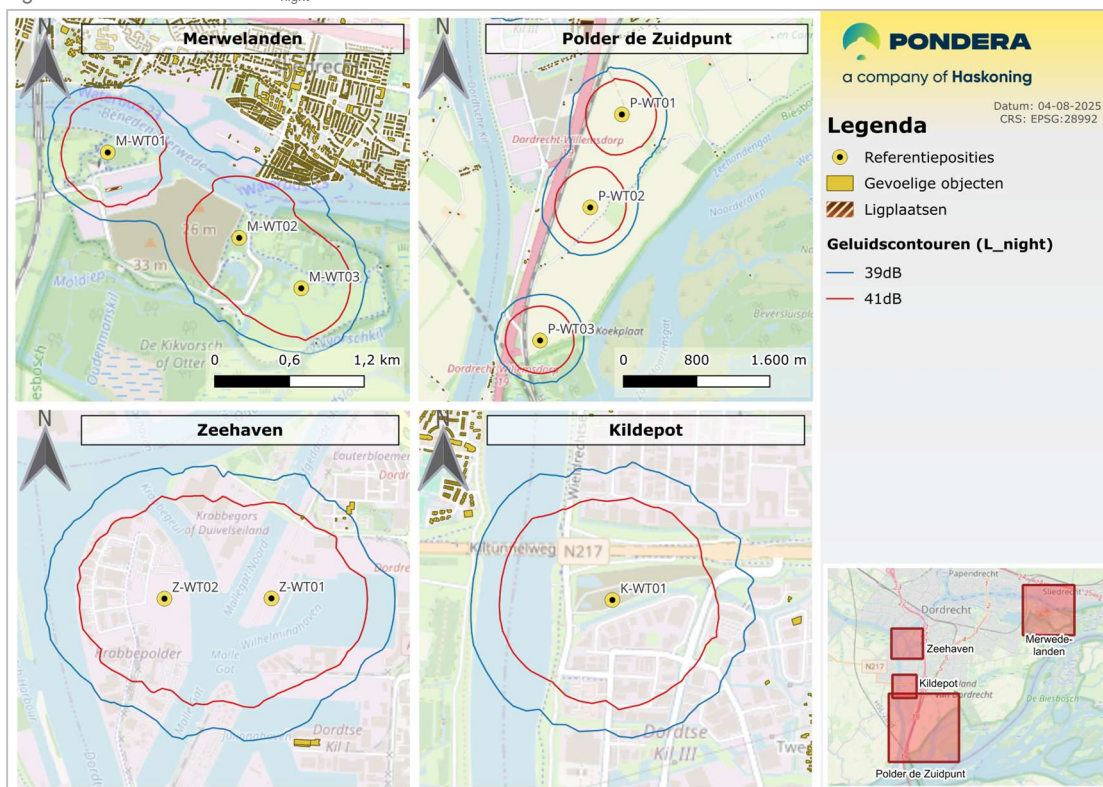
- Het jaargemiddelde geluidniveau in de dag L_{day} ;
- Het jaargemiddelde geluidniveau in de avond L_{even} vermeerderd met 5 dB;
- Het jaargemiddelde geluidniveau in de nacht L_{night} vermeerderd met 10 dB.

Een overzicht van de resultaten zijn weergegeven in Figuur 2.4 en Figuur 2.5 voor de worst-case N163/6.X en in Figuur 2.6 en Figuur 2.7 voor de SG170. Een gedetailleerdere weergave van de berekende geluidcontouren op een waarnemhoogte van +5 m weergegeven voor $L_{den} = 47$ en 45 dB alsmede voor $L_{night} = 41$ en 39 dB zijn opgenomen in Bijlage A en Bijlage B voor respectievelijk de Nordex N163/6.X STE en de Siemens Gamesa SG170.

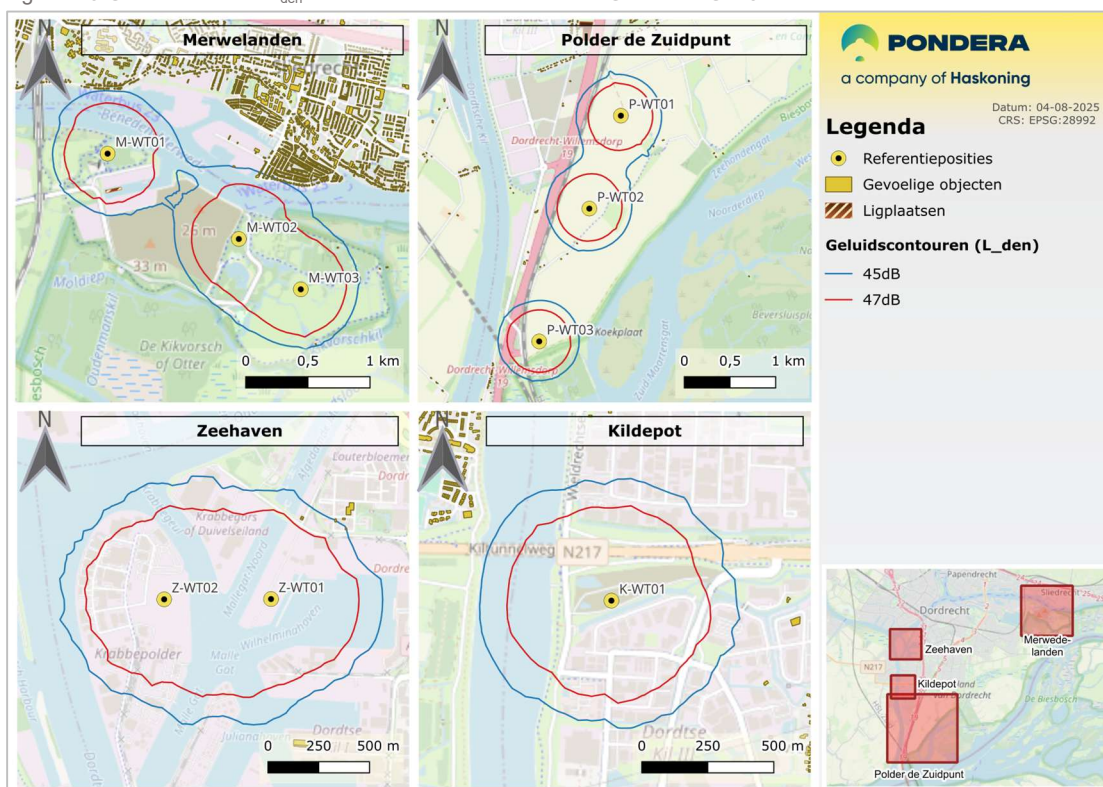
Figuur 2.4 Geluidcontouren L_{den} voor referentieturbine Nordex N163/6.X STE



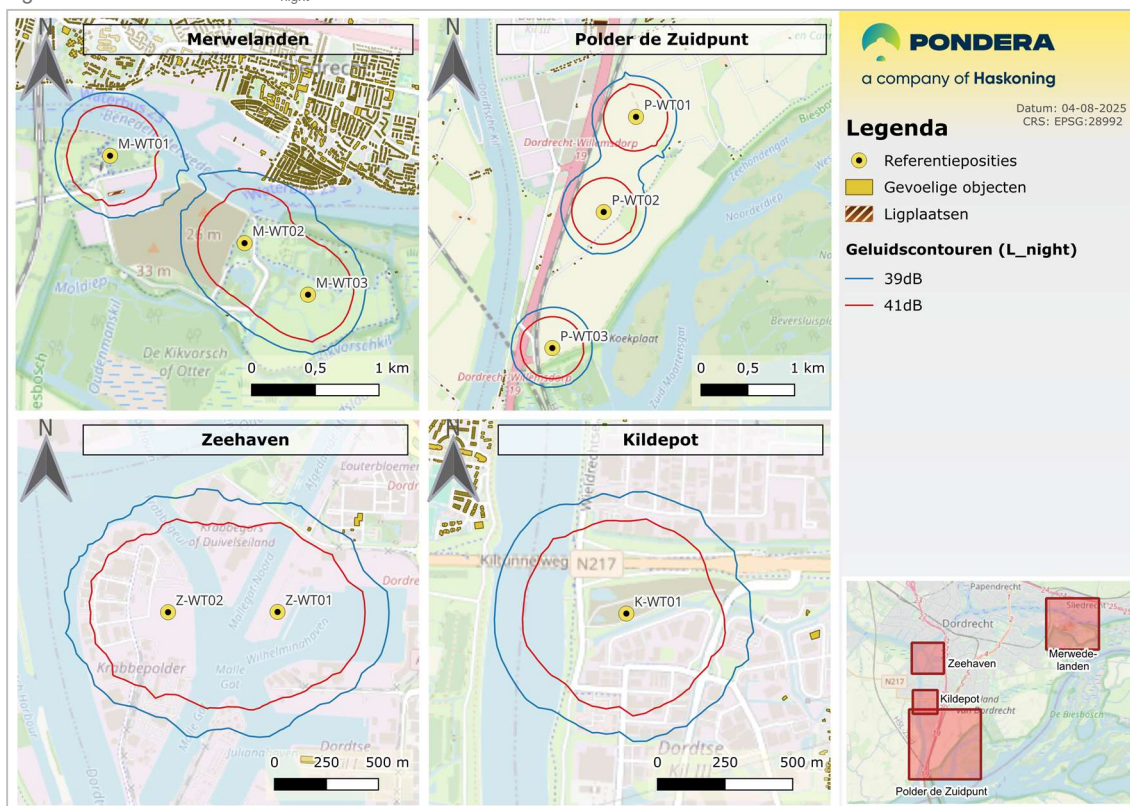
Figuur 2.5 Geluidcontouren L_{night} voor referentieturbine Nordex N163/6.X STE



Figuur 2.6 Geluidcontouren L_{den} voor referentieturbine Siemens Gamesa SG170



Figuur 2.7 Geluidcontouren L_{night} voor referentieturbine Siemens Gamesa SG170



2.7 Analyse geluid

In de bovenstaande figuren zijn de geluidcontouren van de windturbines en de ligging van geluidgevoelige gebouwen weergegeven. Wanneer de verschillende geluidcontouren overlappen met woningen of andere geluidgevoelige gebouwen, dienen mitigerende maatregelen getroffen te worden. Over het algemeen blijkt dat de geluidcontouren van de Nordex N163/6.X STE verder reiken. Bij de realisatie van dit windturbintype, zullen deze windturbines zwaarder gemitigeerd dienen te worden. In een later stadium van het haalbaarheidsonderzoek zal door middel van het uitvoeren van een toetspuntberekening de exacte mate van mitigatie bepaald dienen te worden. Hierbij wordt dan ook getoetst aan cumulatief geluid met andere geluidbronnen zoals industrieterreinen en lokale wegen.

Op basis van de ligging van de geluidgevoelige gebouwen en de geluidcontouren zijn de volgende aantallen bepaald die gelegen zijn binnen de geluidcontour van respectievelijk 45 en 47 dB L_{den} .

Tabel 2.1 Aantal woningen binnen 47 en 45 dB L_{den} geluidcontour

Zoekgebied	Worst case (N163)		Gemiddeld (SG170)	
	> 47 dB L_{den}	> 45 dB L_{den}	> 47 dB L_{den}	> 45 dB L_{den}
Merwelanden	0	170	0	20
Polder de Zuidpunt	1	2	0	1
Zeehaven	2	4	0	3
Kildepot	0	0	0	0

2.8 Voorzieningen geluid

Om te voldoen aan de gestelde geluidsnormen, kan ervoor worden gekozen om een andere windturbine met een lagere geluidemissie en of lagere ashoogte te nemen. Ook kan ervoor worden gekozen om (voor bepaalde perioden) de bedrijfsinstellingen van specifieke turbines te wijzigen. Met deze aangepaste bedrijfsinstellingen worden de bronsterkten van de turbines gereduceerd door bijvoorbeeld het toerental te verlagen en/of de bladhoek te verdraaien. Dit gaat enigszins ten koste van de energieopbrengst.

3 Slagschaduwonderzoek

3.1 Normstelling

Schaduweffecten van een draaiende windturbine kunnen hinder veroorzaken bij mensen. De maximale flikkerfrequentie, het contrast en de tijdsduur van blootstelling zijn van invloed op de mate van hinder die ondervonden kan worden. Bekend is dat flikkerfrequenties onder 2,5 Hz niet schadelijk zijn (veroorzaken niet potentieel epileptische aanvallen bij daarvoor gevoelige personen). Flikkerfrequenties tussen 2,5 Hz en 14 Hz kunnen als erg storend worden ervaren. Deze frequenties worden in de praktijk door gangbare windturbines niet bereikt. Een groter verschil tussen licht en donker (meer contrast) wordt als hinderlijker ervaren. Verder speelt de blootstellingsduur een grote rol bij de beleving.

Artikel 22.216 van het Omgevingsplan schrijft voor dat een turbine is voorzien van een automatische stilstandsvoorziening die de windturbine afschakelt indien slagschaduw optreedt ter plaatse van gevoelige objecten voor zover de afstand tussen de turbine en de woning minder bedraagt dan twaalf maal de rotordiameter en gemiddeld meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten slagschaduw kan optreden. In het kader van dit onderzoek wordt dit artikel als volgt geïnterpreteerd:

Bij de analyse worden alleen woningen van derden betrokken;

- De eventuele schaduw van turbines op een grotere afstand dan twaalf maal de rotordiameter wordt verwaarloosd;
- Schaduw bij een zonnestand lager dan drie graden wordt als niet-hinderlijk beschouwd. Bij zonsopkomst en zonsondergang is het licht vrij diffuus en wordt de turbine vaak aan het zicht onttrokken door gebouwen en begroeiing;
- Bij een windpark worden de schaduwduren en schaduwdagen van afzonderlijke turbines opgeteld voor zover de schaduwen elkaar niet overlappen;
- Er is geen stilstandsvoorziening op een turbine nodig als de gemiddelde duur van hinderlijke schaduw minder is dan 6 uur per jaar. Dit is een strengere beoordeling dan volgens het Omgevingsplan, omdat volgens het Omgevingsplan op 17 dagen per jaar de hinderduur van zonsopgang tot zonsondergang meer dan 20 minuten mag bedragen en op alle overige dagen in het jaar de hinderduur door slagschaduw minder dan 20 minuten mag bedragen. Opgeteld kan de norm uit het Omgevingsplan dus een langere slagschaduwduur opleveren dan 6 uur per jaar.

Kader 3.1 Slagschaduwnorm in relatie tot het ontwerpbesluit windturbines leefomgeving

Voor slagschaduw wordt in het ontwerpbesluit een norm van 6 uur per jaar en 20 minuten per dag voor slagschaduwgevoelige gebouwen (zijnde hetzelfde als geluidgevoelige gebouwen) voorgesteld. Voor andere gebouwen wordt geen norm voorgesteld in het ontwerpbesluit. Het slagschaduwgebied wordt begrensd op een afstand van twaalf maal de rotordiameter en slagschaduw wordt als hinderlijk beschouwd bij een minimale zonhoogte van 3 graden boven de horizon geconfigureerd.

3.2 Slagschaduwgebied

Bij de opkomst en de ondergang van de zon kan de schaduw van een turbine aan de westkant en aan de oostkant ver reiken. Op afstanden groter dan twaalf maal de rotordiameter wordt de slagschaduw echter niet meer als hinderlijk beoordeeld. Aan de noordzijde wordt het schaduwgebied begrensd omdat de zon in het zuiden altijd hoog staat. Aan de zuidzijde treedt nooit schaduw op omdat de zon nooit in het noorden staat.

3.3 Potentiële slagschaduw

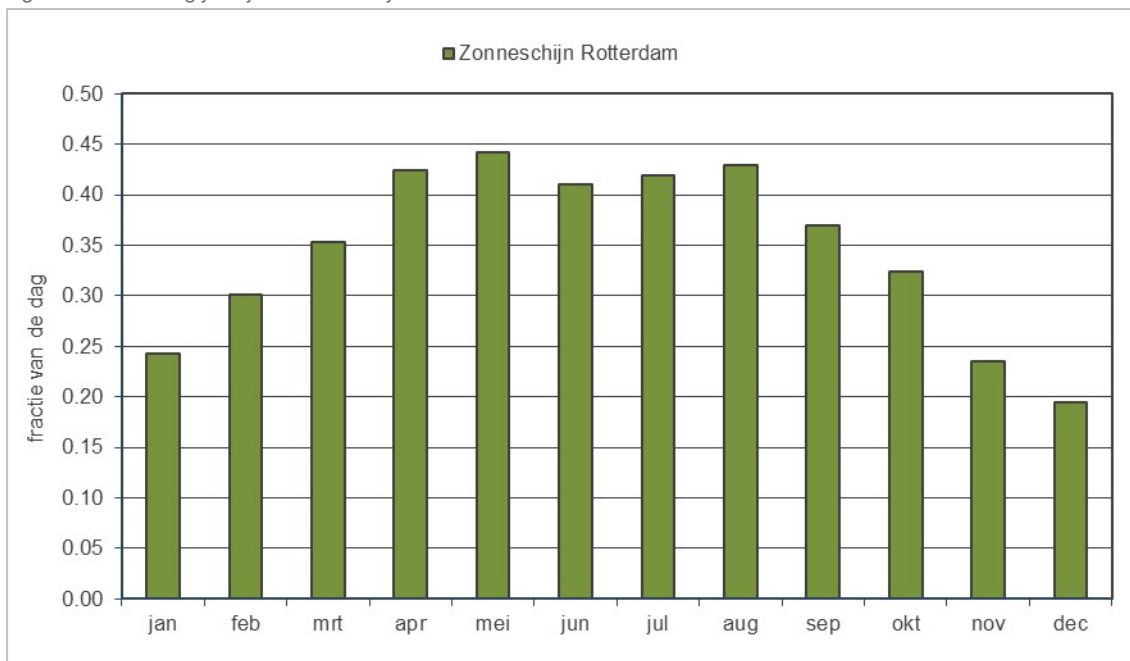
Op basis van de turbineafmetingen, de gang van de zon op deze locatie en een minimale zonshoogte van drie graden, zijn de dagen en tijden berekend waarop slagschaduw kan optreden. De gang van de zon is voor alle dagen van het jaar bepaald met een astronomisch rekenmodel waarbij rekening is gehouden met de betreffende locatie (noorderbreedte en oosterlengte) op de aarde. De potentiële schaduwduur is een theoretisch maximum. Hieruit is de verwachte hinderduur berekend door het toepassen van correcties. Als gevolg van deze correcties is de verwachte hinderduur aanmerkelijk korter dan de potentiële schaduwduur.

De potentiële schaduwduur is nauwkeurig te berekenen, afhankelijk van de nauwkeurigheid van de invoer van de geometrie (positie en afmeting van de turbine en positie van de woningen) en van de nauwkeurigheid waarmee de zonnestand wordt bepaald. De correcties om te komen tot de verwachte hinderduur zijn echter een voorspelling op basis van de geschiedenis. De meteogegevens zijn bepaald op basis van gemiddelde gemeten data over twintig jaar. De verwachting is dat in de toekomst deze gemiddelden over langere perioden hier niet in grote mate van af zullen wijken.

3.3.1 Zonneschijn

Schaduw is er alleen als de zon schijnt. Deze correctie is gebaseerd op het percentage van de daglengte dat de zon gemiddeld schijnt in dit gebied en in de betreffende maand. De percentages worden ontleend aan meerjarige data van het nabijgelegen meteostation Rotterdam.

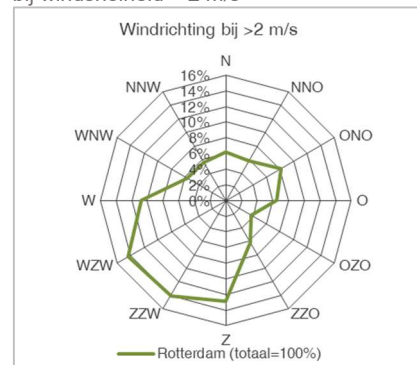
Figuur 3.1 Verdeling jaarlijkse zonneschijn Rotterdam.



3.3.2 Oriëntatie

Het rotorvlak staat niet altijd haaks op de schaduwrichting waardoor de hinderduur wordt beperkt. Als het rotorvlak evenwijdig staat aan de schaduwrichting treedt er geen of nauwelijks lichtflikkering op. Afhankelijk van de richting waar de windturbine staat ten opzichte van woning ligt de deze correctie tussen circa 55% en 75%. Deze correctie is gebaseerd op de distributie van de voorkomende windrichtingen. De winddistributie van meteostation Rotterdam is weergegeven in Figuur 3.2. De percentages worden ontleend aan meerjarige data van meteostations waarbij alleen de windsnelheden boven 2 m/s (op 10 m hoogte, overeenkomend met circa 3 m/s op ashoogte) zijn betrokken.

Figuur 3.2 Distributie windrichtingen bij windsnelheid > 2 m/s



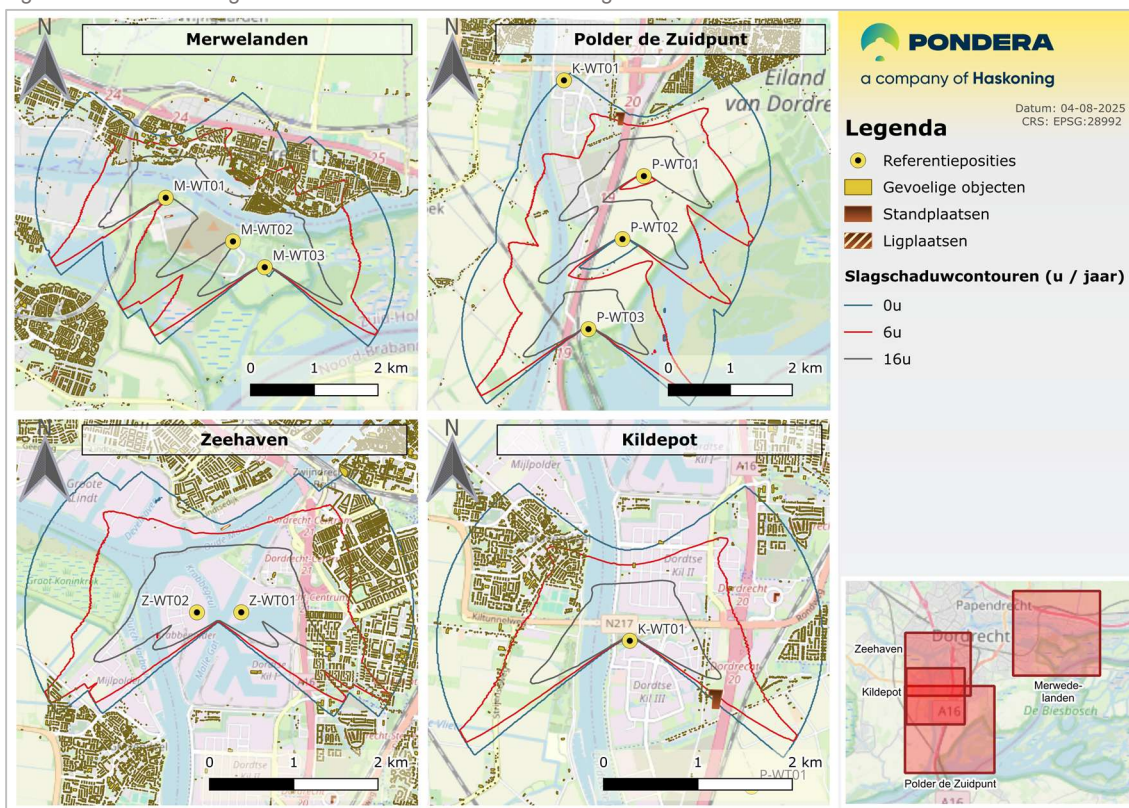
3.4 Rekenresultaten

Voor het slagschaduwonderzoek is gebruikgemaakt van het programma windPRO versie 4.0.424. Bij de slagschaduwanalyse is geen rekening gehouden met obstakels in de omgeving. In de praktijk kunnen er zich daarnaast nog locatiespecifieke beplanting en gebouwen bevinden die de slagschaduw beperken. Een dergelijk detailniveau is hier niet meegenomen. De hoeveelheid slagschaduw is daarmee 'worst case' bepaald. Echter, zijn de slagschaduwcontouren een 'real case' inschatting van de te ontvangen slagschaduw waarbij rekening wordt gehouden met gemiddelde uren zonneshijns per maand en de veranderingen van de windrichtingen gedurende het jaar.

Voor de weergave van contouren op kaart wordt door het rekenprogramma automatisch uitgegaan van een rekenraster waarop per rasterpunt de schaduwduur wordt berekend op een oppervlak van 1 m². De ervaring leert dat de contouren van 5 uur per m² een goede weergave zijn van 6 uur per gevel/woning. Er wordt tevens gekeken naar de 15-uurscontour (wederom per m², komt overeen met 16 uur per jaar per gevel) om informatie te geven over de optredende slagschaduwduren binnen de zes urencontour voor zowel toetspunten als op locaties waar geen toetspunt aanwezig is.

Voor de windturbines in de verschillende zoekgebieden zijn de slagschaduwcontouren weergegeven in Figuur 3.3. Teven zijn gedetailleerdere kaarten van de slagschaduwcontouren opgenomen in Bijlage C. De in- en uitvoergegevens van het slagschaduwmodel zijn gegeven Bijlage D.

Figuur 3.3 Overzicht slagschaduwcontouren verschillende zoekgebieden



Voor slagschaduwgevoelige gebouwen en locaties waar een overschrijding van de norm plaatsvindt, dient, om te voldoen aan de norm van maximaal 6 uur slagschaduw per jaar (ter plaatse van de in de omgeving aanwezig zijnde gevoelige objecten), slagschaduw te worden beperkt middels een stilstandregeling tot het niveau van 6 uur per jaar wordt bereikt.

De frequenties van de lichtflikkeringen⁹ liggen met maximaal 0,62 Hz ruimschoots onder de 2,5 Hz dat als erg storend wordt ervaren en schadelijk kan zijn.

In onderstaande Tabel 3.1 zijn voor 3 hoeveelheden slagschaduw (tussen 0u en 6u per jaar, tussen 6u en 16u per jaar en meer dan 16u per jaar) het aantal woningen per zoekgebied inzichtelijk gemaakt. Er is daarbij geen rekening gehouden met cumulatie.

Tabel 3.1 Aantal woningen en hoeveelheid verwachte slagschaduw [u per jaar]

Locatie	0 – 6 u	6 – 16u	> 16u
Merwelanden	5383	3564	622
Polder de Zuidpunt	264	93	5
Zeehaven	7127	3484	380
Kildepot	3605	677	22

⁹ Bepaald op basis van de maximale rotatiesnelheid van de windturbine. Er is uitgegaan van de maximale rotatiesnelheid van de Siemens SWT-DD-142 van 11,2 rpm (windturbine met een hoge rotatiesnelheid binnen bandbreedte).

3.5 Potentiële maatregelen

Wanneer er een overschrijding van de 6 uur-norm plaatsvindt, dienen de windturbines te worden uitgerust met een stilstandsvoorziening om te voldoen aan slagschaduwnorm uit artikel 22.216 uit het Omgevingsplan. In de turbinebesturing kunnen hiervoor blokken van dagen en tijden worden geprogrammeerd waarop de rotor wordt gestopt indien de zon schijnt en de turbine draait omdat er op die momenten slagschaduw valt op woningen waar de betreffende turbine bijdraagt aan een overschrijding van de norm. Een dergelijke voorziening leidt tot enig productieverlies. De totale stilstandsduur kan met een zonneshijnsensor beperkt worden door de turbine alleen te stoppen op geprogrammeerde tijden indien ook tegelijkertijd de zon schijnt. Wanneer de zon niet schijnt zal er ook geen sprake zijn van slagschaduw en kan de turbine door blijven draaien. Wanneer de definitieve keuze van het turbinetype bekend is zal er een stilstandskalender worden bepaald waarmee de stilstandsvoorziening van de turbines kan worden geprogrammeerd.

4 Externe veiligheid

Voor de vier zoekgebieden zijn voor de voorbeeldopstelling plaatsgebonden risicocontouren bepaald en inzichtelijk gemaakt. Daarnaast is er voor de buisleiding in het zoekgebied Polder de Zuidpunt een analyse uitgevoerd met betrekking tot de buisleiding.

4.1 Plaatsgebonden risicocontouren

De rekenmethode om het plaatsgebonden risico te bepalen is beschreven in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV – versie januari 2025. Voor het faalscenario bladbreuk is gerekend met het ballistisch model zonder luchtkrachten.

Volgens de toelichting op het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV bedraagt de maximale afstand van de PR 10^{-06} contour het maximum van:

- tiphoogte (ashoogte + halve rotordiameter)
- werpafstand bij nominaal toerental

De maximale afstand van de PR 10^{-05} contour bedraagt een halve rotordiameter.

Op basis van beschikbare windturbines binnen de bandbreedte¹⁰ zijn de afstanden voor de PR-contouren bepaald die zijn weergegeven in onderstaande Tabel 4.1.

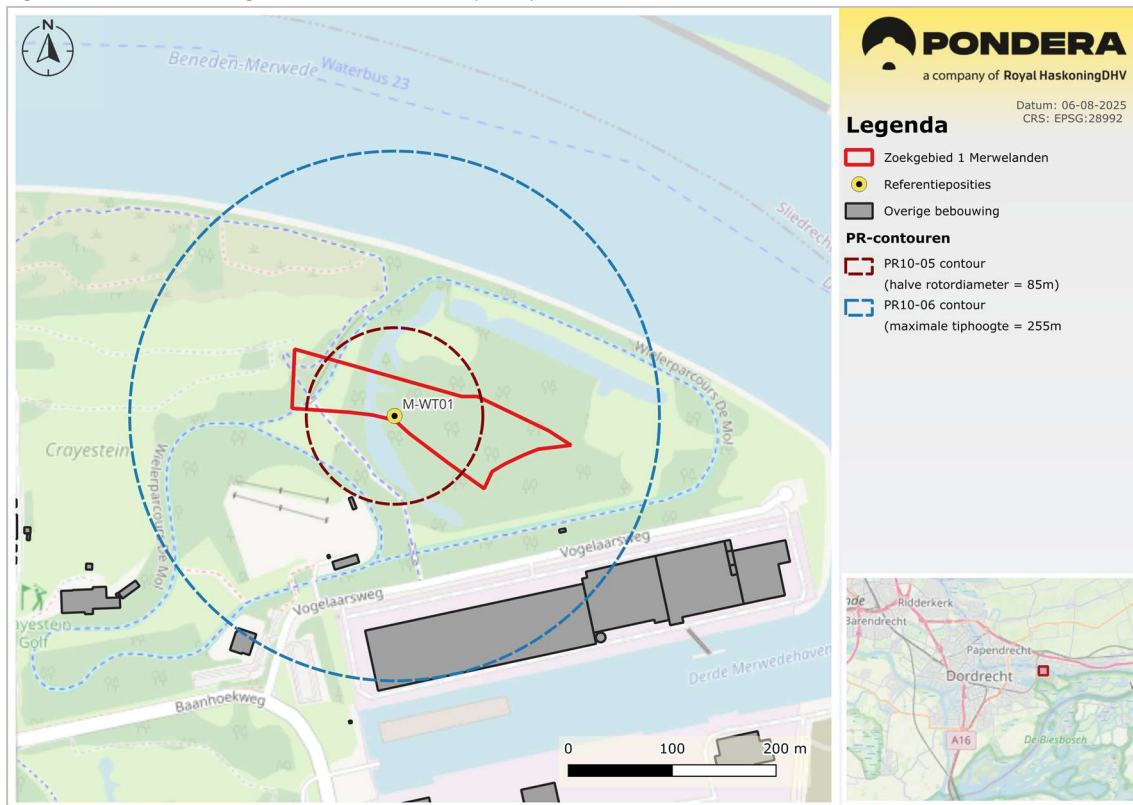
Tabel 4.1 Bepaling maximale afstanden PR-contouren

Eigenschap	Waarde	Eenheid
Maximale tiphoogte	255	meter
Maximale rotordiameter	170	meter
Maximale werpafstand (Nordex N163/6.X op 164 m ashoogte)	202	meter
Maximale afstand PR 10^{-06} contour	255	meter
Maximale afstand PR 10^{-05} contour	85	meter

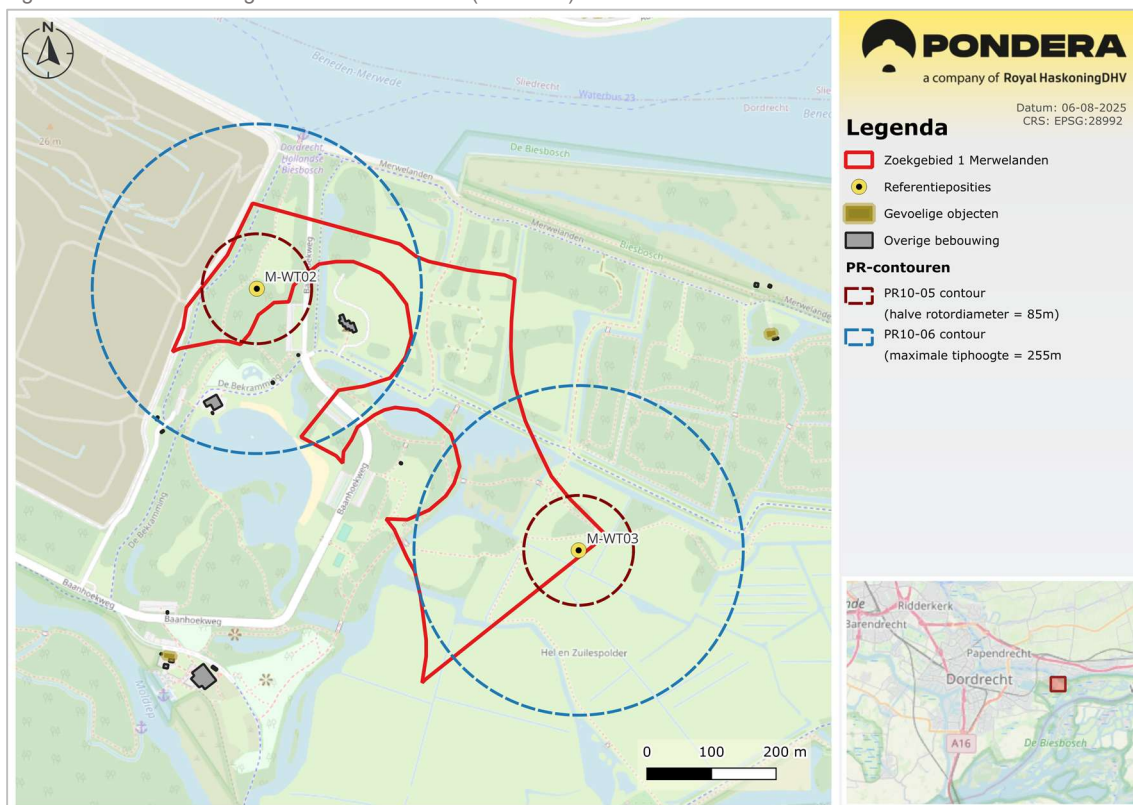
De ligging van de PR-contouren en nabijgelegen (beperkt) kwetsbare gebouwen zijn per opstelling hieronder weergegeven in Figuur 4.1 t/m Figuur 4.3.

¹⁰ De bandbreedte is weergegeven in Tabel 1.1

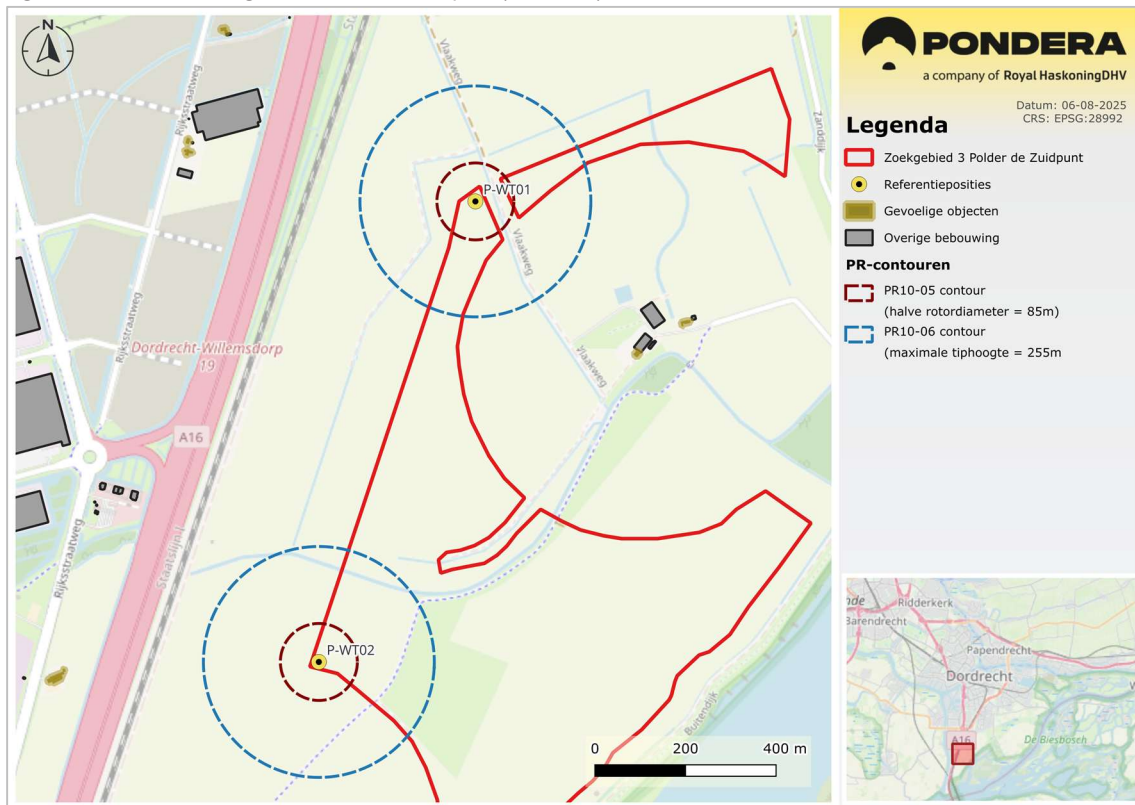
Figuur 4.1 PR-contouren gebied Merwedelanden (WT 1)



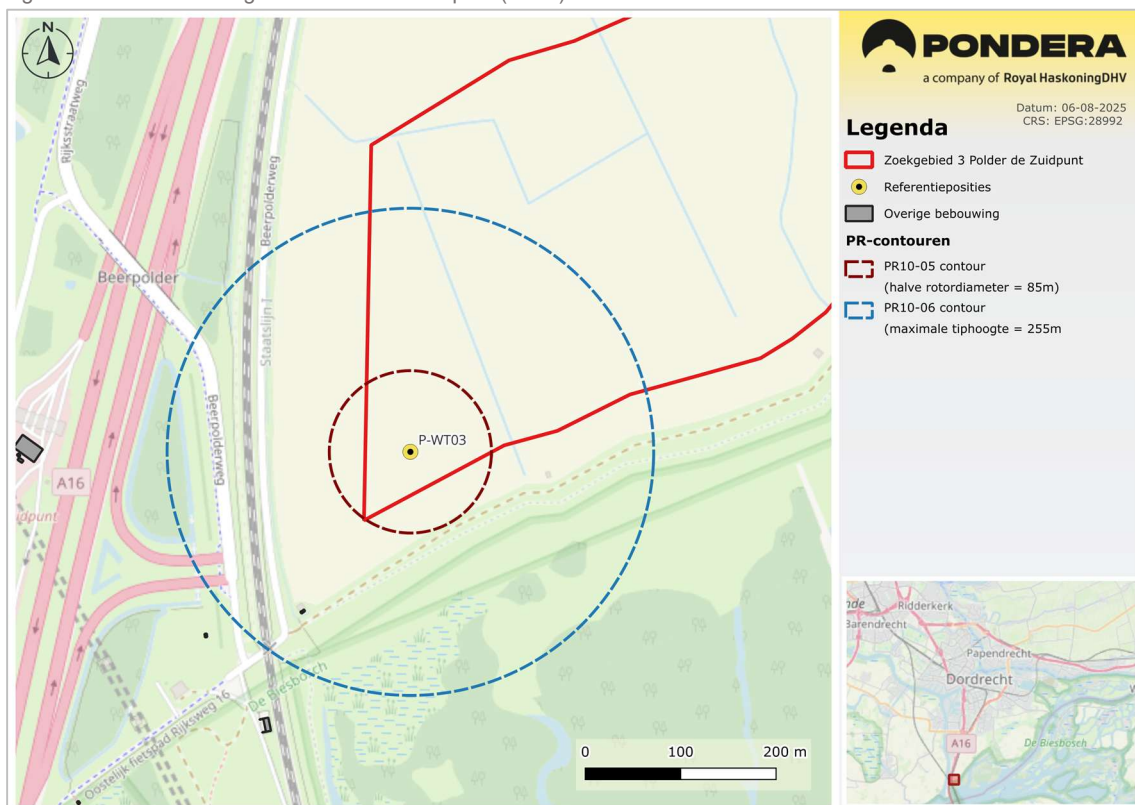
Figuur 4.2 PR-contouren gebied Merwedelanden (WT 2 & 3)



Figuur 4.3 PR-contouren gebied Polder de Zuidpunt (WT 1 & 2)



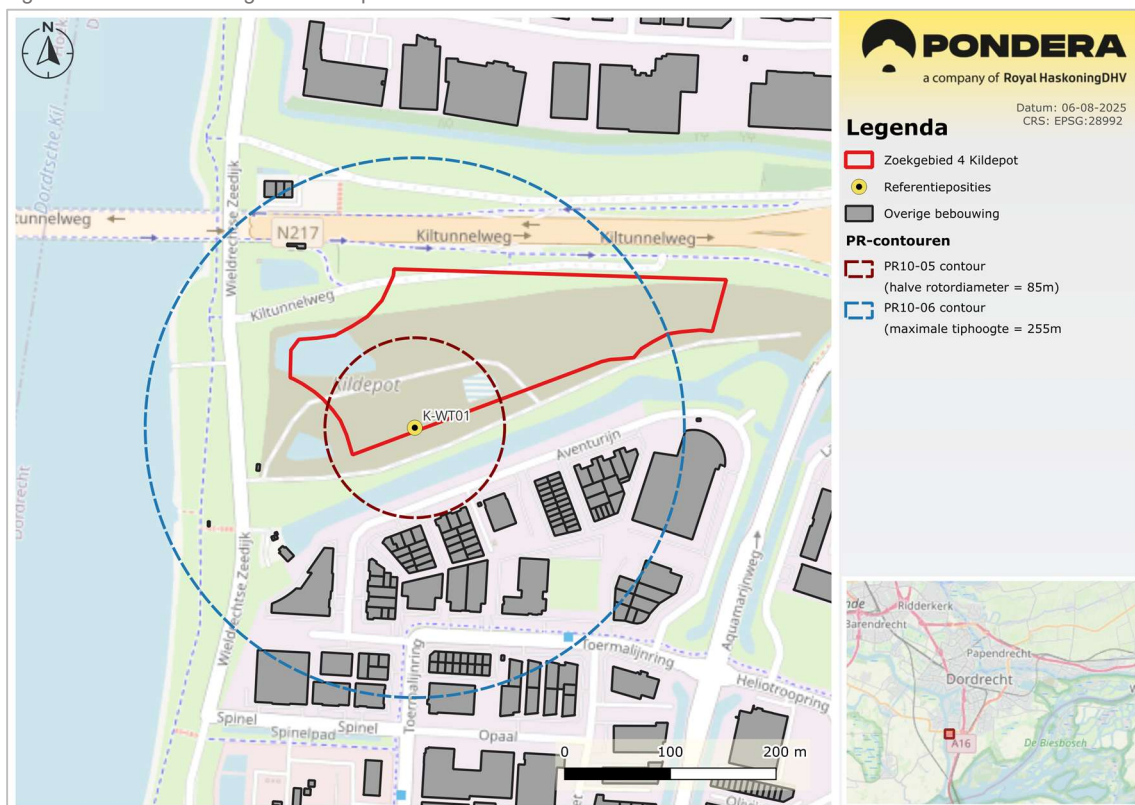
Figuur 4.4 PR-contouren gebied Polder de Zuidpunt (WT 3)



Figuur 4.5 PR-contouren gebied Zeehaven



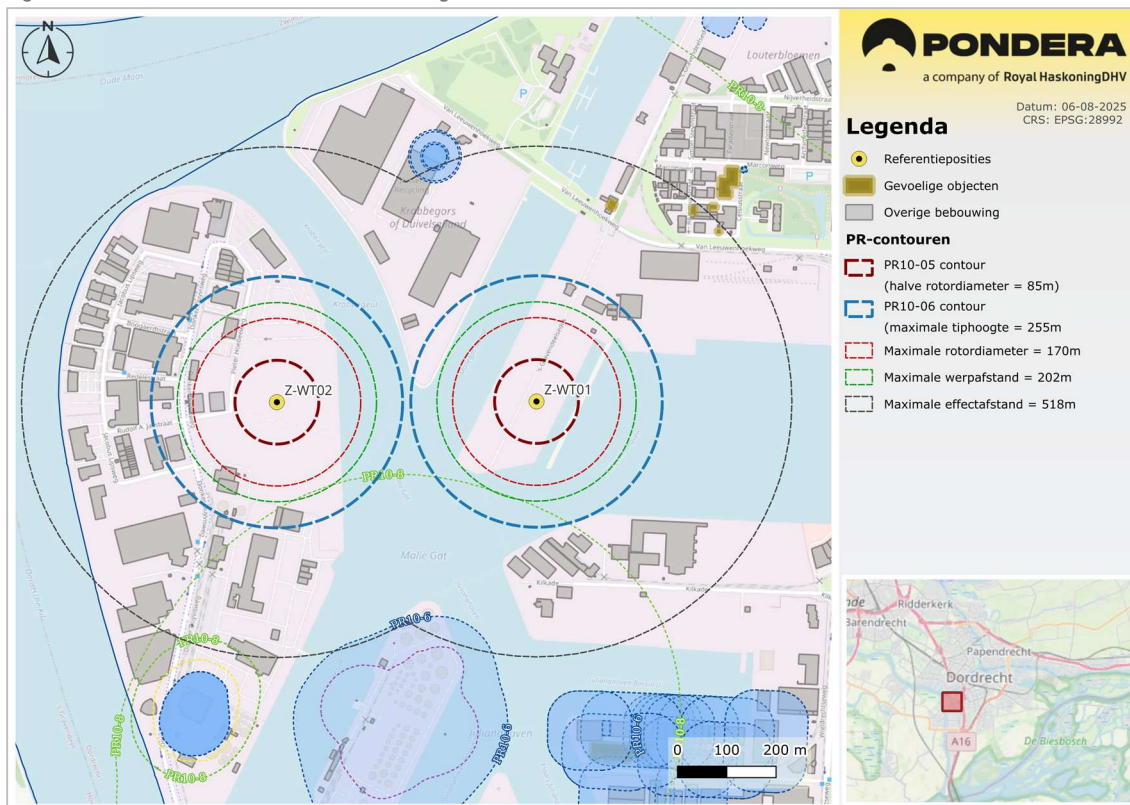
Figuur 4.6 PR-contouren gebied Kildepot



Invloed op havengebied (Zeehavens Dordrecht)

In bovenstaande contouren is enkel gekeken naar de risico's die de windturbines veroorzaken op de omgeving. In het bestemmingsplan Zeehavens Dordrecht is een veiligheidszone aangeduid, waarvoor geldt dat "havengebonden risicovolle activiteiten zijn toegestaan, met dien verstande dat de individuele 10-6 contour van een risicovolle inrichting niet buiten de aanduiding "veiligheidszone – bevi" mag liggen". De maximale PR 10⁻⁰⁶ contour van windturbine Z-WT02 (gelegen binnen de veiligheidszone – bevi) reikt tot buiten de veiligheidszone. Als het exploiteren van een windturbine wordt gezien als havengebonden risicovolle activiteit, dan zou het realiseren van windturbine Z-WT02 in principe in strijd zijn met het bestemmingsplan Zeehavens Dordrecht.

Figuur 4.7 EV-activiteiten en PR-contouren in gebied Zeehaven



Daarnaast is er nog de mogelijkheid tot het ontstaan van domino-effecten. De PR-contouren van aanwezige bedrijven zouden kunnen ontstaan of groter worden als gevolg van de realisatie van de windturbines binnen projectgebied Zeehavens Dordrecht. Het kwantitatief inzichtelijk maken van de domino-effecten valt buiten de scope van deze analyse. Er wordt enkel kwalitatief in beeld gebracht waar de mogelijke knelpunten kunnen optreden. Wanneer er een concreet project ontwikkeld wordt, kunnen de eventuele domino-effecten worden gekwantificeerd.

De maximale effectafstand (bladworp bij overtoeren) van het referentietype windturbine bedraagt 518 meter. Binnen deze maximale effectafstand zijn er twee inrichtingen gelegen waar volgens het Register Externe Veiligheid (REV) EV-activiteiten plaatsvinden: Staalsnijbedrijf Riam en Standic B.V. Ter plaatse van Riam is volgens het REV een gasopslagtank aanwezig. Echter is deze niet zichtbaar op luchtfoto's en zou de gasopslagtank op basis van de veiligheidsafstanden buiten de maximale effectafstand gelegen zijn.

Gelet op de interne faalfrequentie voor instantaan vrijkomen van de gehele inhoud van een dergelijke gasopslagtank ($\sim 1 \times 10^{-5}$ per jaar) en de toegevoegde trefkans van een windturbineblad bij overtoeren van een gasopslagtank op de meest dichtstbij gelegen locatie (worst-case) op het terrein van Riam (ordegrootte $\sim 1 \times 10^{-8}$ per jaar) lijkt hier geen sprake te zijn van significante domino-effecten.

Op het terrein van Standic B.V. zijn opslagtanks voor vloeistoffen aanwezig binnen de maximale effectafstand. De toegevoegde trefkans van een windturbineblad bij overtoeren heeft een ordegrootte van $\sim 1 \times 10^{-8}$. Op basis van de eerder uitgevoerde QRA (volgens de bijlagen van de toelichting op het bestemmingsplan in 2008 uitgevoerd) kan worden achterhaald of er sprake is van significante domino-effecten, dit valt echter buiten de scope van deze analyse. De kans dat er een PR10⁻⁰⁶ contour ontstaat die buiten de “veiligheidszone – bevi” reikt, wordt extreem klein geacht.

Wanneer er sprake is van een concreet project met duidelijke locaties en afmetingen, kunnen de trefkans en domino-effecten in meer detail gekwantificeerd worden.

De realisatie van windturbines binnen projectgebied Zeehaven betekent dat mogelijk andere (toekomstige of bestaande) activiteiten belemmerd worden, omdat er rekening dient te worden gehouden met domino-effecten.

Omdat kwetsbare objecten (gebouwen en locaties) niet worden toegestaan binnen “veiligheidszone – bevi”, worden er binnen dat gebied geen belemmeringen verwacht. Er dient wel rekening gehouden te worden met beperkt kwetsbare objecten (gebouwen en locaties). Op dit moment geldt er voor een windpark van 1 of 2 windturbines een grenswaarde van het plaatsgebonden risico van 1×10^{-5} per jaar voor beperkt kwetsbare gebouwen en locaties. In het ontwerpbesluit windturbines leefomgeving wordt er een standaardwaarde van 1×10^{-6} per jaar voorgesteld voor beperkt kwetsbare gebouwen en locaties, met een (mits gemotiveerd) afwijkmogelijkheid tot 1×10^{-5} per jaar.

Voor het deel van de PR 10⁻⁰⁶ contour (van Z-WT02) wat buiten de “veiligheidszone – bevi” is gelegen, geldt dat de realisatie van kwetsbare gebouwen en locaties niet is uitgesloten. Het is dus mogelijk dat er kwetsbare gebouwen en locaties aanwezig zijn of gerealiseerd kunnen worden. Dit is in strijd met de huidige norm voor 1 of 2 windturbines en de norm uit het ontwerpbesluit windturbines leefomgeving.

In de Atlas Leefomgeving worden kaarten beschikbaar gesteld waarin de kwetsbaarheid van gebouwen wordt aangegeven. De gebouwen binnen gemeente Dordrecht zijn echter nog niet bevestigd. Het toetsen van het plaatsgebonden risico van de windturbines aan de norm uit het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl) of ontwerpbesluit windturbines leefomgeving kan worden uitgevoerd bij een concreet project en/of windturbintype en valt daarnaast buiten de scope van deze analyse.

4.2 Analyse buisleiding

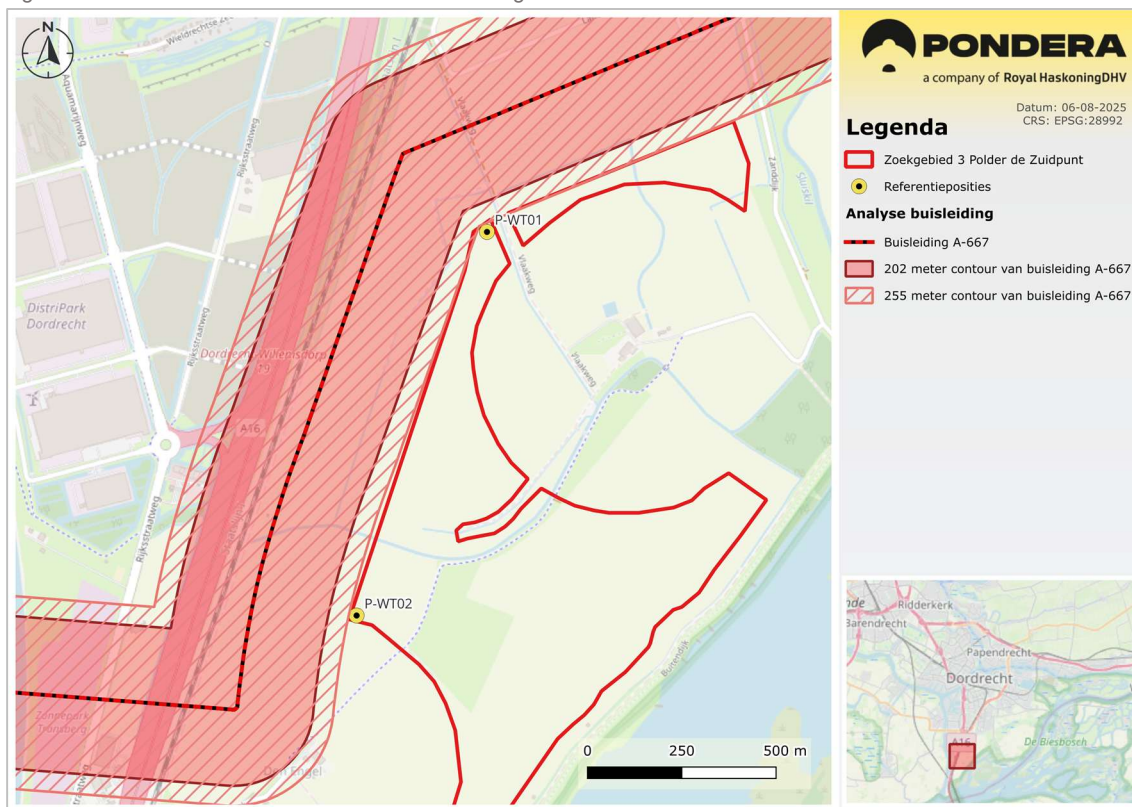
4.2.1 Adviesafstand HRW

Op basis van aangeleverde gegevens is een analyse uitgevoerd met betrekking tot de buisleiding in zoekgebied Polder de Zuidpunt (A-667, buisleiding van Gasunie met een diameter van 1219 mm en een werkdruk van 79,9 bar). In de Handreiking Risicozonering Windturbines (HRW2020) wordt een adviesafstand genoemd die Gasunie hanteert van het maximum van bladworp bij nominaal toerental en tiphoogte (dit is dezelfde afstand als de generieke PR10⁻⁰⁶ contour afstand). Deze afstand bedraagt 255 meter.

4.2.2 Voldoende veilige afstand beleid Gasunie

Volgens beleid van Gasunie ¹¹ geldt dat voor ondergrondse buisleidingen een afstand van bladworp bij nominaal toerental ofwel een afstand gelijk aan de ashoogte plus een derde bladlengte (high-impact zone, gebied rond de windturbine waar het bladgewicht terecht kan komen in het geval van mastfalen) als voldoende veilig wordt beschouwd. Op basis van op dit moment beschikbare windturbine types is een maximale afstand van de high-impact zone van 195 meter bepaald. In theorie is het mogelijk dat er nog windturbines beschikbaar komen met een kleinere rotordiameter en hogere ashoogte, waardoor de high-impact zone op een grotere afstand dan 195 meter zou komen te liggen. De kans dat een windturbine met een high-impact zone van meer dan 202 meter (maximale werpafstand bij nominaal toerental) wordt gerealiseerd wordt echter klein geacht, gelet op het feit dat windturbines met grotere rotordiameters vaker de voorkeur krijgen boven windturbines met hogere ashoogtes. In Figuur 4.8 is zowel de adviesafstand uit het HRW als de voldoende veilige afstand uit het beleid van Gasunie weergegeven.

Figuur 4.8 Adviesafstand HRW versus voldoende veilige afstand beleid Gasunie



Uit bovenstaand figuur is af te leiden dat er nog steeds veel plekken zijn waar het realiseren van windturbines geen schade aan de buisleiding kan veroorzaken als er wordt gekeken naar de voldoende veilige afstand volgens het beleid van Gasunie.

¹¹ Het beleid van Gasunie t.a.v. windturbines nabij de aardgasinfrastructuur, 31-07-2015

4.2.3 Risicoverhoging buisleidingen

Wanneer plaatsing buiten de voorgenoemde afstanden niet mogelijk is, is plaatsing enkel mogelijk als de additionele faalfrequenties van de buisleiding als gevolg van de realisatie van een windturbine niet of nauwelijks toeneemt¹². In het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV paragraaf 5.1 staat beschreven hoe de additionele faalfrequenties kunnen worden berekend.

De methodiek die in het Rekenvoorschrift staat beschreven om de raakkans te berekenen is afgeleid uit onderzoek naar de uitwerking van explosieven op ondergrondse pijpleidingen¹³. De kritische afstand, de maximale afstand waar de impact nog leidt tot het falen van de buisleiding wordt berekend met de volgende formule (formule 5.1 uit het Rekenvoorschrift):

$$R = 0,3048 \cdot \left(\frac{4,44 \cdot E}{\sigma_{\text{toelaatbaar}}} \right)^{\frac{1}{k_5 k_6}} \cdot \left(\frac{2,03 \cdot 10^{-4} \cdot k_4 \cdot E_{\text{kinetisch}}}{\sqrt{E \cdot t}} \right)^{\frac{1}{k_5}} \quad (5.1)$$

Waarbij E de elasticiteit in [Pa] bedraagt, $\sigma_{\text{toelaatbaar}}$ de maximaal toelaatbare stress in [Pa] voordat metaal gaat vloeien is, t de wanddikte in [mm] is en $E_{\text{kinetisch}}$ de effectieve kinetische energie van de bron (windturbineonderdeel) in [J of J/m] bedraagt. De coëfficiënten k_4 , k_5 en k_6 zijn empirische coëfficiënten en voor de waarden wordt verwezen naar het Rekenvoorschrift. De maximaal toelaatbare extra stress ($\sigma_{\text{toelaatbaar}}$) wordt berekend met de volgende formule (formule 5.2 uit het Rekenvoorschrift):

$$\sigma_{\text{toelaatbaar}} = SMYS - \frac{P \cdot D}{2 \cdot t} \quad (5.2)$$

Waarbij $SMYS$ de gespecificeerde minimum vloeigrens in [Pa] is, P de gasdruk in de leiding in [Pa] is, D de diameter van de leiding in [mm] is en t de wanddikte in [mm] is. De effectieve kinetische energie die de schokgolf veroorzaakt (per onderdeel) wordt berekend met onderstaande formule (formule 5.3 uit het Rekenvoorschrift):

$$E_{\text{kinetisch}} = m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot f \cdot m \cdot v^2 \text{ met } v = \frac{2\pi\omega}{60} \cdot \frac{\ell}{3} \quad (5.3)$$

Hierbij is m de massa van het object in [kg], f de fractie van de initiële kinetische energie (enkel bij bladworp) die wordt opgenomen door de bodem, g de valversnelling in [m/s²], h de initiële hoogte van het vallende object, ω het toerental in [rotaties per minuut] en ℓ de bladlengte in [m].

De kritische afstand voor de impact van de gondel (in het geval van gondel- of mastfalen), de impact van de mast (in het geval van mastfalen) en de impact van het bladgewicht (in het geval van mast-, gondelfalen of bladworp) is berekend op basis van maximale afmetingen en conservatieve inschattingen van gewichten en andere relevante eigenschappen.

¹² De mate van wat als acceptabel wordt geacht hangt af van de huidige PR10⁻⁰⁶ contouren van de buisleiding

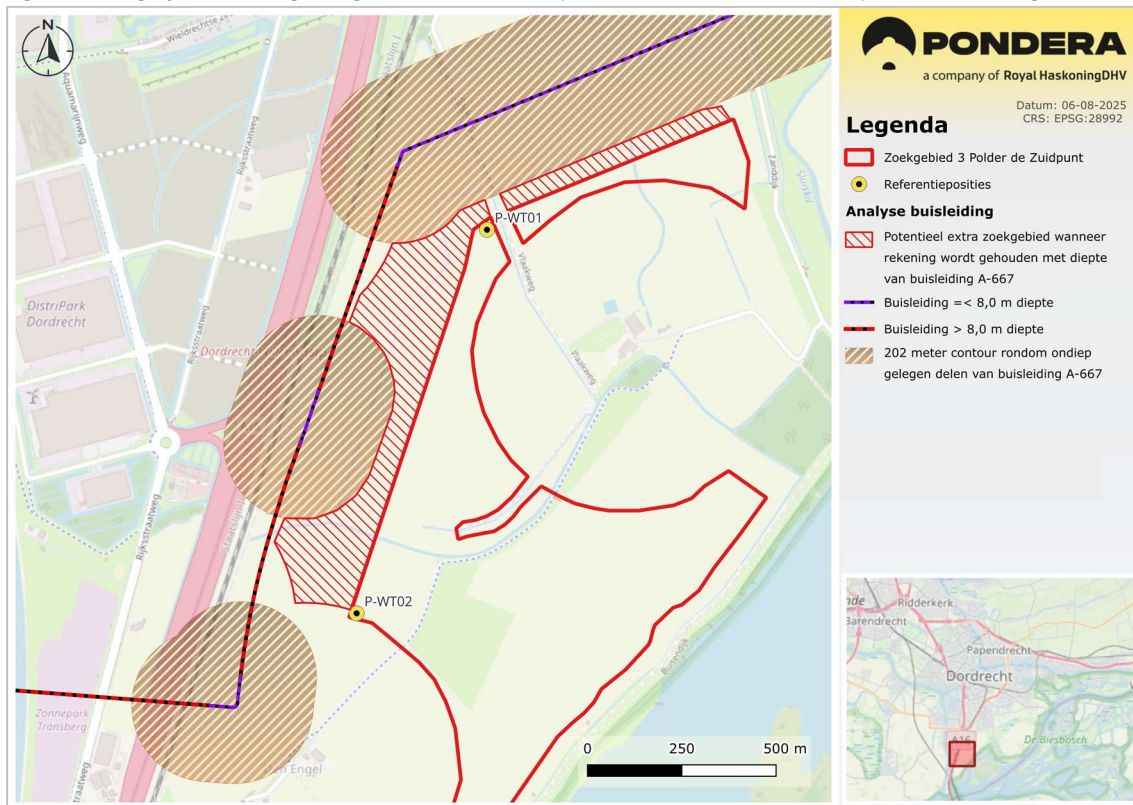
¹³ Pipeline response to buried explosive detonations, volume I + II, ed. P.S.W. Esparza, A. B. Wenzel. August 1981: Southwest Research Institute.

Tabel 4.2 Bepaling kritische afstanden buisleiding A-667

Onderdeel	Waarde	Eenheid
Druk leiding	7,99 E+06	Pa
Dikte leiding	1 219	mm
Wanddikte leiding	15,9	mm
SMYS leiding	4,84 E+08	Pa
Ashoogte	170	m
Bladlengte (halve rotordiameter)	85	m
Nominaal toerental	10,7	toeren per minuut
Massa gondel	270	ton
Massa mast	1 800	ton
Massa blad	30	ton
Kritische afstand gondel	7,9	m
Kritische afstand mast	4,5	m
Kritische afstand bladgewicht bij bladworp	3,6	m
Kritische afstand bladgewicht bij mast/gondelfalen	3,3	m

Wanneer de leiding op een diepte van meer dan 7,9 meter is gelegen, zal er geen schade aan de buisleiding worden verwacht wanneer de gondel boven op de leiding valt. Op basis van aangeleverde tekeningen is geconstateerd dat een deel van de buisleiding A-667 in het zoekgebied Polder de Zuidpunt op een diepte van meer dan 8 meter ligt. Het realiseren van een windturbine nabij de buisleiding waar deze dieper dan 8 meter onder het maaiveld is gelegen zorgt conform de rekenmethodiek van het Rekenvoorschrift dus niet voor additionele faalfrequenties. Wanneer voor de delen van de leiding waar de diepte minder dan 8 meter is een afstand van 202 meter (maximale worpafstand bij nominaal toerental, voldoende veilige afstand volgens Gasunie) wordt aangehouden, blijft een groter gebied over waar windturbines gerealiseerd zouden kunnen worden.

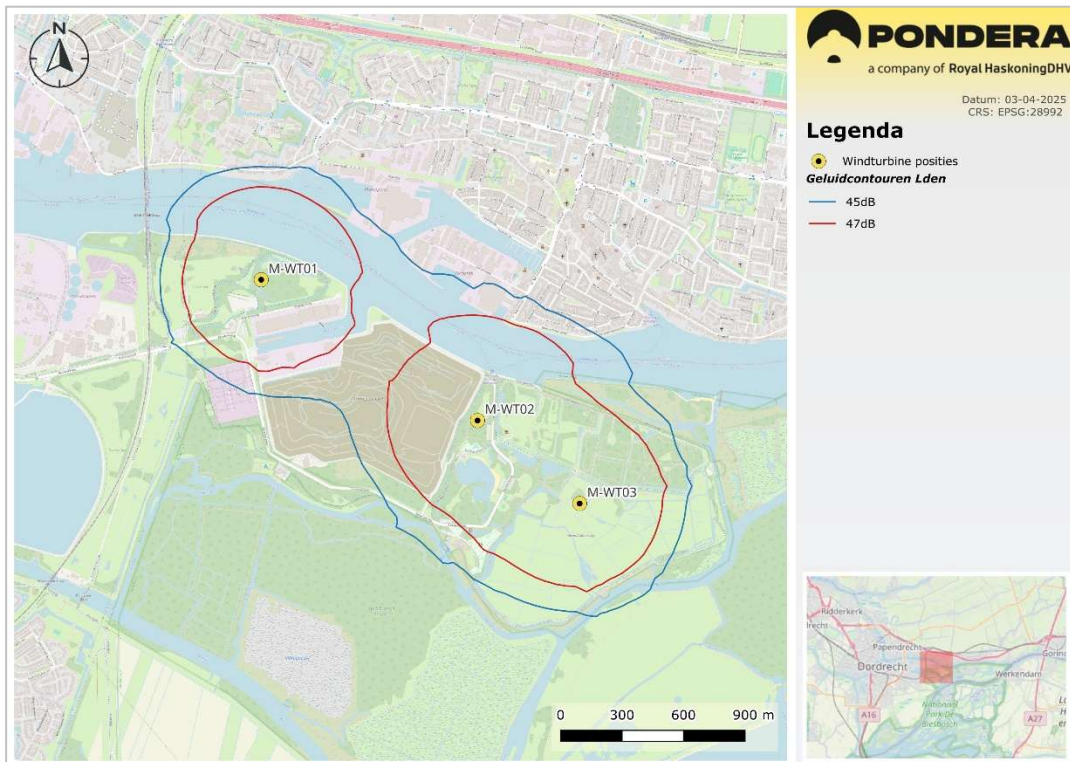
Figuur 4.9 Mogelijke uitbreiding zoekgebied Polder de Zuidpunt, zonder additionele faalfrequenties buisleiding A-667



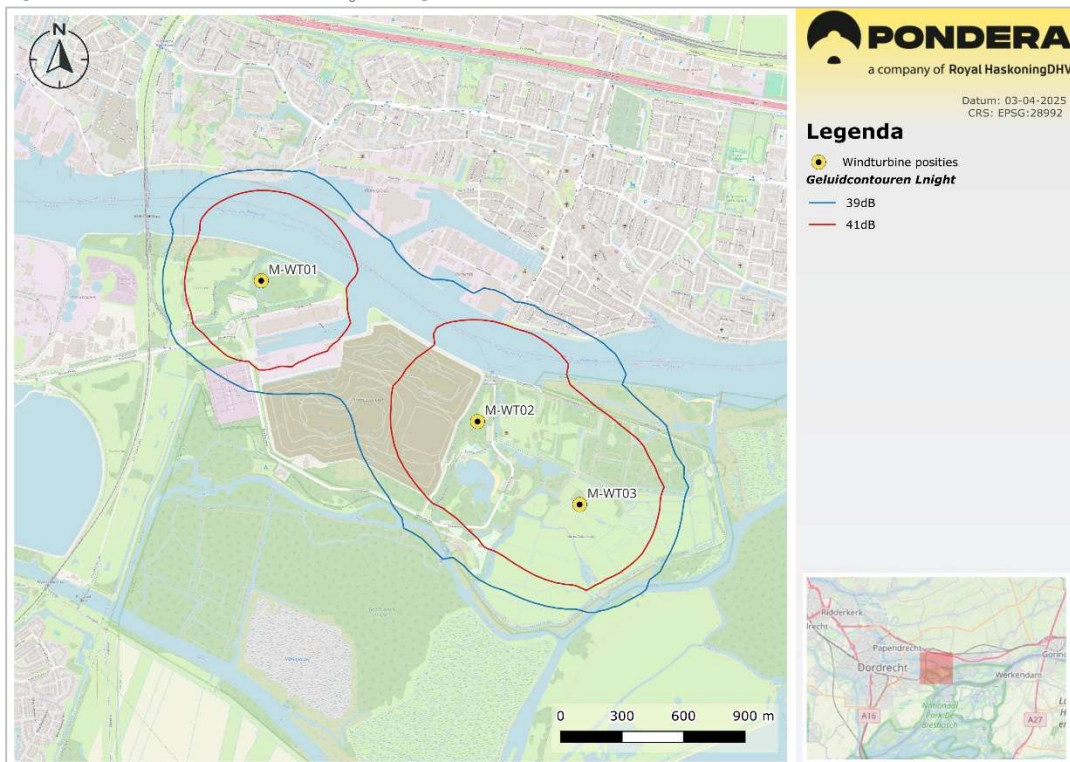
Door rekening te houden met de diepteligging van de buisleiding is het eventueel mogelijk om het zoekgebied te vergroten. Wanneer een windturbinepositie binnen het oorspronkelijke of het vergrote zoekgebied wordt gerealiseerd, wordt geen additionele faalkans verwacht aan de buisleiding.

Bijlage A. Geluidcontouren Nordex N163/6.X STE

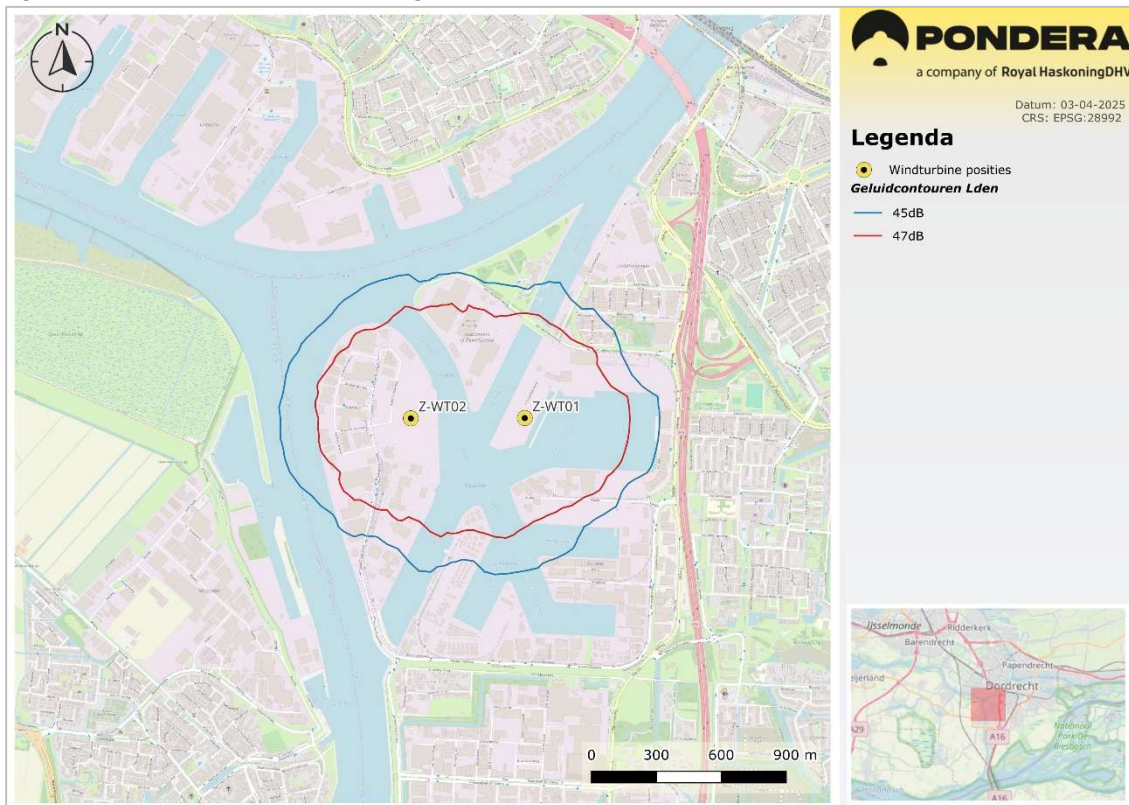
Figuur A.1 Geluidcontouren N163 L_{den} zoekgebied Merwedelanden



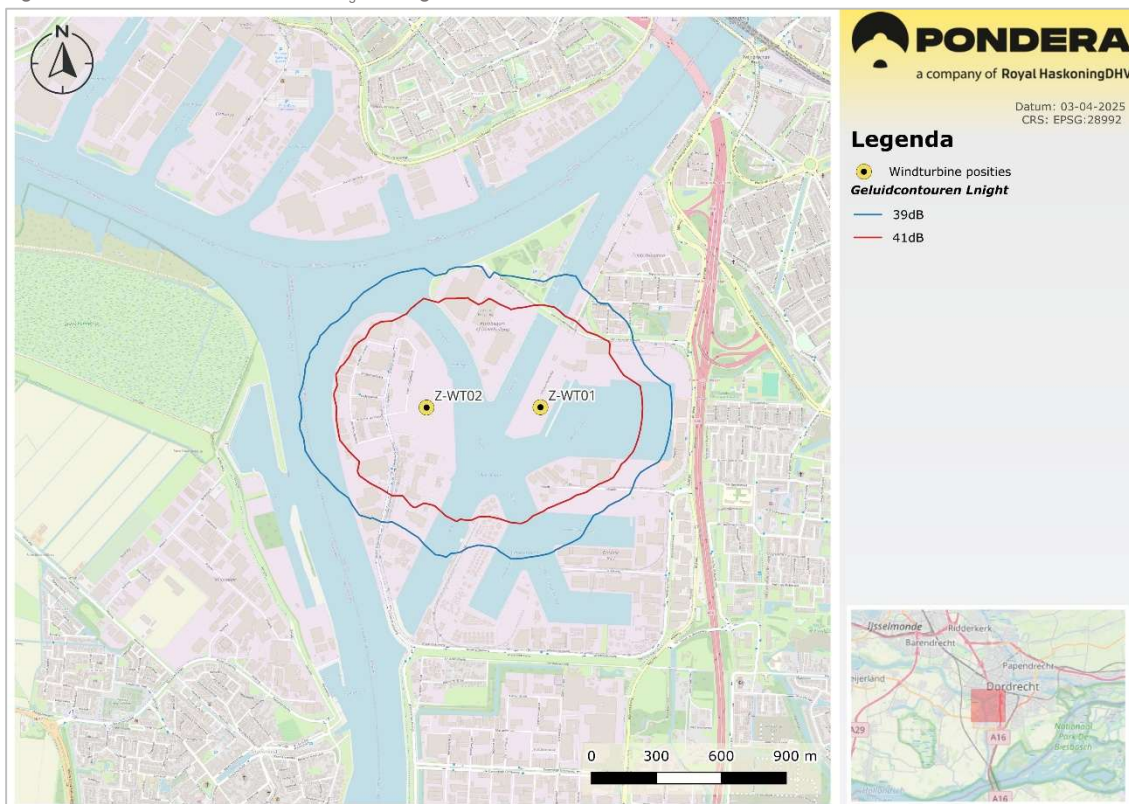
Figuur A.2 Geluidcontouren N163 L_{night} zoekgebied Merwedelanden



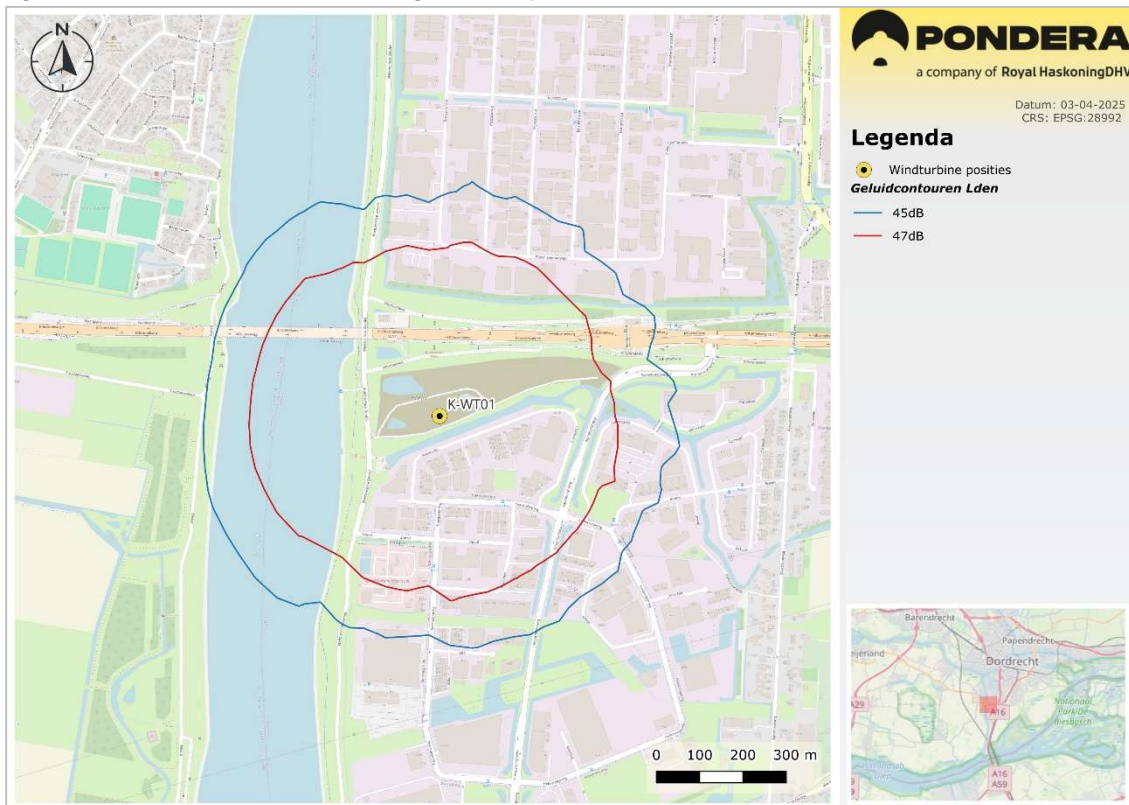
Figuur A.3 Geluidcontouren N163 L_{den} zoekgebied Zeehaven



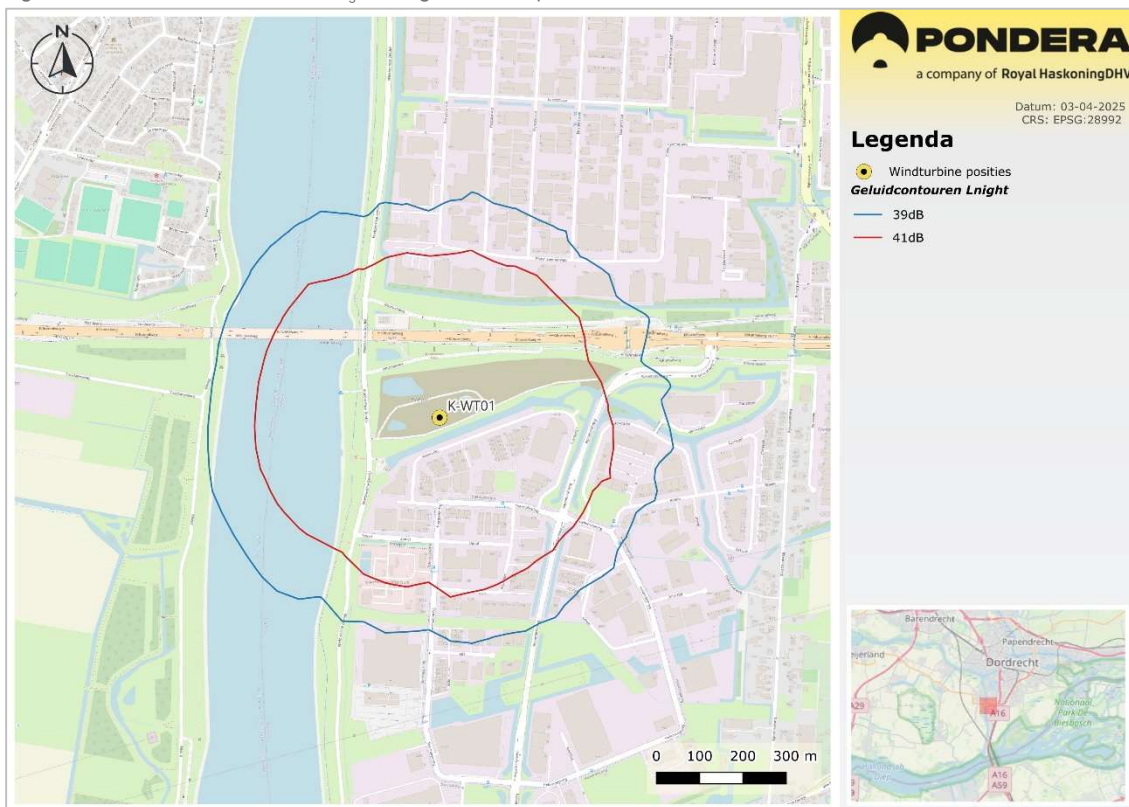
Figuur A.4 Geluidcontouren N163 L_{night} zoekgebied Zeehaven



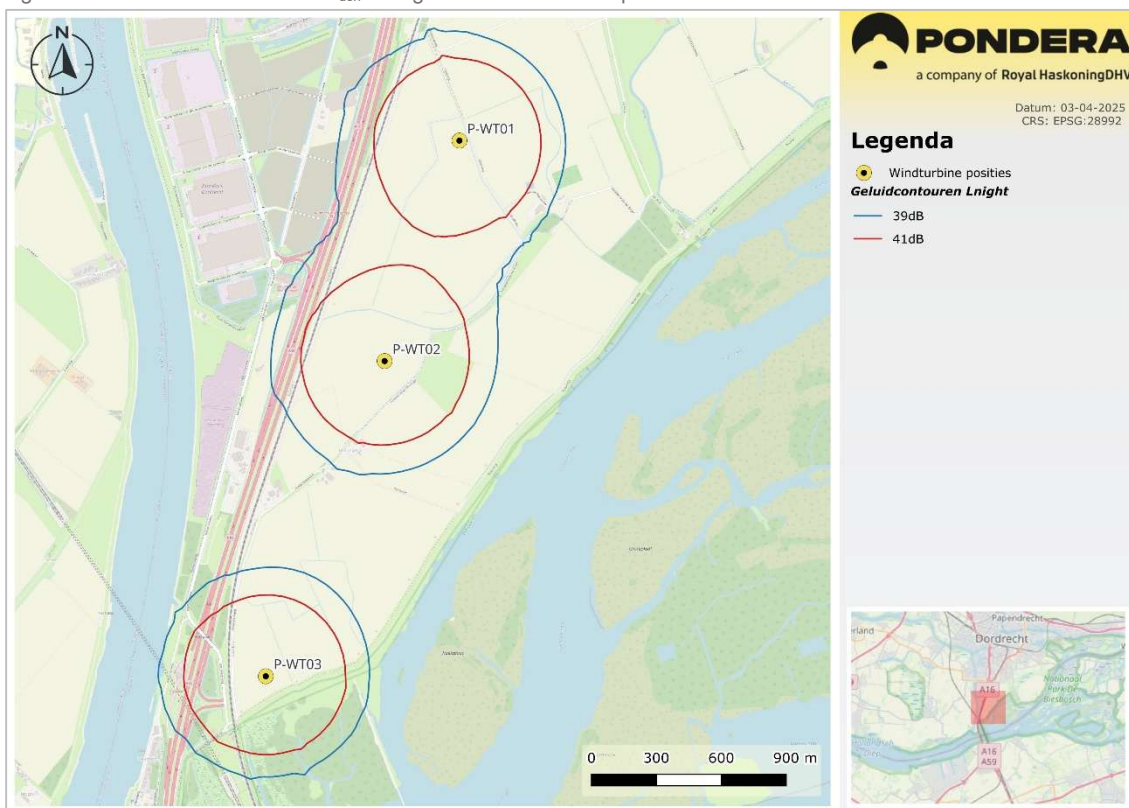
Figuur A.5 Geluidcontouren N163 L_{den} zoekgebied Kildepot



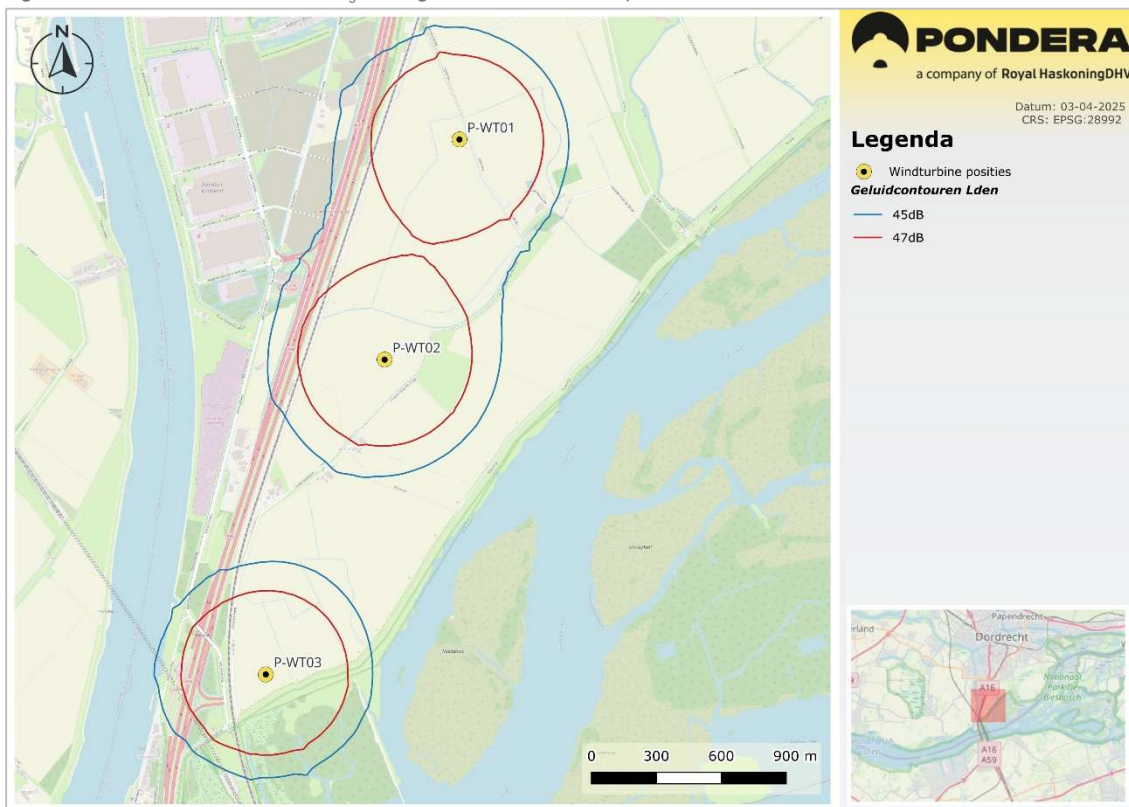
Figuur A.6 Geluidcontouren N163 L_{night} zoekgebied Kildepot



Figuur A.7 Geluidcontouren N163 L_{den} zoekgebied Polder de Zuidpunt

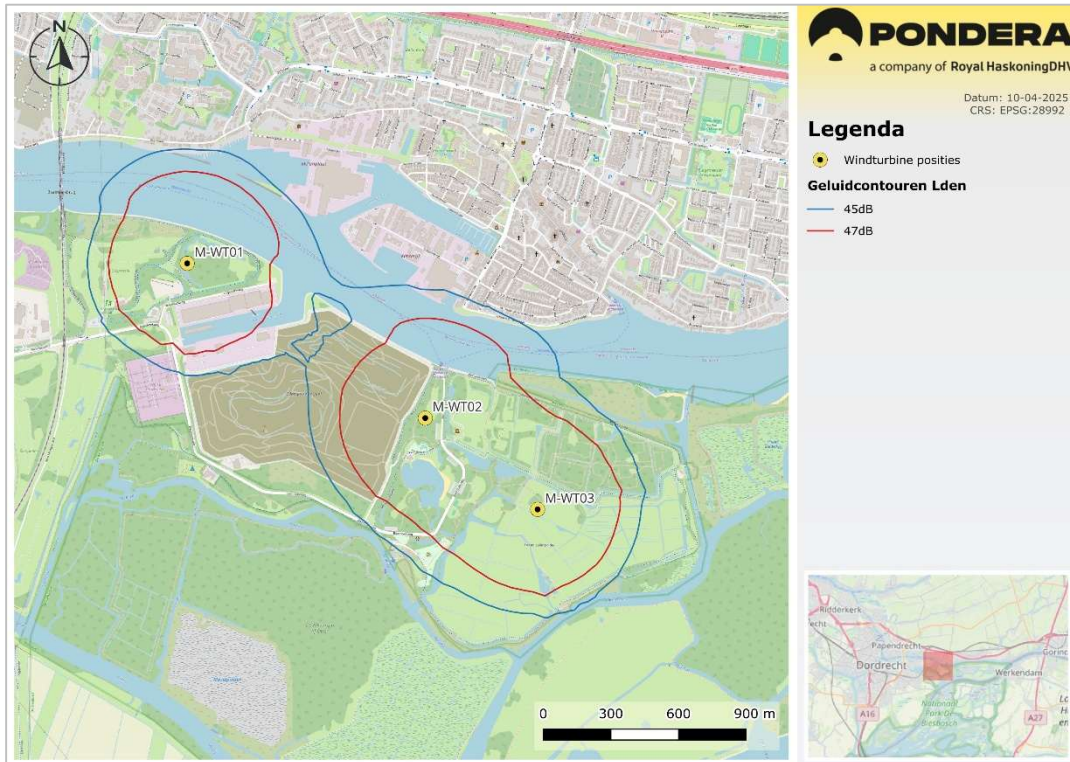


Figuur A.8 Geluidcontouren N163 L_{night} zoekgebied Polder de Zuidpunt

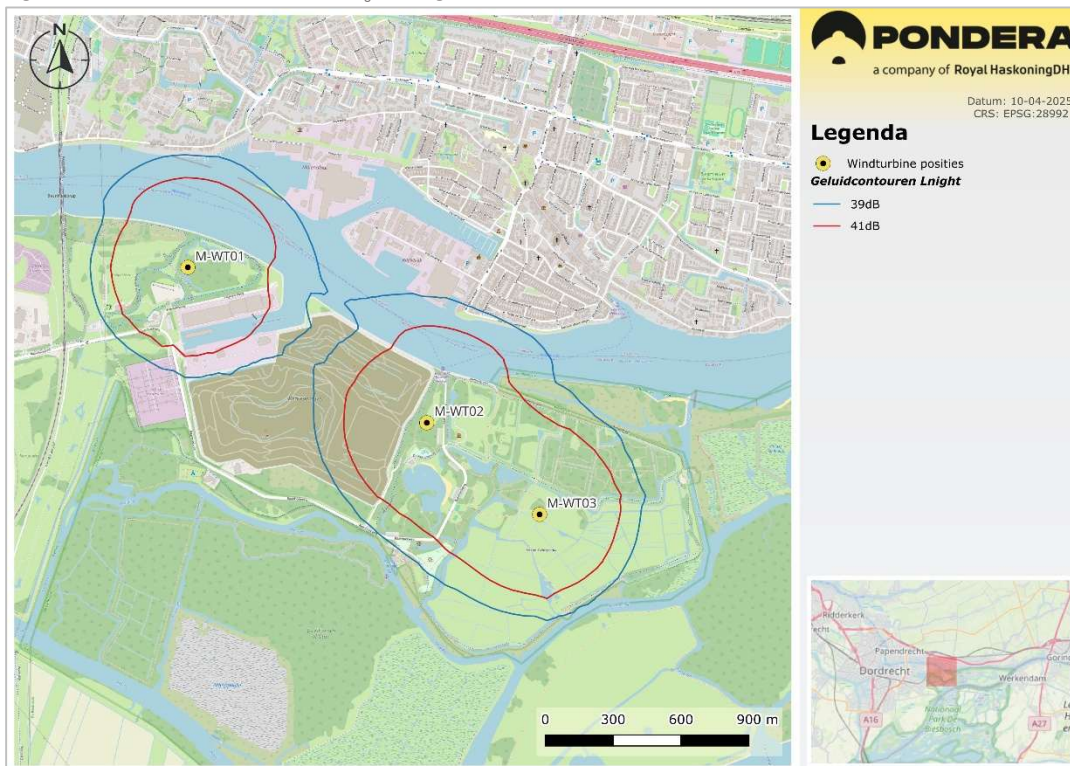


Bijlage B. Geluidcontouren Siemens Gamesa SG170

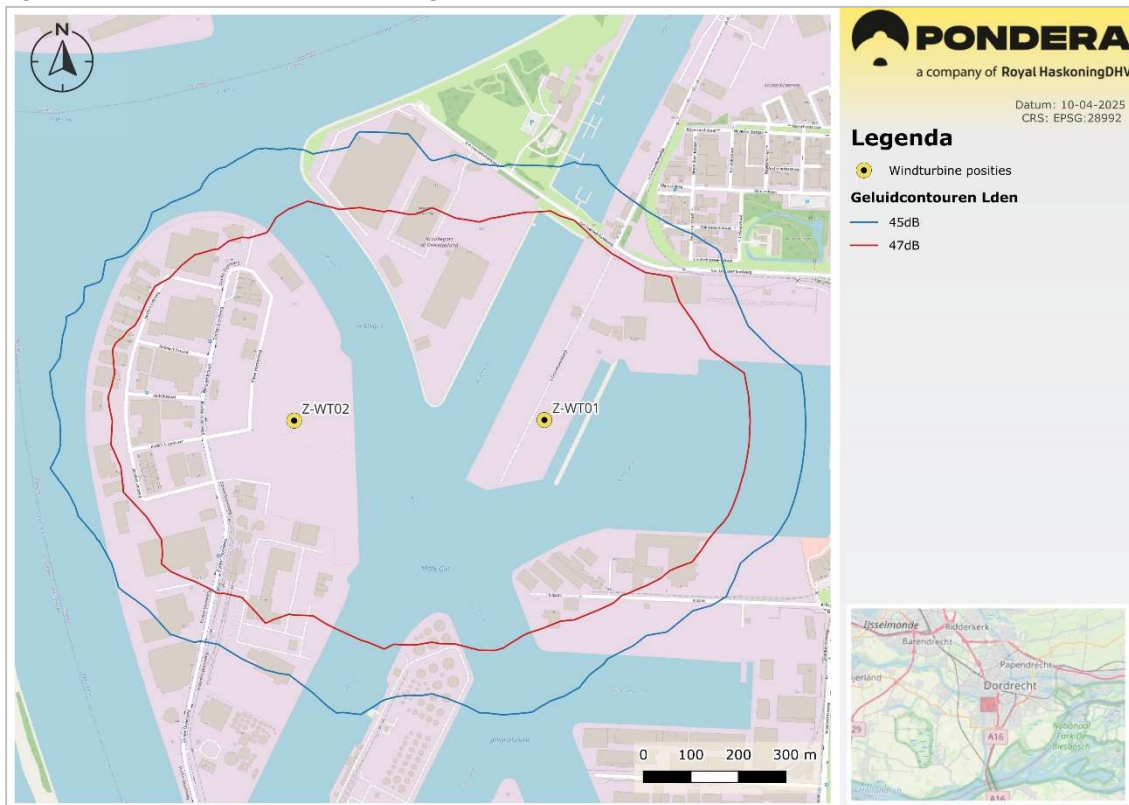
Figuur B.1 Geluidcontouren SG170 L_{den} zoekgebied Merwedelanden



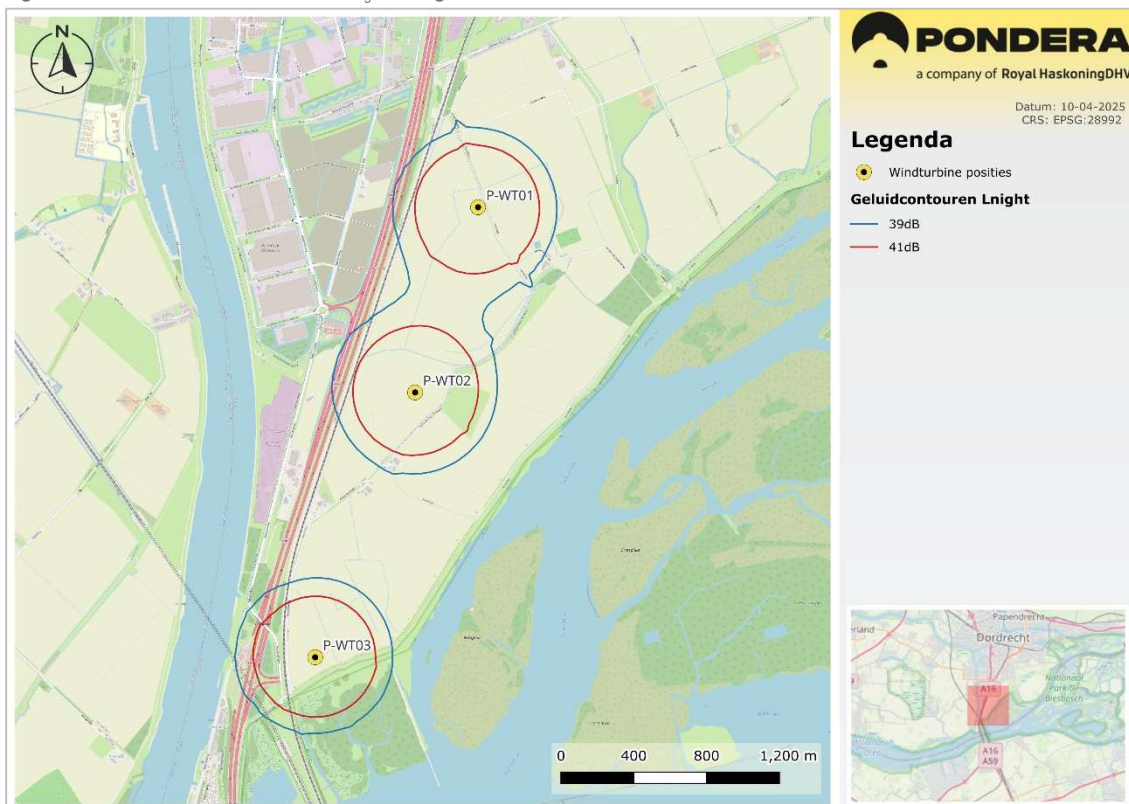
Figuur B.2 Geluidcontouren SG170 L_{night} zoekgebied Merwedelanden



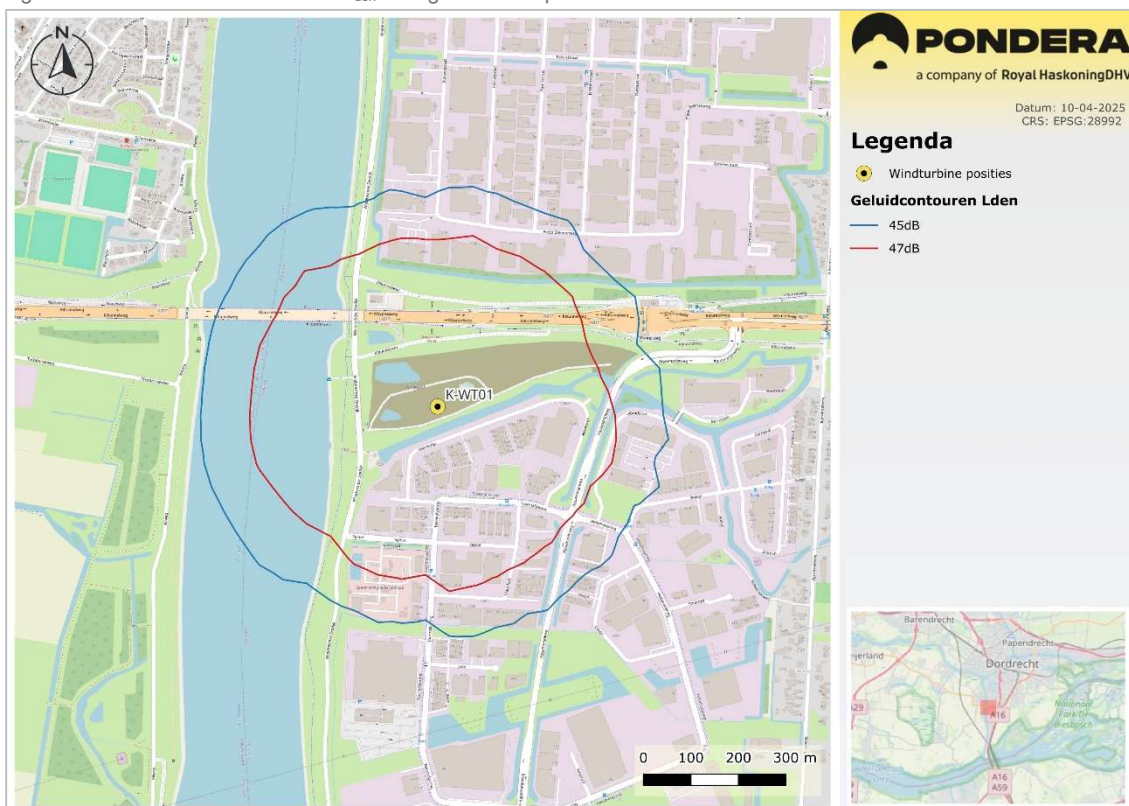
Figuur B.3 Geluidcontouren SG170 L_{den} zoekgebied Zeehaven



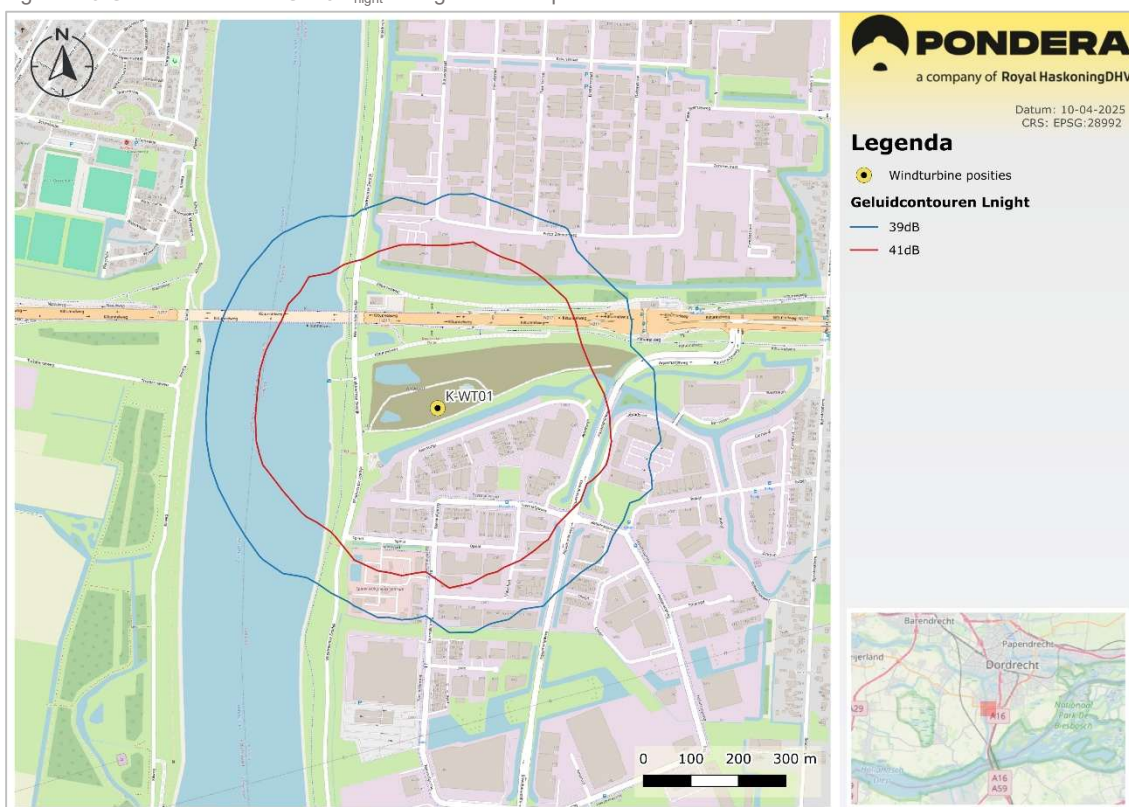
Figuur B.4 Geluidcontouren SG170 L_{night} zoekgebied Zeehaven



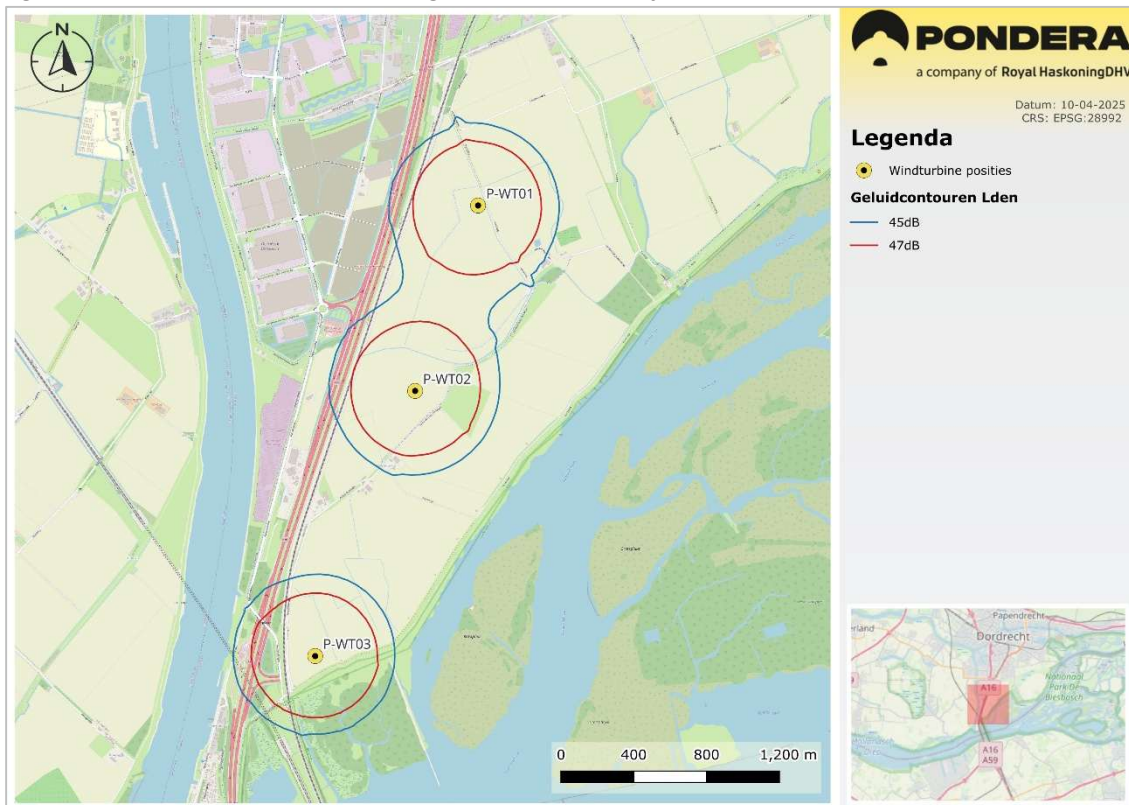
Figuur B.5 Geluidcontouren SG170 L_{den} zoekgebied Kildepot



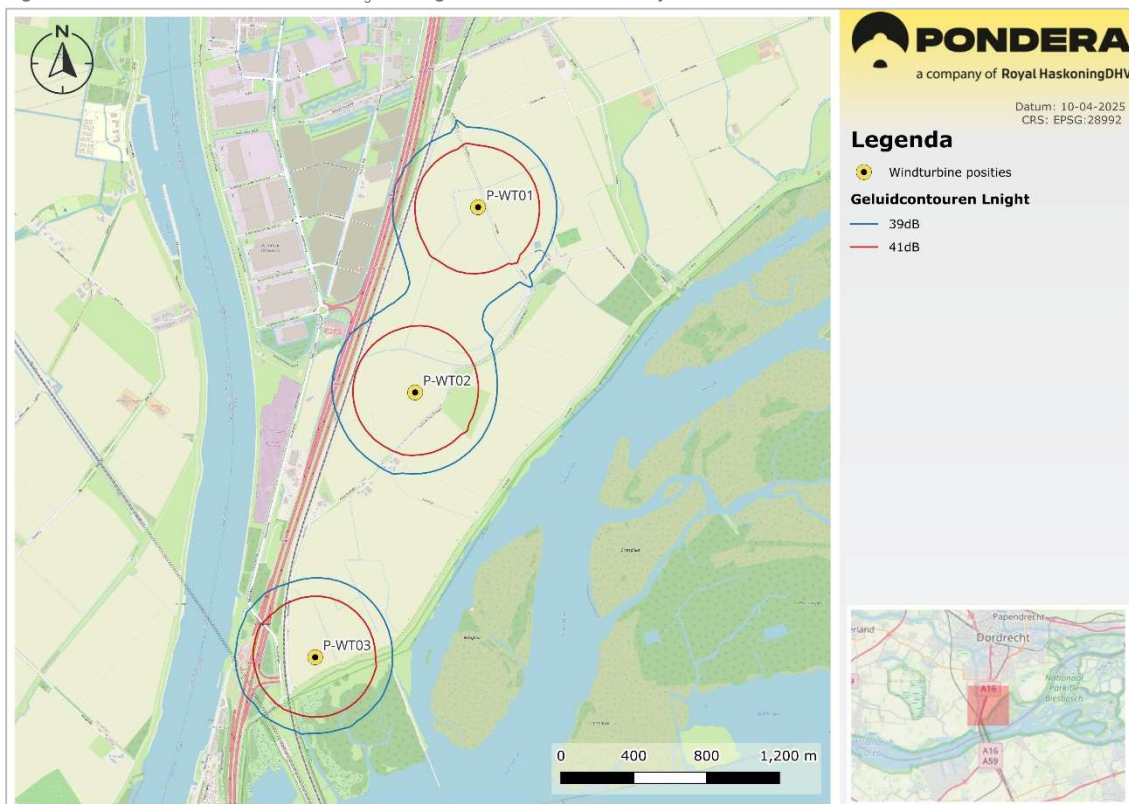
Figuur B.6 Geluidcontouren SG170 L_{night} zoekgebied Kildepot



Figuur B.7 Geluidcontouren SG170 L_{den} zoekgebied Polder de Zuidijk

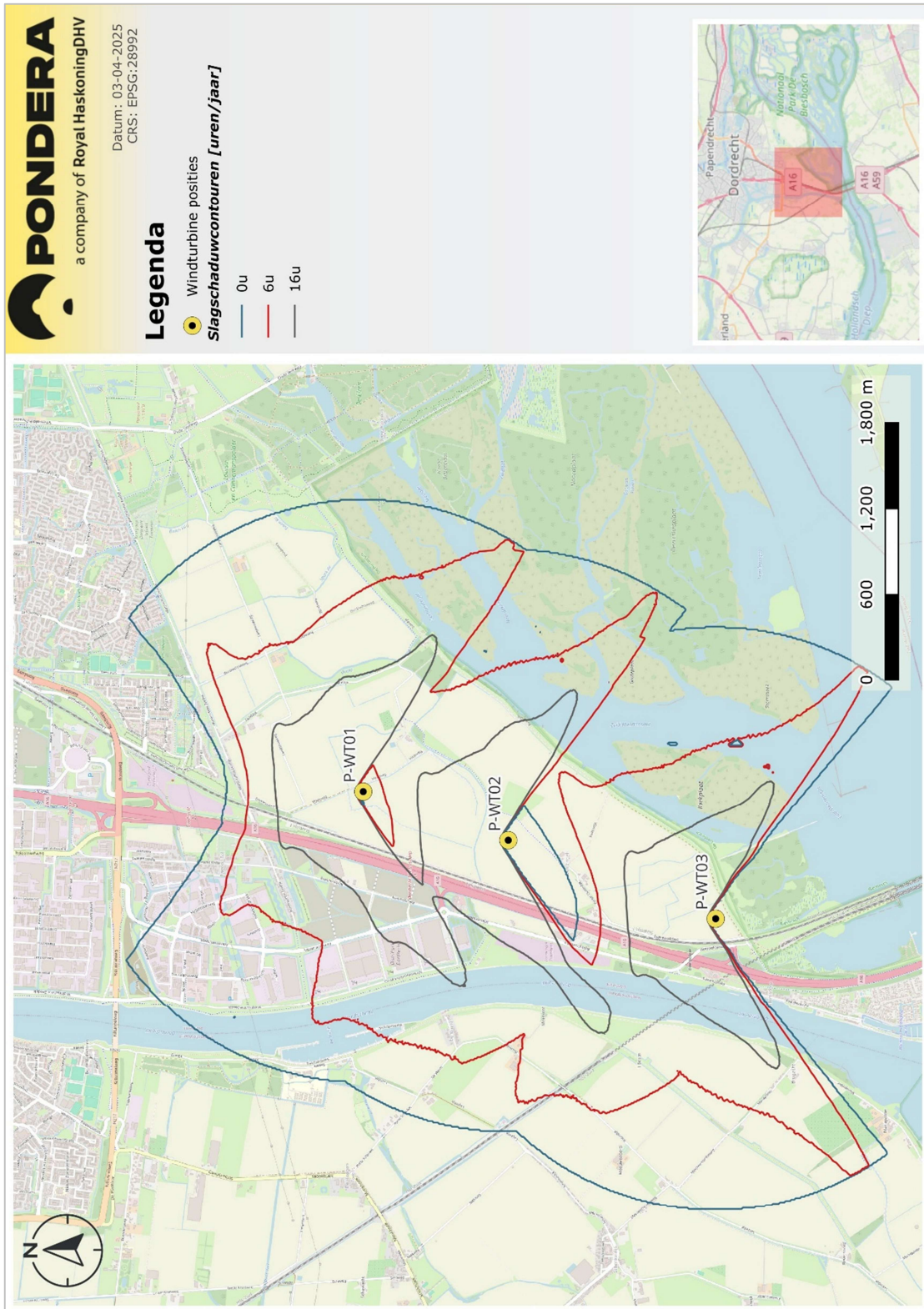


Figuur B.8 Geluidcontouren SG170 L_{night} zoekgebied Polder de Zuidijk

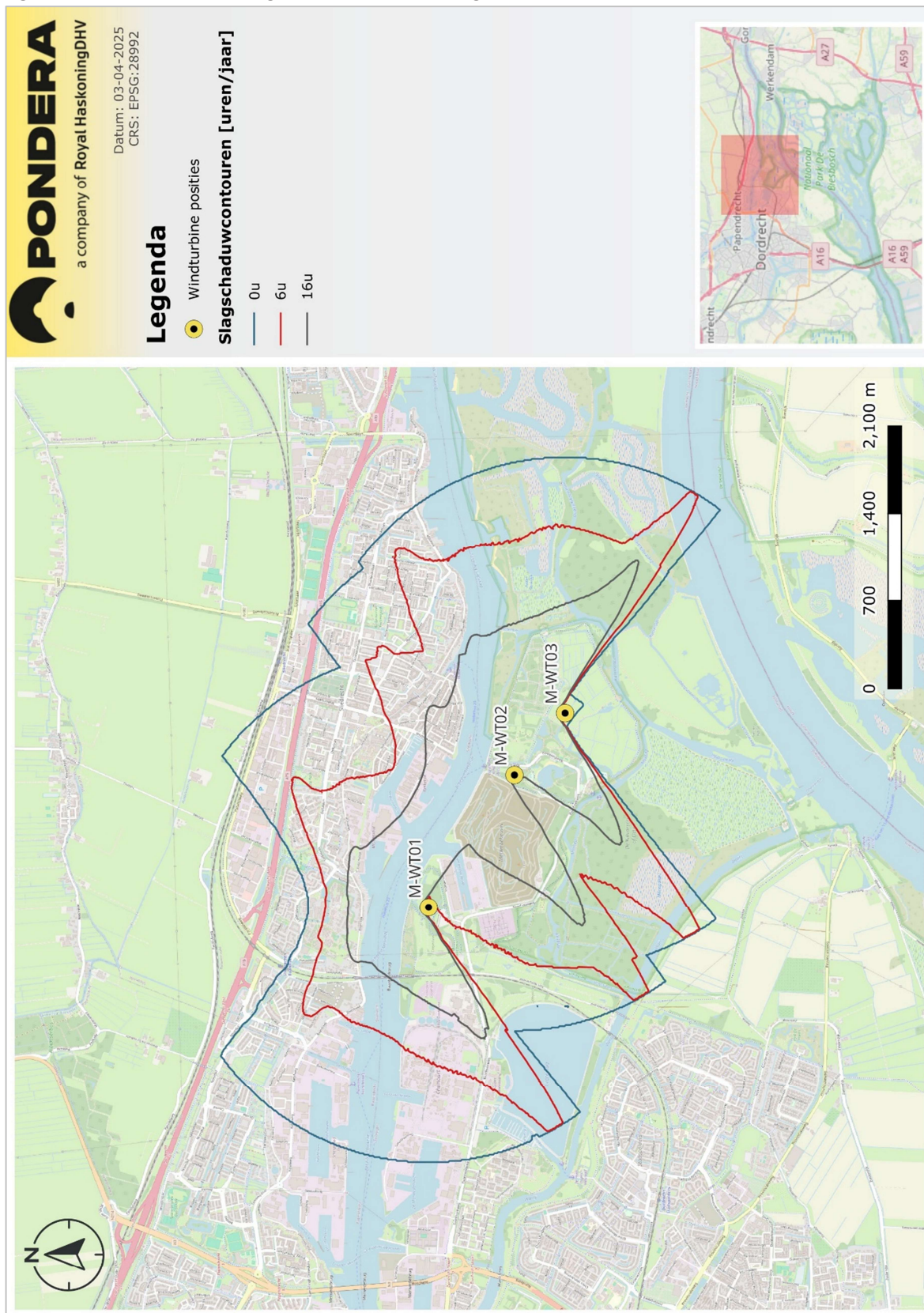


Bijlage C. Slagschaduwcontouren

Figuur C.1 Gedetailleerde kaart slagschaduwcontouren – zoekgebied Polder de Zuidpunt



Figuur C.2 Gedetailleerde kaart slagschaduwcontouren – zoekgebied Merwedelanden



Figuur C.3 Gedetailleerde kaart slagschaduwcontouren – zoekgebied Zeehaven

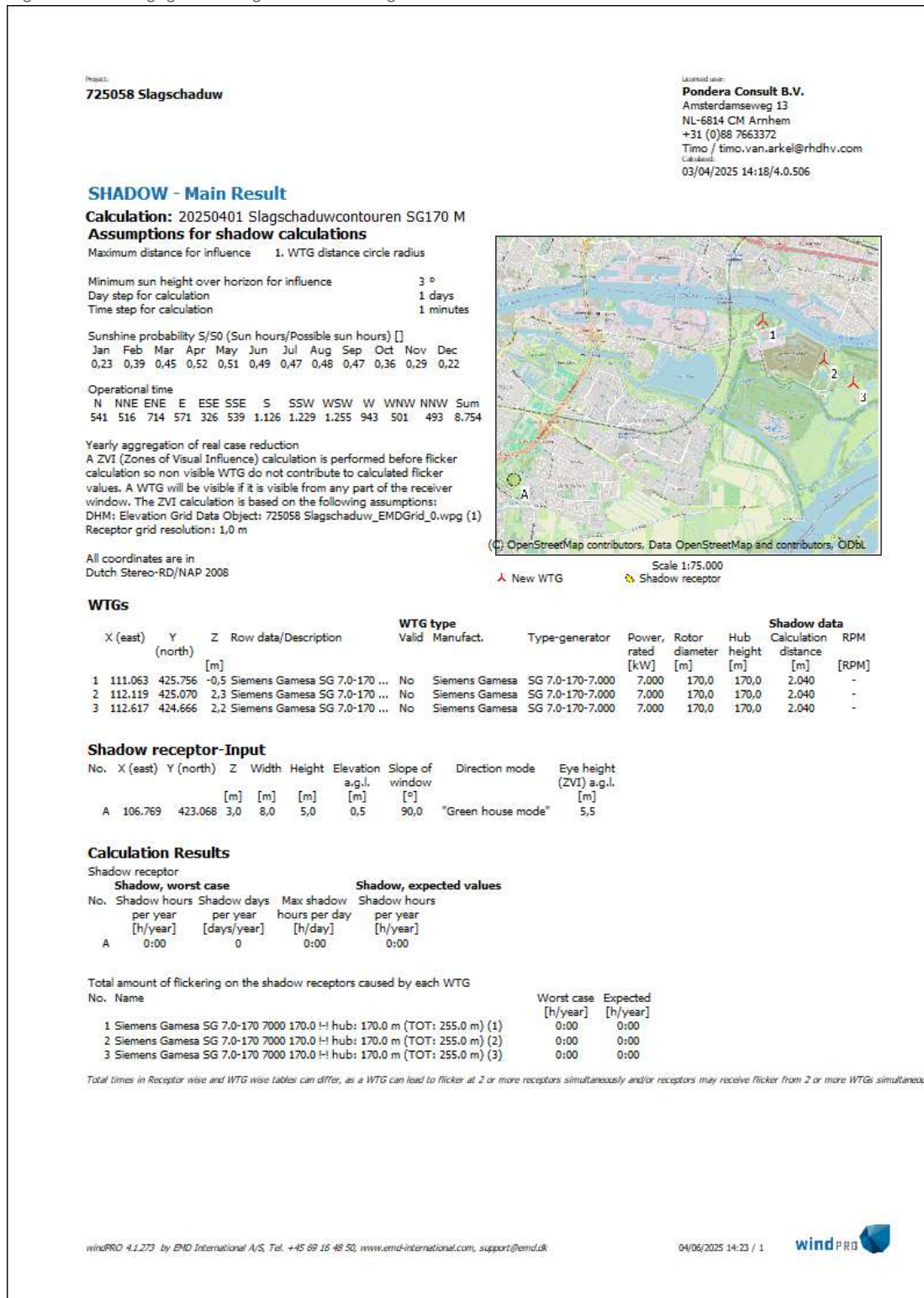


Figuur C.4 Gedetailleerde kaart slagschaduwcontouren – zoekgebied Kildepot

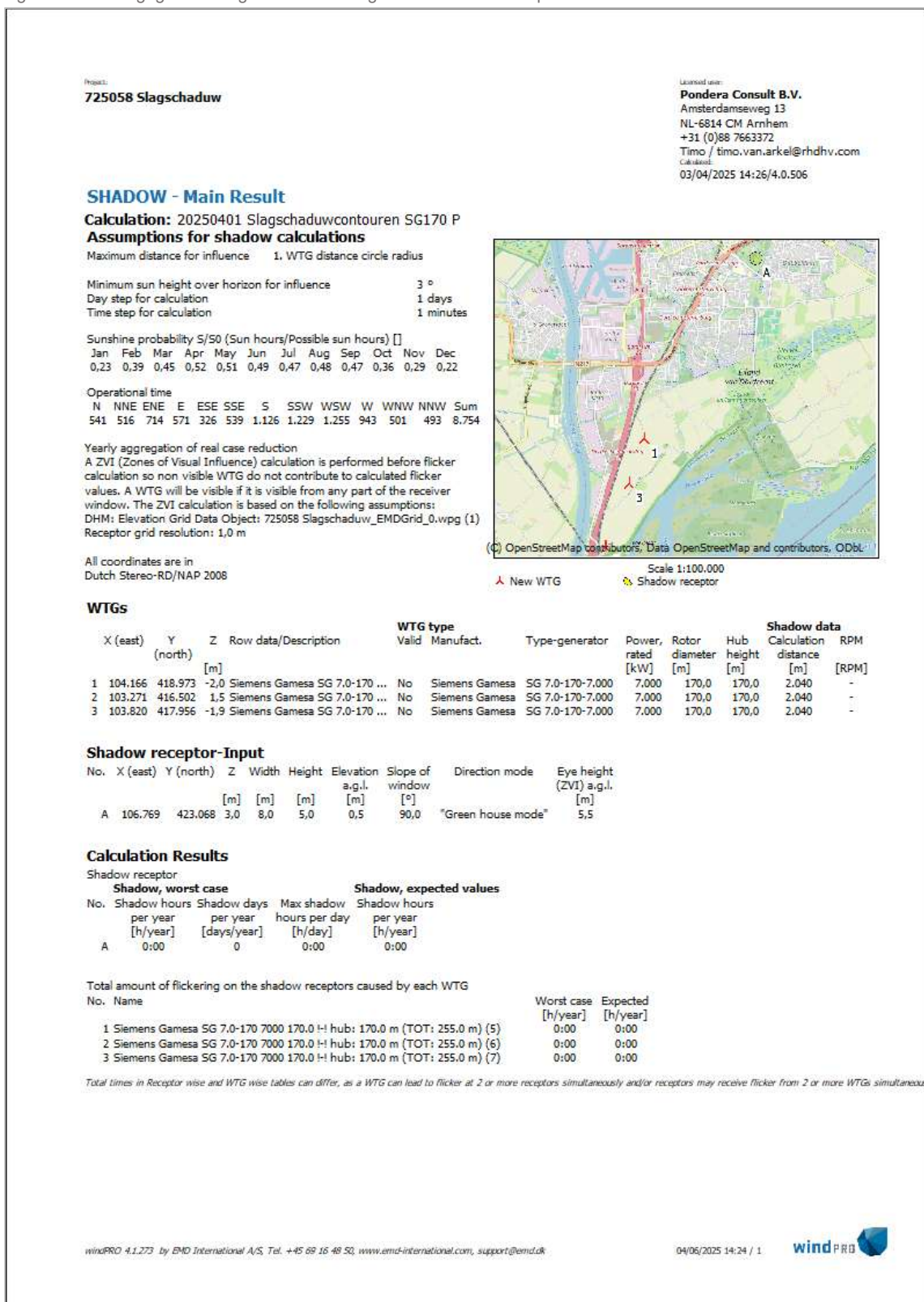


Bijlage D. Invoergegevens slagschaduwmodel

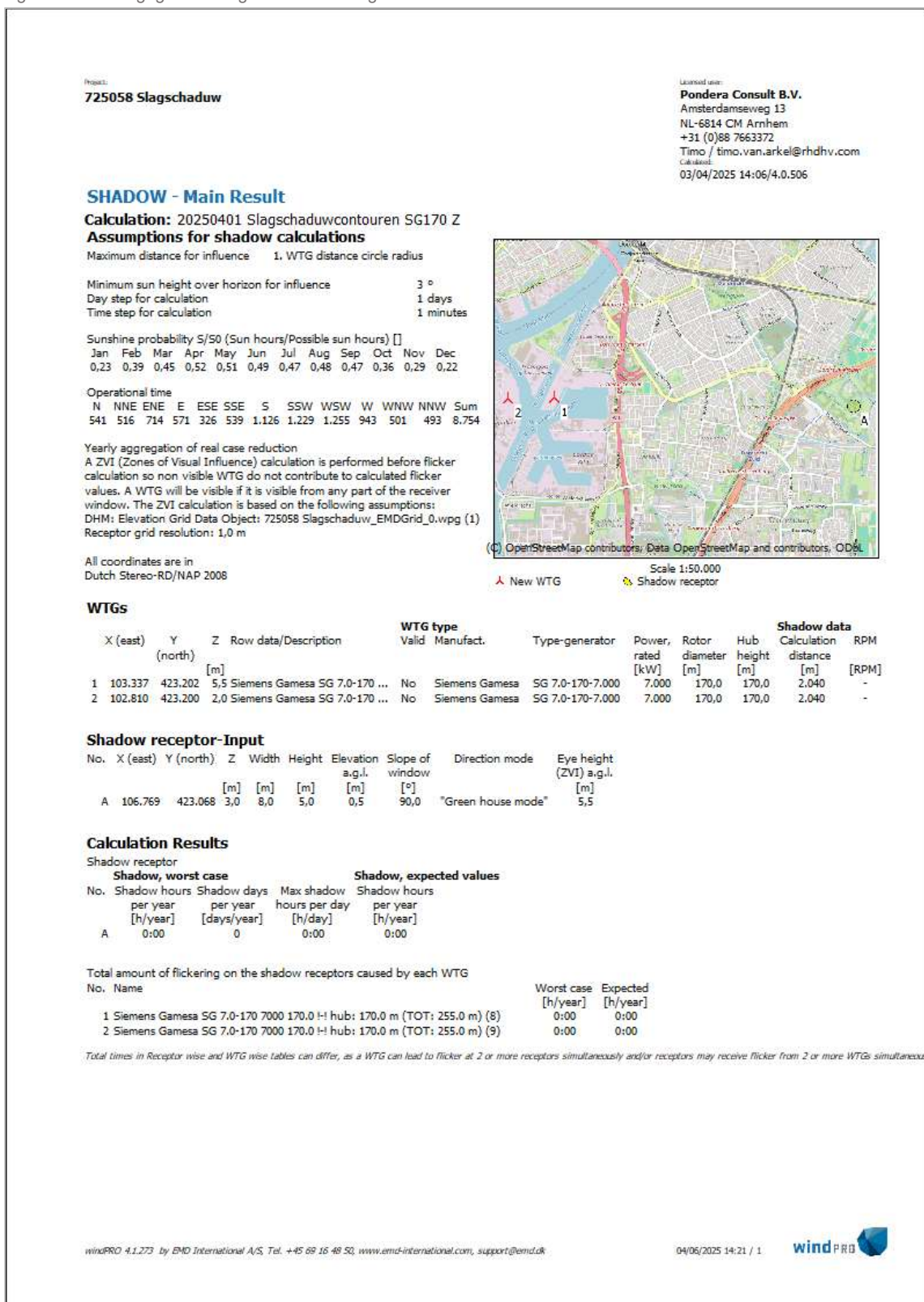
Figuur D.1 Invoergegevens slagschaduwmodel gebied Merwedelanden



Figuur D.2 Invoergegevens slagschaduwmodel gebied Polder de Zuidpunt



Figuur D.3 Invoergegevens slagschaduwmodel gebied Zeehaven



Figuur D.4 Invoergegevens slagschaduwmodel gebied Kildepot

