

Bosch & van Rijn

Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
030 – 677 6466

Auteurs

Hans Kerkvliet MSc.

Opdrachtgever

Damen Shipyards



Windturbines Damen Shipyards

Onderzoek Externe Veiligheid t.b.v. wijzigingsplan en vergunningaanvraag



Bosch & van Rijn
experts in renewable energy

Windturbines Damen Shipyards

Externe veiligheidsonderzoek t.b.v. wijzigingsplan en vergunningaanvraag

Datum
31-5-2019

Versie
0.2

Bosch & Van Rijn
Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht

Tel: 030-677 6466
Mail: info@boschenvanrijn.nl
Web: www.boschenvanrijn.nl

© Bosch & Van Rijn 2019

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt. Bosch & Van Rijn BV is niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie

Inhoudsopgave

HOOFDSTUK 1	INLEIDING	3
1.1	<i>Inleiding</i>	4
1.2	<i>Te onderzoeken windturbinetype</i>	5
1.3	<i>Leeswijzer</i>	5
HOOFDSTUK 2	RISICO-INVENTARISATIE	6
HOOFDSTUK 3	BEOORDELINGSKADER	9
3.1	<i>(Beperkt) kwetsbare objecten</i>	10
3.2	<i>Risicovolle installaties</i>	10
3.3	<i>Buisleiding</i>	11
3.4	<i>Infrastructuur</i>	12
HOOFDSTUK 4	RISICOANALYSE	13
4.1	<i>(Beperkt) kwetsbare objecten</i>	14
4.2	<i>Risicovolle installaties</i>	15
4.3	<i>Buisleidingen</i>	17
4.4	<i>Infrastructuur</i>	22
HOOFDSTUK 5	CONCLUSIE	23
5.1	<i>(beperkt) Kwetsbare objecten</i>	24
5.2	<i>Risicovolle installaties</i>	24
5.3	<i>Buisleidingen</i>	24
5.4	<i>Infrastructuur</i>	25
HOOFDSTUK 6	BIJLAGEN	26
BIJLAGE A	WINDTURBINEOPSTELLING	27
BIJLAGE B	RISICOCONTOUREN EN WERPAFSTANDEN	29
BIJLAGE C	BEREKENING WERPAFSTAND	34
BIJLAGE D	WERPAFSTAND WINDTURBINETYPE	36
BIJLAGE E	(BEPERKT) KWETSBARE OBJECTEN	37

Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Inleiding

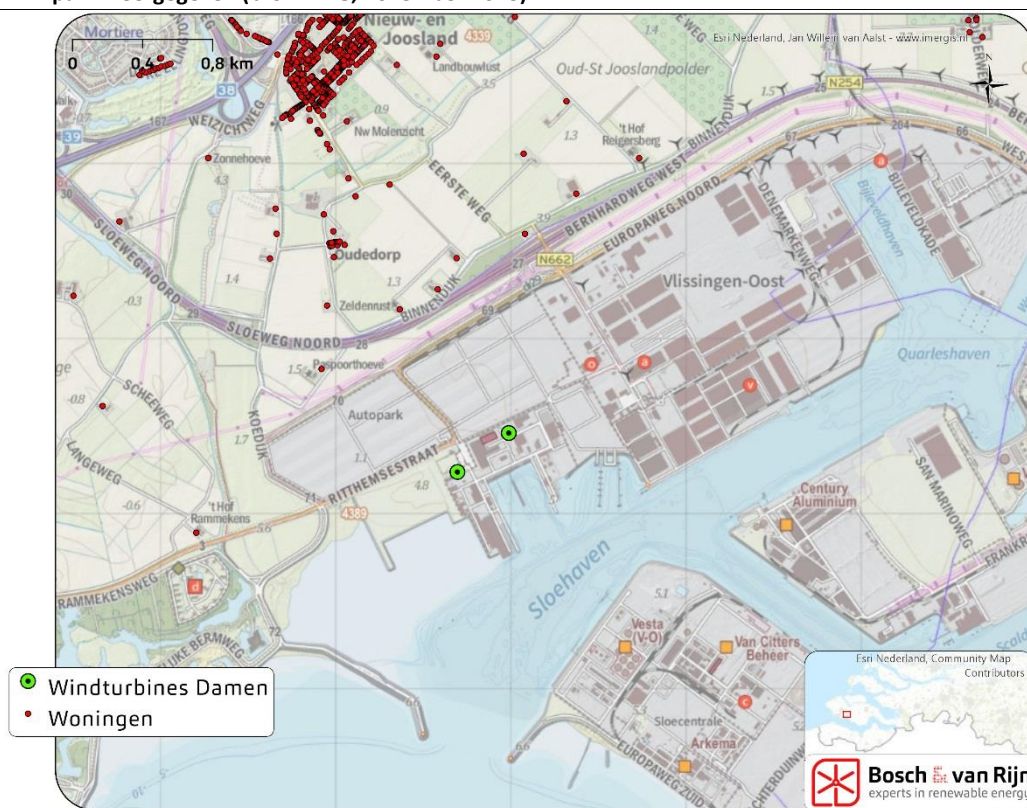
Bosch & Van Rijn heeft een kwantitatieve risicoanalyse uitgevoerd naar de externe veiligheidsrisico's van de voorgenomen windturbines Damen Shipyards in de gemeente Vlissingen ten behoeve van een wijzigingsplan en omgevingsvergunning.

In deze studie worden de externe veiligheidsrisico's in kaart gebracht van een opstelling waarin de twee windturbinelocaties vast liggen, maar er wel een bandbreedte is in ashoogte en rotordiameter. Voor wat betreft de afmetingen is deze bandbreedte als volgt opgespannen:

- Ashoogte: minimaal 85 meter, maximaal 100 meter;
- Rotordiameter: minimaal 100 meter, maximaal 130 meter;
- Tiphoogte: minimaal 135 meter, maximaal 150 meter;

In deze studie is de bovenvariant van de bandbreedte doorgerekend, omdat de bovenvariant het hoogste risico verhogende effect heeft op nabijgelegen gebouwen, installaties en infrastructuur.

Figuur 1 Ligging van de beoogde windturbines. Ook zijn alle gevoelige objecten in de omgeving van het windpark weergegeven (bron: BAG, november 2018).



De coördinaten van de windturbines staan in onderstaande tabel.

Windturbine	X	Y
1	35694	387.239
2	35987	387.461

1.2 Te onderzoeken windturbinetype

Om de externe veiligheidsrisico's van de bandbreedte goed in beeld te brengen worden de effecten doorgerekend met de grootst mogelijke windturbine afmetingen. Dit, aangezien de meeste externe risico's een direct gevolg zijn van de afmetingen. Hiertoe is een referentiewindturbine bepaald met de juiste afmetingen. Voor de maximale werpafstand wordt aangesloten bij de windturbine met de grootste werpafstand uit een doorgerekende shortlist.

Wtb type	Ashoogte (m)	Rotor (m)	Risicocontouren (m)		Max. werpafstand (m)	
			10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	Bij nominaal toerental	Bij overtoeren
Ref. WTB.	85	130	65	169	169	486

In de risicoanalyse wordt de referentiewindturbine in het vervolg aangeduid als 'bovenvariant'.

NB. De maximale werpafstand schaalt niet 1-op-1 met de afmetingen van een windturbine. Het kan daarom zo zijn dat een uiteindelijk te realiseren type een grotere werpafstand heeft dan de hierboven genoemde variant. Omdat de meeste aspecten betreffende externe veiligheid wel schalen met de afmetingen is er voor gekozen om de bandbreedte te definiëren aan de hand van afmetingen. Voor aspecten waar de maximale werpafstand een belangrijke rol speelt is hier verder aandacht aan besteed.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 worden de externe veiligheidsrisico's van de windturbines beschreven. Verder zal in dit hoofdstuk worden ingegaan op de risico's in de omgeving en de relevante objecten in het risicogebied. Hoofdstuk 3 bevat het toetsingskader voor de beoordeling van de (toename) van de externe veiligheidsrisico's. Hierbij wordt alleen ingegaan op de relevante aspecten in het plangebied. In Hoofdstuk 4 worden de risico's van de windturbines op de relevante objecten geanalyseerd. Indien nodig zullen er ook berekeningen worden opgenomen om tot conclusies te komen. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies waarin de berekende waarden worden getoetst aan het in Hoofdstuk 3 beschreven beoordelingskader.

Hoofdstuk 2 Risico-inventarisatie

Risico's van een windturbine voor de omgeving bestaan uit 3 typen falen:

1. het afbreken van (een gedeelte van) een windturbineblad,
2. het omvallen van een windturbine door mastbreuk,
3. en het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor.

Het afbreken van een windturbineblad vormt een risico binnen de straal van de maximale werpafstand. Hierbij worden twee scenario's onderscheiden; werpafstand bij nominaal toerental en de werpafstand bij overtoeren. Het omvallen van een windturbine vormt een risico binnen een straal van de maximale valafstand van de windturbine (tiphoogte). Het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor vormt een risico binnen een afstand van de wieklengte.

Op basis van de afmetingen van de varianten is een shortlist opgesteld met gangbare windturbintypes. Voor deze gangbare windturbintypes zijn op basis van generieke faalfrequenties (Bijlage A, Handboek Risicoberekeningen Windturbines (HRW) 2014), het kogelbaanmodel (zie Bijlage A. Bron: Bijlage C, HRW 2014) en parameters van de specifieke windturbintypes de werpafstanden en risicocontouren berekend (Bijlage C). De grootste werpafstand uit de shortlist wordt overgenomen ten behoeve van de referentiewindturbine. Hieruit volgen de volgende afstanden:

Tabel 1

Risicocontouren en maximale werpafstanden van onderzochte windturbintype

Windturbintype	Ashoogte (m)	RD (m)	Risicocontouren (m)		Max. werpafstand (m)	
			10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	nominaal toerental	overtoeren
Ref. Turbine.	85	130	65	169	169	486

De windturbines kunnen een risico verhogend effect hebben op nabijgelegen gebouwen, installaties en infrastructuur. Om voor het plangebied Damen Shipyards te bepalen welke onderwerpen relevant zijn wordt eerst de maximale werpafstand bij overtoeren in kaart gebracht en daarbinnen de onderwerpen gedefinieerd die relevant zijn (Figuur 2).

Figuur 2 Werpafstand bij overtoeren van bovenvariant met voor Externe Veiligheid relevante onderwerpen



Uit bovenstaande figuur blijkt dat de volgende onderwerpen relevant¹ zijn:

- ❖ **(Beperkt) kwetsbare objecten:** Er bevinden zich verschillende (beperkt) kwetsbare objecten binnen de maximale werpafstand bij overtoeren.
- ❖ **Risicovolle installaties:** Er bevindt zich één risicovolle installatie binnen de maximale werpafstand bij overtoeren.
- ❖ **Buisleidingen:** Er ligt een buisleiding nabij de windturbines.
- ❖ **Infrastructuur:** Er zijn verscheidene openbare wegen nabij de windturbines.

NB. Voor windturbines geldt dat het groepsrisico, vanuit het activiteitenbesluit, geen beoordelingskader is voor windturbines. Hierdoor hoeft er niet worden ingegaan op het groepsrisico in onderhavig document. Indien een windturbine een risico verhogend effect heeft op een risicovolle installatie, is het mogelijk dat de groepsrisico van de installatie om hoog gaat. Indien dit gebeurt moet er wel getoetst worden aan het groepsrisico.

¹ Relevant houdt in dat deze onderwerpen zich bevinden binnen de invloedssfeer van de windturbines.

Hoofdstuk 3 Beoordelingskader

3.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

De normstelling omtrent windturbines en objecten waar personen verblijven volgt uit het Activiteitenbesluit:

1. 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**.
2. 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**.

Zie Bijlage E voor de definities kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten.

Op de 10^{-6} contour heeft een persoon die onafgebroken en onbeschermd op die plaats zou verblijven, een kans op overlijden van één keer in de miljoen jaar als rechtstreeks gevolg van een falende windturbine. Op de 10^{-5} contour is deze kans één keer in de honderdduizend jaar.

3.2 Risicovolle installaties

Indien de windturbines niet substantieel bijdragen aan een verhoging van de risico's van de inrichting zullen de voor de inrichting geldende risicoafstanden niet significant wijzigen. Dat betekent dat toetsing aan de afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten ook na plaatsing van de windturbines niet tot belemmeringen leidt. Om dit te toetsen kan in eerste instantie naar de toename van de catastrofale faalfrequentie van risicovolle installaties behorende tot de inrichting worden gekeken. Indien deze toename een bepaalde richtwaarde niet overschrijdt dan is plaatsing van de windturbine uit oogpunt van risicobeoordeling toegestaan. Als uitgangspunt voor deze richtwaarde wordt volgens het Handboek Risicozonering Windturbines² 10% gehanteerd.

Indien de toename deze richtwaarde overschrijdt, is plaatsing niet direct uitgesloten, maar wordt door een uitgebreidere analyse bepaald of er na plaatsing nog steeds voldaan wordt aan de normen uit het BEVI en Bevb:

- *De grenswaarde, bedoeld in artikel 4, eerste lid, voor kwetsbare objecten is 10^{-6} per jaar.*
- *De richtwaarde, bedoeld in artikel 4, tweede lid, voor beperkt kwetsbare objecten is 10^{-5} per jaar.*

² Handboek Risicozonering Windturbines, 2014.

Artikel 4 Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen

1. Het bevoegd gezag neemt bij de beslissing op een aanvraag om een omgevingsvergunning voor een activiteit als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, onder e, onder 1°, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht de grenswaarde, genoemd in artikel 6, eerste lid, in acht.
2. Het bevoegd gezag houdt bij de beslissing op een aanvraag als bedoeld in het eerste lid rekening met de richtwaarde, genoemd in artikel 6, tweede lid.

Artikel 6 Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen

1. De grenswaarde, bedoeld in artikel 4, eerste lid, voor al dan niet geprojecteerde kwetsbare objecten is 10^{-6} per jaar.
2. De richtwaarde, bedoeld in artikel 4, tweede lid, voor al dan niet geprojecteerde beperkt kwetsbare objecten is 10^{-5} per jaar.

3.3 Buisleiding

Voor gasleidingen hanteert Gasunie N.V. een adviesafstand waarbuiten geen substantiële negatieve invloed van een windturbine is te verwachten. Deze afstand is de hoogste waarde van de maximale werpafstand bij nominaal toerental of masthoogte + $1/3^{\text{de}}$ rotordiameter. (bron: Het beleid van Gasunie Transport Services inzake het veilig plaatsen van windturbines bij haar gasinfrastructuur – 31-07-2015).

Bij in acht nemen van bovenstaande afstanden zal voor ondergrondse leidingen de plaatsing van de windturbines niet leiden tot een (significante) verhoging van de faalkans van de gasinfrastructuur, waardoor ook het risico voor de omgeving door de aanwezigheid van de gasinfrastructuur niet (significant) zal toenemen en de transport- en leveringszekerheid van het aardgas niet (significant) worden aangetast.

Als er aan bovenstaande afstanden niet kan worden voldaan dan is plaatsing van de windturbines voor Gasunie³ slechts acceptabel als:

- Er géén 10^{-6} per jaar contour ontstaat die bij Besluit externe veiligheid buisleidingen(Bevb)-transportleidingen tot buiten de belemmeringstrook reikt en bij Bevi-inrichten tot buiten het hekwerk reikt als die 10^{-6} per jaar contour vóór plaatsing van de windturbines ook niet buiten de belemmeringstrook resp. het hekwerk reikte. Dat betekent dat voor situaties waar het PR niveau binnen de belemmeringstrook resp. het hekwerk lager is dan 10^{-6} per jaar, het PR wel mag toenemen tot maximaal 10^{-6} per jaar⁴;
- De PR 10^{-6} per jaar contour niet groter wordt als die vóór de plaatsing van de windturbines al wel buiten de belemmeringstrook resp. het hekwerk reikte;

³ Bron: Het beleid van Gasunie Transport Services inzake het veilig plaatsen van windturbines bij haar gasinfrastructuur – 31-07-2015.

⁴ PR: persoonsgebonden risico.

- De frequentie dat een inrichting die onder het Activiteitenbesluit Milieubeheer valt door een onderdeel van de windturbines wordt getroffen lager is dan:
 - 5×10^{-6} per jaar voor meet- en regelstations en exportstations;
 - $2,5 \times 10^{-4}$ per jaar voor gasontvangstations.

3.4 Infrastructuur

Rijkswegen

Voor Rijkswegen zijn generieke afstanden berekend waarbuiten er geen ontoelaatbare risico's voor passanten plaatsvinden. Het document "*Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over Rijkswaterstaatwerken*" staan de minimale afstanden tot Rijkswegen gegeven:

"Langs rijkswegen wordt plaatsing van windturbines toegestaan bij een afstand van ten minste 30m uit de rand van de verharding of bij een rotordiameter groter dan 60m, ten minste de halve diameter".

"Individuele passantenrisico (IPR)

Voor het risico voor de passant is een risicomaat gekozen die aansluit bij de individuele beleving van de passant, namelijk de overlijdenskans per passant per jaar. Hierbij wordt de passant gevolgd gedurende zijn bezigheden in de nabijheid van het windturbinepark.

De initiatiefnemer die een of meerdere windturbines wil plaatsen dient aan te tonen dat het maximale toelaatbare Individueel Passanten Risico IPR niet wordt overschreden op de infrastructuur in de nabijheid van de turbine. De grens is vastgesteld van honderdzig kilometer per uur. Een generiek IPR van 10^{-6} wordt aangehouden voor alle infrastructuur waarop de wettelijk toelaatbare snelheden de honderdzig kilometer per uur niet overschrijden, en een generiek IPR van 10^{-7} op infrastructuur waarop wettelijk toelaatbare snelheden boven de honderdzig kilometer per uur bestaan.

Maatschappelijk risico (MR)

Er zijn verschillenden maten te kiezen voor het maatschappelijk risico. Rijkswaterstaat en ProRail hanteren het criterium dat er jaarlijks niet meer dan 2×10^{-3} passanten mogen overlijden. In het externe-veiligheidsbeleid voor stationaire installaties of vervoersactiviteiten wordt uitgegaan van groepsrisicocurven of FN-curven. Groepsrisicocurves hebben alleen betekenis voor 'kleine-kans-groot-gevolg'-ongevallen met slachtofferaantallen groter dan 10 per ongeval. Uit studies ref. [2, 4, 5, 6] blijkt dat bij windturbineparken in de nabijheid van rijkswegen altijd ruimschoots aan de groepsrisiconorm wordt voldaan."

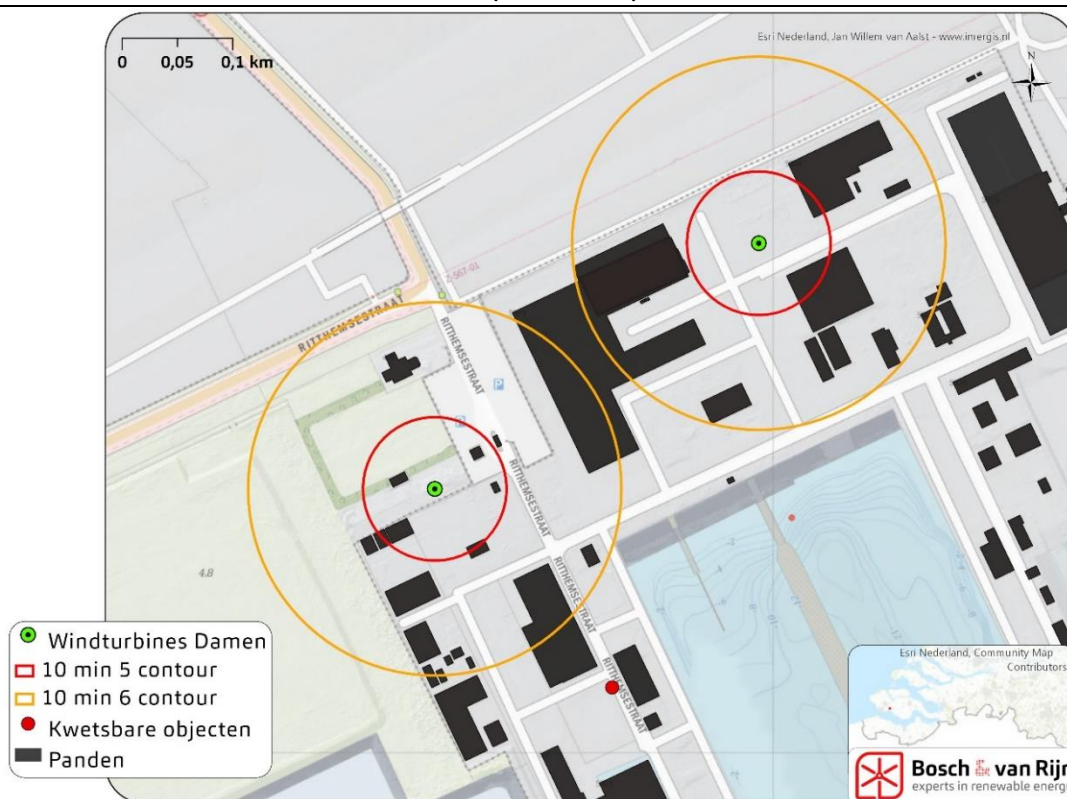
Hoofdstuk 4 Risicoanalyse

4.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

Binnen de 10^{-5} en 10^{-6} -contouren van de windturbines is nagegaan of (geprojecteerde) kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten aanwezig zijn. Hiervoor is gebruik gemaakt van het BAG, de luchtfoto en risicokaart.nl.

In onderstaand figuur zijn de risicocontouren van de windturbines te vinden. Deze is tevens in groter formaat weergegeven in Bijlage B.

Figuur 3 Risicocontouren rond de windturbines (bovenvariant)



Op basis van de berekende risicocontouren en objecten kent het plangebied 7 aandachtspunten. Er bevinden zich 7 beperkt kwetsbare objecten binnen de 10^{-5} -contour. In slechts 2 van de 7 objecten kunnen personen een groot deel van de (werk)dag verblijven. De overige 5 beperkt kwetsbare objecten kennen een opslag- of anderszins ongeschikte functie, waarbij is uitgesloten dat er personen een groot deel van de (werk)dag verblijven. Er zijn geen kwetsbare objecten binnen de 10^{-6} -contour.

Ter plaatse van de beperkt kwetsbare objecten die gelegen zijn binnen de 10^{-5} -contour hoeft niet te worden getoetst aan de grenswaarden uit het Activiteitenbesluit, daar deze objecten tot dezelfde inrichting (gaan) behoren als de windturbines.

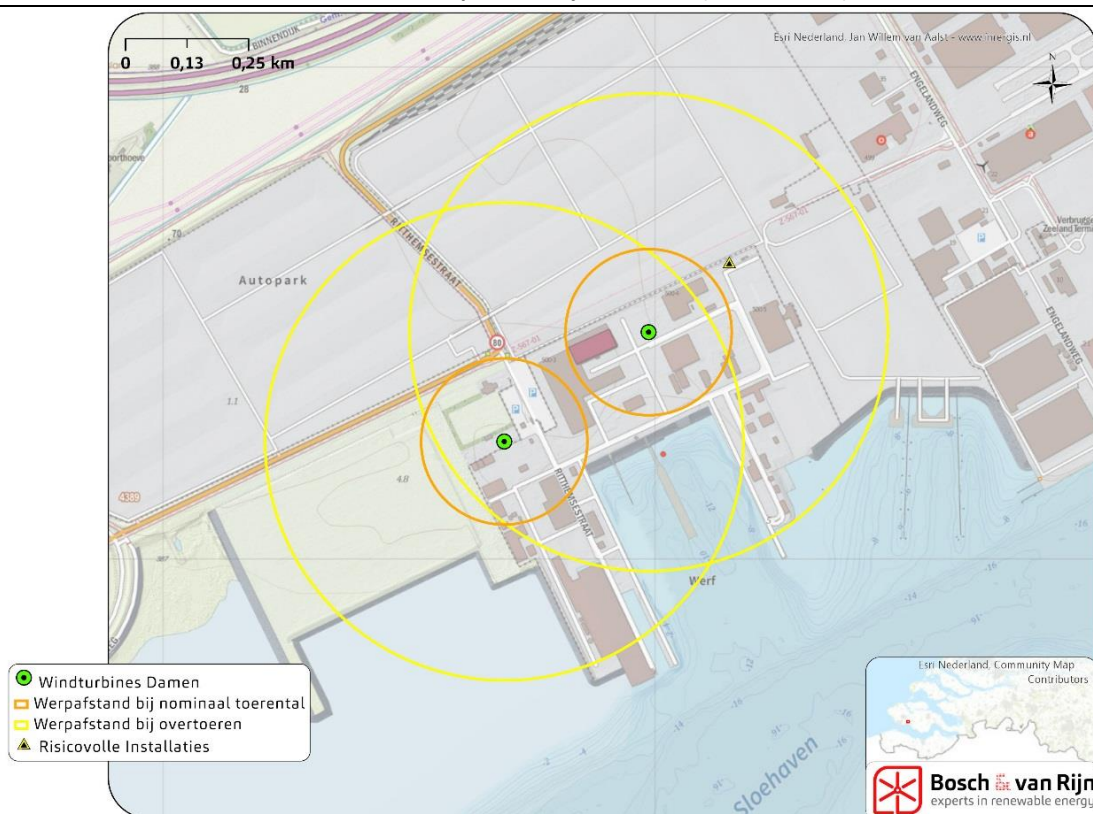
Er bevinden zich geen beperkt kwetsbare objecten of kwetsbare objecten van derden binnen respectievelijk de 10^{-5} en 10^{-6} contour.

4.2 Risicovolle installaties

4.2.1 Inventarisatie

Op basis van de ingetekende werpafstanden, aangeleverde informatie door de opdrachtgever en risicokaart.nl zijn de risicovolle installaties bepaald welke zich binnen de maximale werpafstanden bevinden.

Figuur 4 Risicovolle installaties binnen werpafstand bij overtoeren (Bovenvariant)



Tabel 2 Risicovolle installaties binnen maximale werpafstand van geplande turbines van de referentie situatie

Windturbine ⁵	Installatie	Afstand tot installatie (m)
Windturbine 2	Propaantank 50m ³	218

Doordat de afstand groter is dan de tiphoogte heeft alleen het scenario wiekbreuk een risico verhogend effect op de installatie.

⁵ Windturbines zijn genummerd van west naar oost.

4.2.2 Trefkansberekening

Rekenmethode wiekbreuk (*Handboek Risicozonering Windturbines*)

Om de trefkans van een object met hoogte h , breedte b , en diepte d te berekenen wordt uitgegaan van een geprojecteerd grondoppervlak:

De kans dat het zwaartepunt van de wiek in het geprojecteerde oppervlak terecht komt is:

$$P_{od} = P_{zwpt} \cdot A_{pt}$$

Waarin:

P_{zwpt} = trefkans van het zwaartepunt van het blad (*berekend volgens HRW 2014*).

$$A_{pt} = (b+h) \cdot (d+h)$$

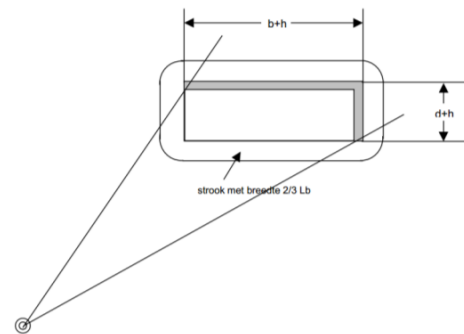
Het object kan direct door het zwaartepunt worden getroffen, maar het is ook mogelijk dat het zwaartepunt van het blad binnen een afstand van $2/3 L_b$ (lengte afgebroken blad) inslaat. In dit geval kan het object nog door het blad worden geraakt aangezien het zwaartepunt zich op ongeveer $1/3$ van het blad bevindt. Deze kans loopt van 0,0 naar 1,0 van de buitenrand van de $2/3 L_b$ strook tot het object.

De kans dat het zwaartepunt in de strook met breedte $2/3 L_b$ rondom de tank terecht komt is:

$$P_{oi} = P_{zwpt} \left((2b + 2d) \cdot \frac{1}{3} \cdot L_b + \frac{\pi}{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot L_b \right)^2 \right)$$

Om de totale trefkans te berekenen dat een installatie wordt getroffen door een blad worden de twee bovenstaande parameters bij elkaar opgeteld:

$$P_o = P_{od} + P_{oi}$$



4.2.3 Resultaten trefkans risicovolle installaties

Via de bovenstaande methoden zijn de trefkans berekend voor de risicovolle installaties van de bovenvariant waarbij de trefkans van de installatie de som is van de scenario's van falende windturbines. De resultaten worden weergegeven in onderstaande tabellen.

Tabel 3 Trefkans risicovolle installatie

Installatie	Totale trefkans
Propaantank 50m ³	1,14*10 ⁻⁰⁸

4.2.4 Faalkansverhoging

De berekende trefkans van de bovenvariant wordt vergeleken met de intrinsieke faalkans van de risicovolle installatie (faalkansen van alle catastrofale scenario's bij elkaar opgeteld). De intrinsieke faalkans wordt als volgt onderbouwd:

Tabel 4 Onderbouwing intrinsieke faalkansen van risicovolle objecten (Bron: Handleiding Risicoberekeningen BEVI)

Object	Faalkans scenario's (weergegeven tussen haakjes)
Opslagtanks gevaarlijke stoffen	De mogelijke catastrofale scenario's zijn het vrijkomen van de gehele inhoud ($5 \cdot 10^{-6}$) en het vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom ($5 \cdot 10^{-6}$).

Onderstaande tabel bevat de vergelijking van de trefkans van de windturbines met de intrinsieke faalkans van de installatie:

Tabel 5 Verhoging faalkans van risicovolle installatie

Installatie	Intr. Faalkans	Trefkans	Verhoging faalkans
Propaantank 50m ³	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$1,14 \cdot 10^{-8}$	0,11%

Uit bovenstaande tabel blijkt dat bij de installatie wordt voldaan aan de richtwaarde van 10%. Hierdoor is er geen aanvullend onderzoek nodig.

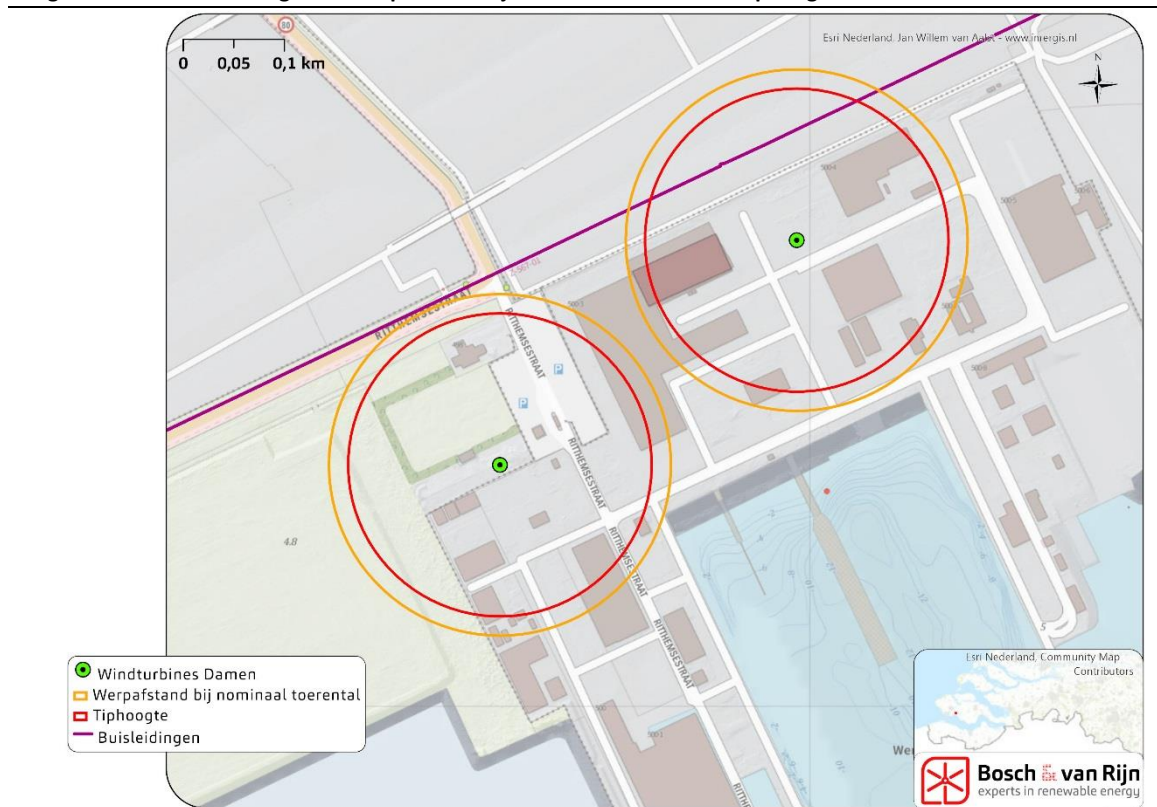
4.3 Buisleidingen

4.3.1 Inventarisatie

Vanwege de aanwezigheid van buisleidingen in het plangebied is er geanalyseerd of de bovenvariant voldoet aan de adviesafstand van Gasunie. Indien er niet wordt voldaan aan de adviesafstand van Gasunie worden de risico's gekwantificeerd waarbij de trefkansberekeningen worden uitgevoerd volgens het Handboek Risicozonering Windturbines 2014 (HRW Herziene versie 3.1, september 2014, bijlage C Hoofdstuk 8).

NB. in onderstaand figuur wordt er getoetst aan de werpafstand bij nominaal toerental, aangezien dit de maatgevende adviesafstand is. De ashoogte + $1/3^{de}$ wiel-lengte is kleiner dan de werpafstand bij nominaal toerental.

Figuur 5 Buisleidingen en werpafstand bij nominaal toerental en tiphoogte



Uit bovenstaande figuur blijkt dat er bij de volgende windturbines er niet wordt voldaan aan de adviesafstand bij de genoemde buisleiding:

Windturbine 2 – 10633 – Buisleiding Gasunie

4.3.2 Trefkansberekening

Inleiding

In onderstaande paragrafen wordt de trefkans van de windturbines op de buisleidingen berekend voor de bovenvariant. Hiervoor wordt voor beide windturbines de trefkans berekend. Voor windturbine 1 geldt dat alleen het scenario werpafstand bij overtoeren van toepassing is terwijl voor windturbine 2 scenario mastbreuk en werpafstand bij nominaal toerental ook van toepassing zijn.

Bladbreuk

Er zijn twee manieren waarop ondergrondse leidingen kunnen falen door impact van een zwaar voorwerp op de grond:

1. *Het voorwerp vormt een krater en raakt de leiding daarbij rechtstreeks.*
2. *De leiding faalt doordat de grond bij een dergelijke grote impact weggeduwd wordt, waardoor leidingen worden blootgesteld aan verschuivingen en door de ontstane spanningen kunnen falen.*

De maximale afstand waarbij de leiding nog faalt (de kritische afstand) volgt uit de hoeveelheid toelaatbare stress. Deze wordt berekend met (HRW 2014):

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

Waarbij:

R: de kritische afstand [m]

E: elasticiteit [Pa] ($2,1 \cdot 10^{11}$)

$\sigma_{toelaatbaar}$: toelaatbare extra stress voordat metaal gaat vloeien [Pa]:

$1,48 \cdot 10^8$

t: wanddikte

7 mm

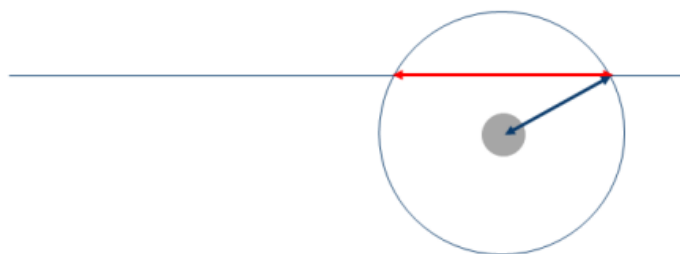
$E_{kinetisch}$: de energie van de bron (effectieve kinetische energie) [J] of voor de lijnbron de energiedichtheid per eenheidslengte [J/m]

$1,01 \cdot 10^7$

k_4 , k_5 en k_6 : empirische coëfficiënten (Handboek Risicozonering Windturbines)

Hieruit resulteert $R = 2,50$. Op basis van de diepte kan de maximale kritische breedte berekend worden.

Figuur 6 Verticale dwarsdoorsnede loodrecht op de leiding (grijs)



De kans dat deze strook getroffen wordt is kansdichtheidsverdeling * kritisch oppervlak. Het kritisch oppervlak is de totale oppervlakte van de strook binnen de maximale werpafstand van de windturbine. De kansdichtheidsverdeling is de kans dat het blad de afstand tot de strook weggeslingerd wordt.

Bovenvariant

Trefkans Windturbine 1

Scenario wiek-breuk	Kansdichtheids-verdeling (/jr.)	Kritisch oppervlak (m ²)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilometer per jaar)
overtoren	$5,49 \cdot 10^{-12}$	4099	$2,25 \cdot 10^{-08}$	$2,03 \cdot 10^{-08}$

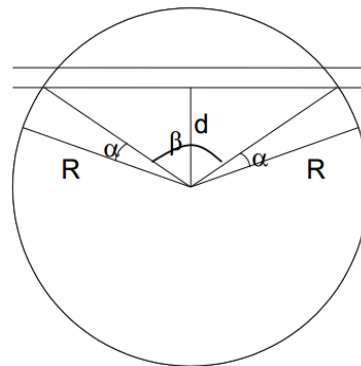
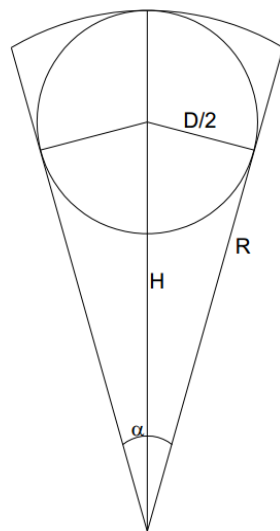
Trefkans Windturbine 2

Scenario wiek-breuk	Kansdicht-heids-verdeling (/jr.)	Kritisch oppervlak (m ²)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilometer per jaar)
nominaal	$6,20 \cdot 10^{-09}$	1245	$7,72 \cdot 10^{-06}$	$2,12 \cdot 10^{-06}$
overtieren	$3,17 \cdot 10^{-12}$	3077	$9,72 \cdot 10^{-09}$	$6,56 \cdot 10^{-09}$

Mastbreuk

Voor mastbreuk geldt $R = 34,68$ meter. De kritische strook wordt dan 69,3 meter.

De kans⁶ dat de leidingstrook wordt getroffen door een onderdeel van een omvallende windturbine wordt gelijk verondersteld aan de kans dat een gedeelte van onderstaand cirkelsegment (linker figuur) in aanraking komt met leidingstrook, hetgeen is geïllustreerd in het rechter figuur.



Windturbine gemodelleerd als cirkelsegment.

Turbine in aanraking met leidingstrook.

Bovenvariant

De trefkans is per turbinelocatie als volgt:

Trefkans Windturbine 2

Hoek ($\beta + \alpha$) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilometer per jaar)
147	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$5,32 \cdot 10^{-05}$	$1,20 \cdot 10^{-05}$

⁶ De kritische strook gaat om het massamiddelpunt. In het geval van een windturbine ligt de massamiddelpunt bij de gondel. Hierdoor wordt de valhoek bepaald door de hoek waarin de gondel (inclusief bladen) de kritische strook raakt.

Totale trefkans

Gebaseerd op de bovenstaande berekeningen is het mogelijk om de totale trefkans te berekenen. Dit is een sommatie van de trefkans door mastbreuk, wiekbreuk en gondelafworp vermenigvuldigd met het aantal windturbines.

Bovenvariant

Gasunie leiding

WTB	Trefkans wiekbreuk per wtb (per kilo- meter per jaar)	Trefkans mastbreuk per wtb (per kilome- ter per jaar)	Totale trefkans (per kilometer per jaar)
1	$2,03 \cdot 10^{-08}$		
2	$2,12 \cdot 10^{-06}$	$1,20 \cdot 10^{-05}$	$1,41 \cdot 10^{-05}$
Totaal	$2,14 \cdot 10^{-06}$	$1,20 \cdot 10^{-05}$	$1,41 \cdot 10^{-05}$

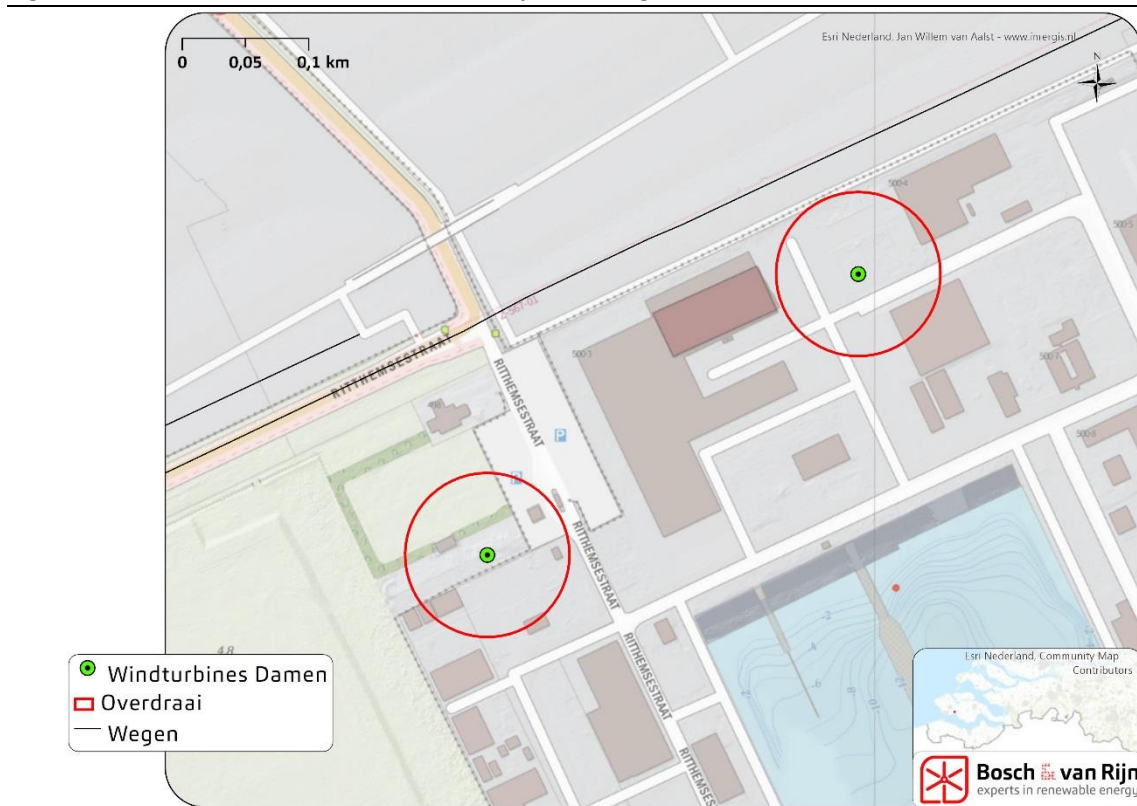
4.3.3 *Conclusie*

Doordat er geen faalkans beschikbaar is van de betreffende leiding moet in overleg met de Gasunie worden getreden of de betreffende verhoging van de faalkans van de leiding door invloed van de windturbines acceptabel is voor zowel de Gasunie als de omgeving. Hiervoor dient een nieuwe QRA uitgevoerd te worden waarin de invloed van de windturbines op de buisleiding is verwerkt. De resultaten van de QRA worden verwerkt in het wijzigingsplan. Als gevolg van de toename van de faalkans mag ter plaatse van kwetsbare objecten geen sprake zijn van een overschrijding van de grenswaarde $PR 10^{-6}$. Van belang is dat ter plaatse van het haven- en industrieterrein een veiligheidscontour ex artikel 14 Bevi geldt die is opgenomen in het bestemmingsplan. Ter plaatse van de grens van deze veiligheidscontour mag als gevolg van het totaal aan risicorelevante bedrijfsactiviteiten de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico ($PR 10^{-6}$) niet worden overschreden. Op basis van artikel 16 Bevb wordt de (toename van) externe veiligheidsrisico's van buisleidingen voor het transport van gevaarlijke stoffen aan deze contour getoetst en niet aan artikel 6 lid 1 Bevb. De QRA geeft hoe dan ook inzicht in de ligging van de PR contour van de buisleiding, na uitvoering van het wijzigingsplan.

4.4 Infrastructuur

4.4.1 Wegen

Figuur 7 Overdraai van de windturbines en openbare wegen



Op basis van bovenstaande figuur is te concluderen dat er geen overdraai plaatsvindt over openbare wegen. Hiermee wordt er voldaan aan de beleidsregel zoals beschreven in “Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over Rijks-waterstaatwerken” waardoor aanvullend onderzoek niet nodig is.

Hoofdstuk 5 Conclusie

5.1 (beperkt) Kwetsbare objecten

Er bevinden zich 2 beperkt kwetsbare objecten binnen de 10^{-5} -contour waar personen een groot deel van de (werk)dag kunnen verblijven. Er zijn geen kwetsbare objecten binnen de 10^{-6} -contour.

Ter plaatse van de beperkt kwetsbare objecten die gelegen zijn binnen de 10^{-5} -contour hoeft niet te worden getoetst aan de grenswaarden uit het Activiteitenbesluit, daar deze objecten tot dezelfde inrichting (gaan) behoren als de windturbines.

Er bevinden zich geen beperkt kwetsbare objecten of kwetsbare objecten van derden binnen respectievelijk de 10^{-5} en 10^{-6} contour.

5.2 Risicovolle installaties

Indien de windturbines niet substantieel bijdragen aan een hoger risico voor de inrichting zullen de voor de inrichting geldende afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten en de Groepsrisico ook na plaatsing van de windturbines van kracht blijven. Om dit te toetsen kan in eerste instantie naar de toename van de catastrofale faalfrequentie van risicovolle installaties behorende tot de inrichting gekeken worden. Indien deze toename een bepaalde richtwaarde niet overschrijdt dan is plaatsing van de windturbine uit oogpunt van risicobeoordeling toegestaan. Als uitgangspunt voor deze richtwaarde wordt volgens het Handboek Risicozonering Windturbines 10%⁷ gehanteerd.

Paragraaf 4.2.4 bevat de vergelijking van de trefkans van de windturbines met de intrinsieke faalkans van de installaties. Uit deze vergelijkingen volgt dat de maximale faalkansverhoging 0,11% is. Dit is ver onder de toetsingswaarde van 10%. Dit betekent dat de risico's van de windturbines, gelet op de afstand tot risicovolle inrichtingen, niet leiden tot een toename van de initiële faalkans van deze installaties van meer dan 10%.

5.3 Buisleidingen

Op basis van de berekeningen in paragraaf 4.3 blijkt dat de bovenvariant resulteert in een faalkansverhoging van een leiding van de Gasunie. De intrinsieke faalkans van de buisleiding is niet bekend. Om te onderzoeken of plaatsing van de windturbines acceptabel is moet in overleg worden getreden met Gasunie waarbij er een nieuwe QRA opgesteld dient te worden waarin de invloed van de windturbines op de buisleiding is verwerkt. De resultaten van de QRA worden verwerkt in het wijzigingsplan. Als gevolg van de toename van de faalkans mag ter plaatse van kwetsbare objecten geen sprake zijn van een overschrijding van de grenswaarde PR 10^{-6} .

⁷ Handboek Risicozonering Windturbines, 2013

Van belang is dat ter plaatse van het haven- en industrieterrein een veiligheidscontour ex artikel 14 Bevi geldt die is opgenomen in het bestemmingsplan. Ter plaatse van de grens van deze veiligheidscontour mag als gevolg van het totaal aan risico-relevante bedrijfsactiviteiten de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico (PR 10^{-6}) niet worden overschreden. Op basis van artikel 16 Bevb wordt de (toename van) externe veiligheidsrisico's van buisleidingen voor het transport van gevaarlijke stoffen aan deze contour getoetst en niet aan artikel 6 lid 1 Bevb. De QRA geeft hoe dan ook inzicht in de ligging van de PR contour van de buisleiding, na uitvoering van het wijzigingsplan.

5.4 Infrastructuur

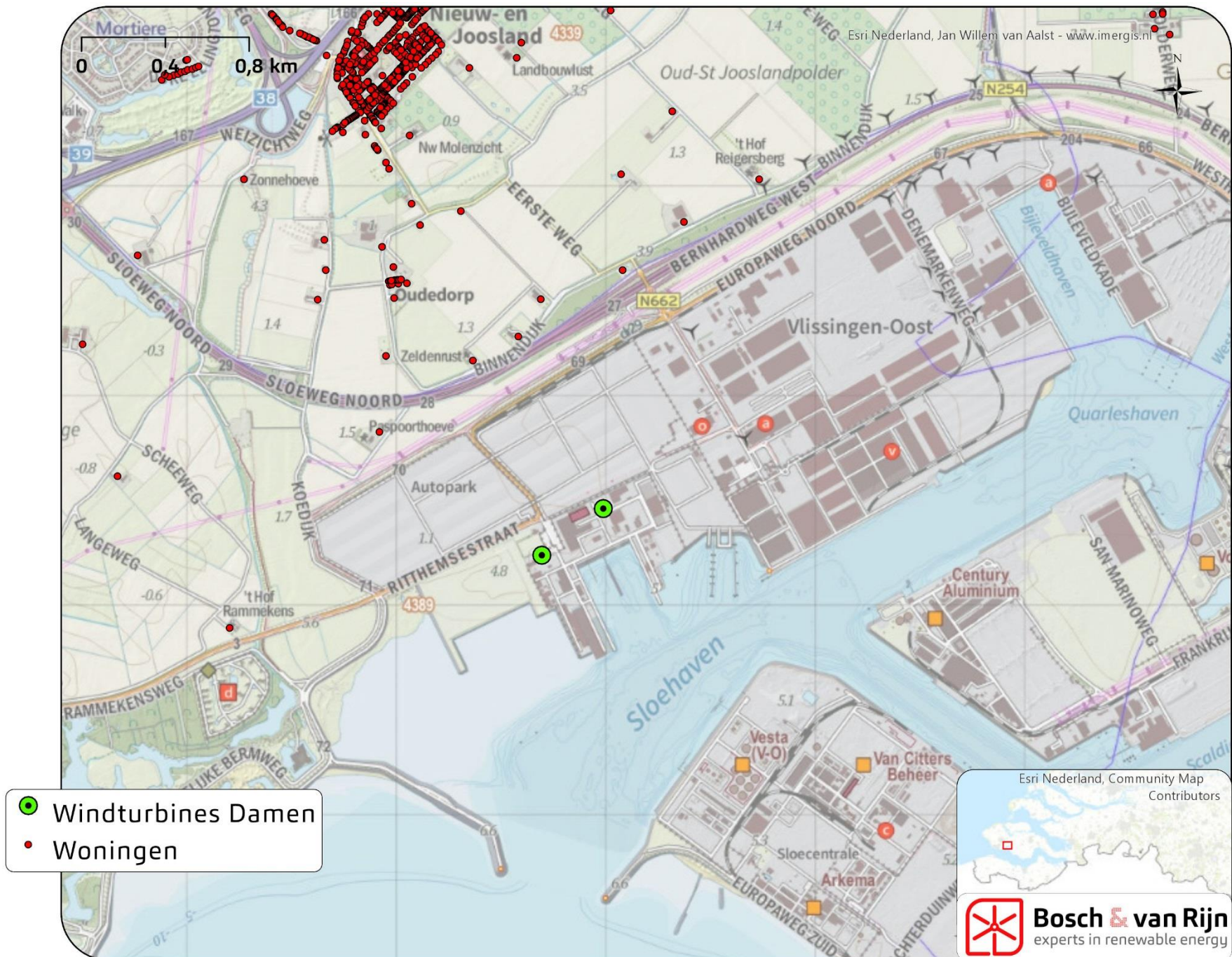
Voor de bovenvariant geldt dat er geen overdraai plaatsvindt over openbare wegen. Hiermee wordt er voldaan aan de beleidsregel "*Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatwerken*" en daardoor is geen aanvullend onderzoek nodig.

Hoofdstuk 6 Bijlagen

Bijlage A Windturbineopstelling

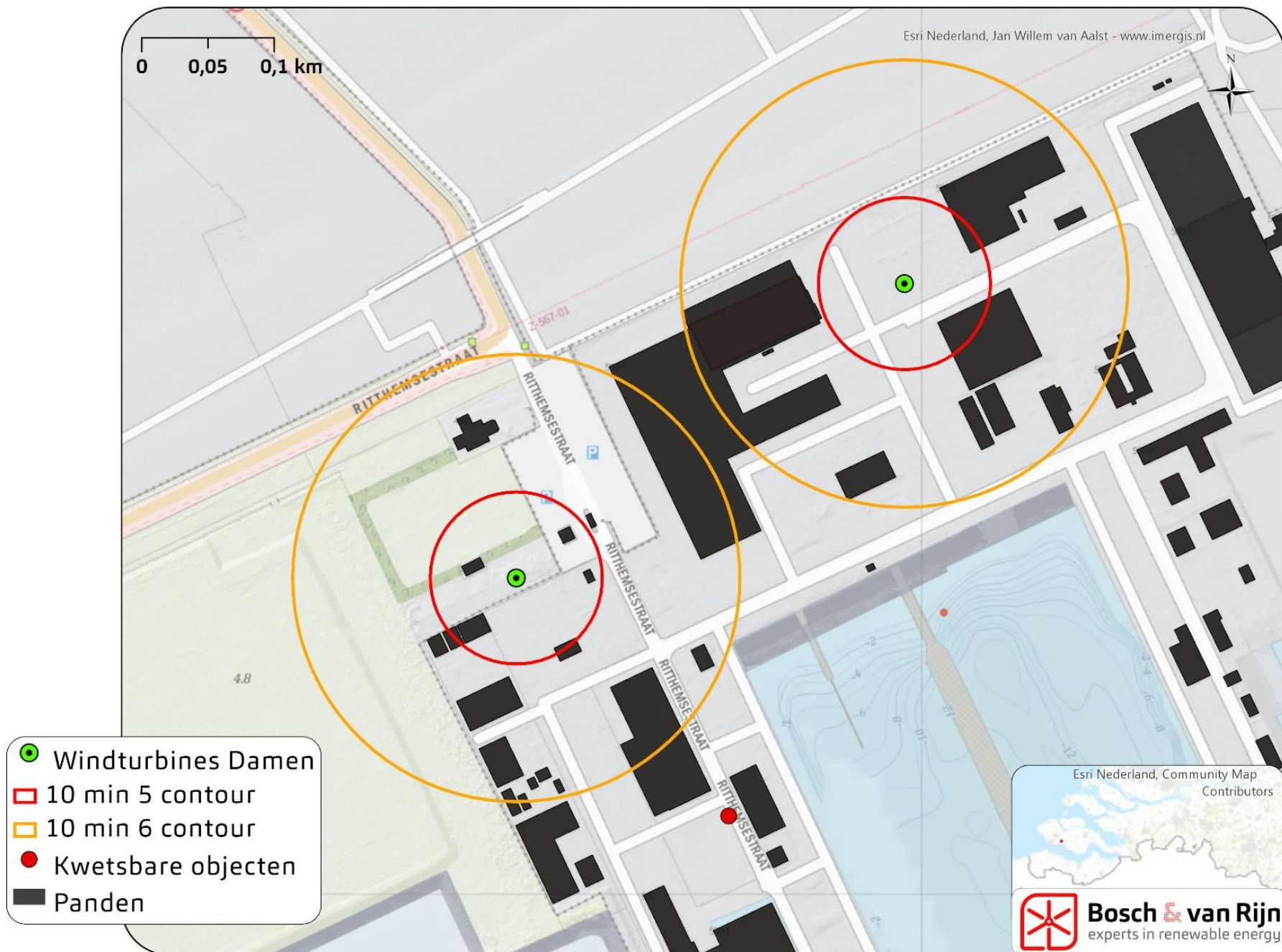
In onderstaande figuur wordt de onderzochte opstelling weergegeven.

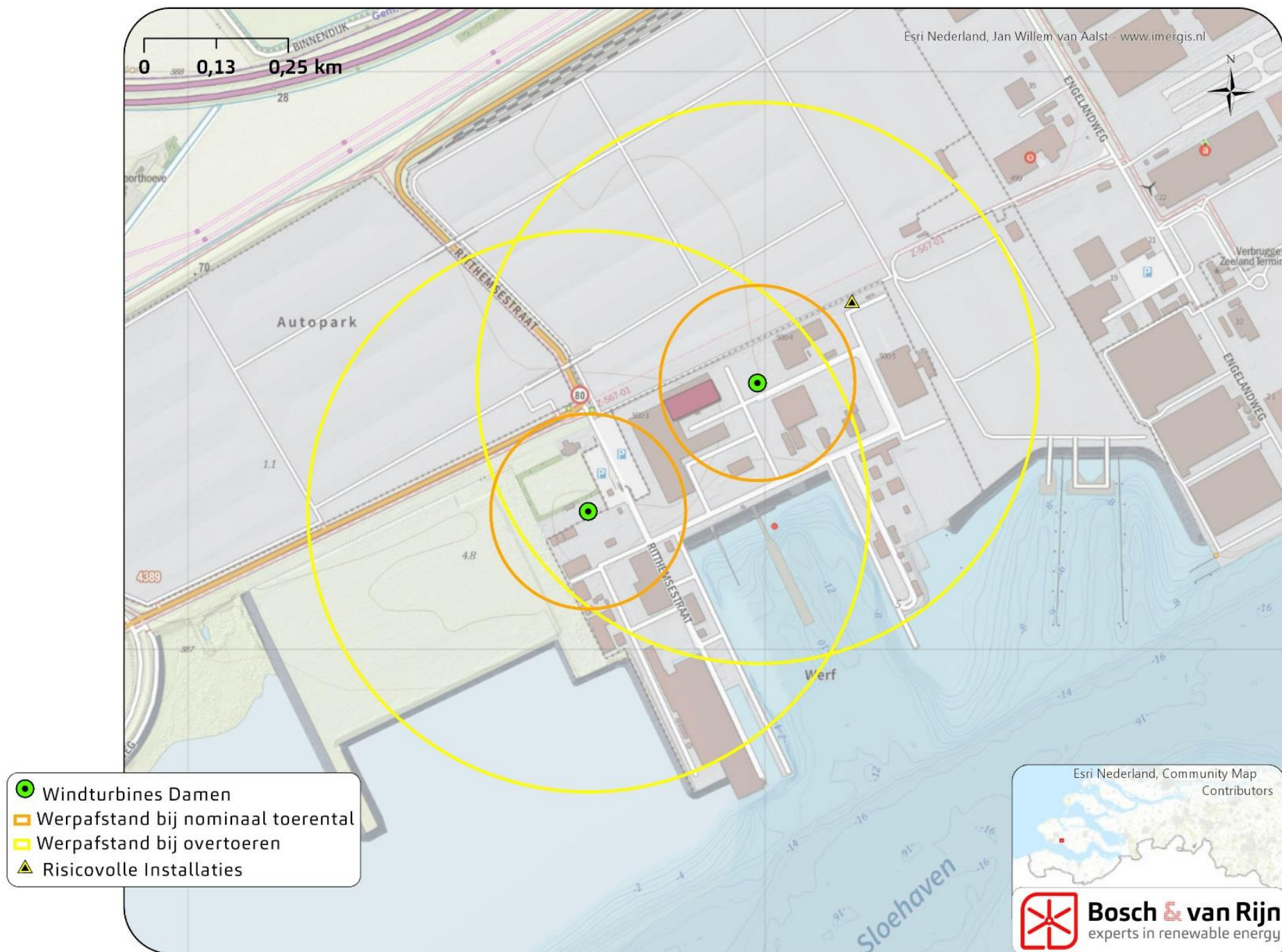


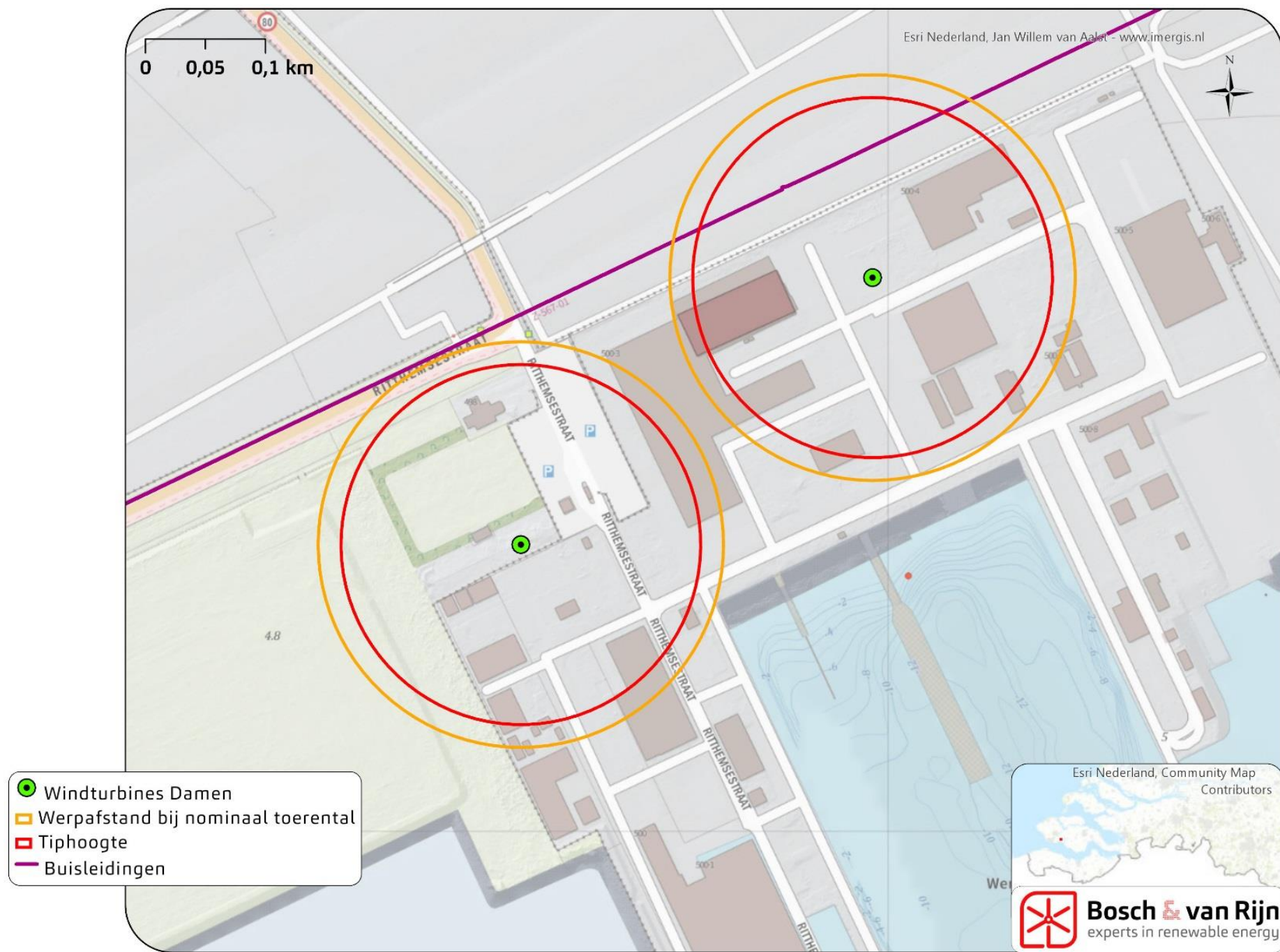


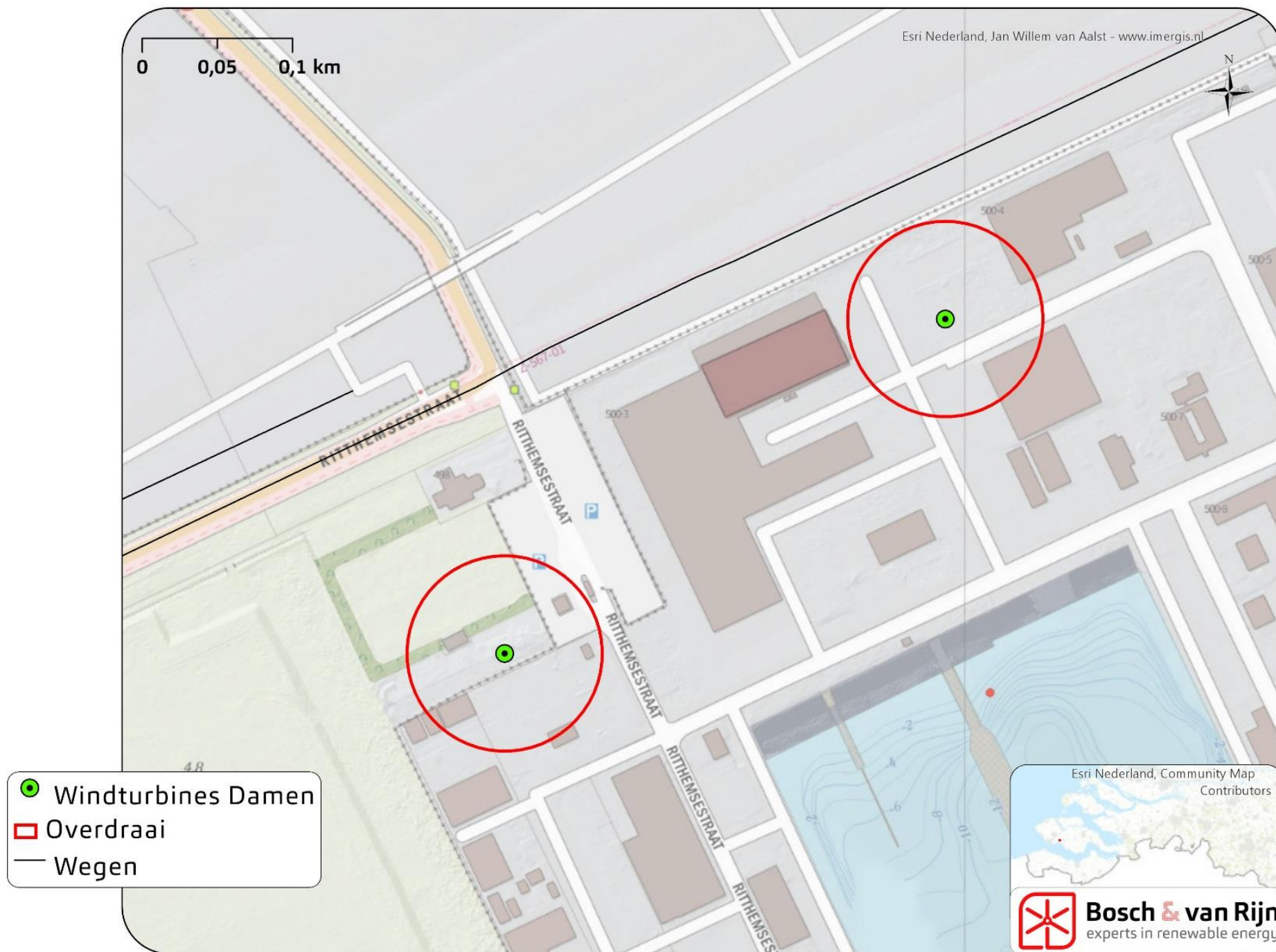
Bijlage B Risicocontouren en werpafstanden











Bijlage C Berekening werpafstand

2.1 Ballistisch model zonder luchtkrachten

2.1.1 Bewegingsvergelijking

Dit model is in principe het klassieke kogelbaanmodel, waarbij de luchtkrachten op het blad worden verwaarloosd. De relevante parameters voor dit ballistisch model zijn:

H : hoogte rotoras [m]

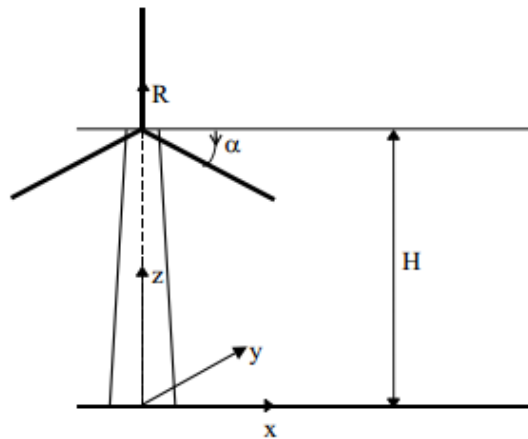
Ω : toerental van de rotor [rad/s]

R_z : afstand tot het rotor centrum van het zwaartepunt van wegvliegende deel [m]

α : azimuthhoek [rad]

g : valversnelling ($= 9,81 \text{ m/s}^2$).

Het gehanteerde assenstelsel en de draairichting wordt aangegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Overzicht parameters in ballistisch model

De bewegingsvergelijking voor het zwaartepunt is nu

$$\ddot{x}(t) = 0, \quad \ddot{y}(t) = 0, \quad \ddot{z}(t) = -g \quad (2.1.1)$$

Met de beginvoorwaarden

$$\begin{aligned} x(0) &= R_z \cos \alpha, & y(0) &= 0, & z(0) &= H - R_z \sin \alpha, \\ \dot{x}(0) &= -\Omega R_z \sin \alpha, & \dot{y}(0) &= 0, & \dot{z}(0) &= -\Omega R_z \cos \alpha, \end{aligned} \quad (2.1.2)$$

is de positie van een wegvliegende deel op tijdstip t is gegeven door:

$$\begin{aligned} x(t) &= R_z \cos \alpha - \Omega R_z t \sin \alpha \\ y(t) &= 0 \\ z(t) &= H - R_z \sin \alpha - \Omega R_z t \cos \alpha - \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \quad (2.1.3)$$

Het tijdstip waarop het zwaartepunt de grond raakt volgt uit $z(t_i) = 0$ en wordt gegeven door

$$t_i = -\frac{\Omega R_z \cos \alpha}{g} + \sqrt{\frac{2}{g} \left(H - R_z \sin \alpha + \frac{\Omega^2 R_z^2 \cos^2 \alpha}{2g} \right)} \quad (2.1.4)$$

Substitutie van (2.1.4) in (2.1.3) geeft voor een bepaald toerental de afgelegde afstand, r , als functie van de azimuthhoek ten tijde van bladbreuk, ofwel

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = x = h(\alpha; \Omega) \quad (2.1.5)$$

2.1.2 Verdelingsfuncties

De kansverdelingsfunctie f_{ZWPT} geeft de kans per m^2 dat het zwaartepunt op een bepaalde plek terecht komt gegeven bladbreuk. Bij het onderhavige model worden de luchtkrachten niet meegenomen, zodat alleen het toerental en de azimuthhoek als stochastische grootheden overblijven. Tevens geldt dat f_{ZWPT} alleen afhankelijk is van de afstand tot de windturbine. De kans dat het zwaartepunt van het blad in een cirkelschijf met breedte dr op een afstand r van de turbine terecht komt, is gegeven door

$$\begin{aligned} f_R(r; \Omega) dr &= P\{r < R < r + dr\} \\ &= P\{h^{-1}(r; \Omega) < \alpha < h^{-1}(r + dr; \Omega)\} \\ &= F_A(h^{-1}(r + dr; \Omega)) - F_A(h^{-1}(r; \Omega)) \end{aligned} \quad (2.1.6)$$

waarbij F_A de cumulatieve verdelingsfunctie is van de azimuthhoek waarbij bladbreuk optreedt. Met de aanname dat de azimuthhoek waarbij het blad afbreekt uniform is verdeeld, ofwel

$$f_A(r) = \frac{d}{d\alpha} F_A(\alpha) = \frac{1}{2\pi}, \quad 0 \leq \alpha < 2\pi \quad (2.1.7)$$

geldt nu

$$f_R(r; \Omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dr} h^{-1}(r; \Omega) \quad (2.1.8)$$

Opm: Om de gevolgde aanpak te demonstreren is bij bovenstaande afleiding verondersteld dat de functie $h(\alpha; \Omega)$ inverteerbaar is. In het geval van bladbreuk zal dit niet zo zijn, want in het algemeen zal het zwaartepunt vanuit twee verschillende azimuthhoeken op een bepaalde plek terecht kunnen komen, via de hoge baan of via de lage baan. Bij de numerieke uitwerking zal hiermee rekening moeten worden gehouden.

De kansverdelingsfunctie van de positie waar het zwaartepunt van het blad zal inslaan is nu

$$f_{ZWPT}(x, y; \Omega) = f_{ZWPT}(r; \Omega) = \frac{1}{2\pi} f_R(r; \Omega) \quad (2.1.9)$$

Bijlage D Werpafstand Windturbinetype

BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering

BEDIENINGSPANEEL

Databestand: .txt

Rekenmodel
☒ Ballistisch
☐ Luchtkrach...

☐ Gebruik mastverstevig...

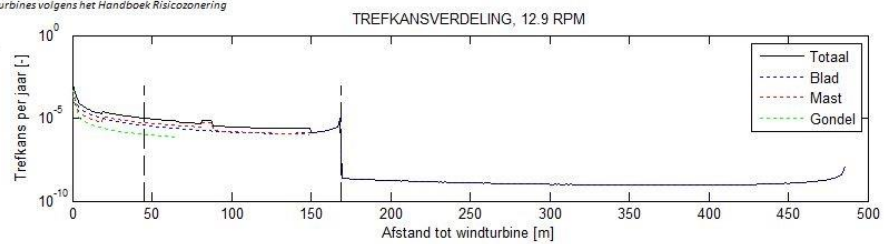
Bereken p_{zwpt} op:

202 m

280 m

Bereken

Copyright Bosch & Van Rijn, 2014



PARAMETERS

Rotordiameter 130 m
 Ashoogte 85 m
 Wieklengte 63.28 m
 Toerental 12.9 RPM
 Mastdiameter 5 m
 Lengte gondel 15 m
 Hoogte gondel 5 m
 Zwaartepunt rotorblad 23.4 m
 Solidity 0.05 -
 Kritiek bladoppervlak 213.81 m²
 Massa blad - kg
 Windsnelheid - m/s

RESULTATEN

Risicocontouren
 10-5 45 m
 10-6 169 m
 Werpafstanden
 Gegeven 169 m
 Overtoeren 486 m
 p_{zwpt}
 Afstand
 Waard
 Afstand
 Waard

Bijlage E (beperkt) Kwetsbare objecten

Kwetsbare objecten

- a) woningen, woonschepen en woonwagens, niet zijnde woningen, woonschepen of woonwagens als bedoeld in onderdeel b, onder a;
- b) gebouwen bestemd voor het verblijf, al dan niet gedurende een gedeelte van de dag, van minderjarigen, ouderen, zieken of gehandicapten, zoals:
 - 1. ziekenhuizen, bejaardenhuizen en verpleeghuizen;
 - 2. scholen, of
 - 3. gebouwen of gedeelten daarvan, bestemd voor dagopvang van minderjarigen;
- c) gebouwen waarin doorgaans grote aantallen personen gedurende een groot gedeelte van de dag aanwezig zijn, waartoe in ieder geval behoren:
 - 1. kantoorgebouwen en hotels met een bruto vloeroppervlak van meer dan 1500 m² per object, of
 - 2. complexen waarin meer dan 5 winkels zijn gevestigd en waarvan het gezamenlijk bruto vloeroppervlak meer dan 1000 m² bedraagt en winkels met een totaal bruto vloeroppervlak van meer dan 2000 m² per winkel, voorzover in die complexen of in die winkels een supermarkt, hypermarkt of warenhuis is gevestigd, en
- d) kampeer- en andere recreatieterreinen bestemd voor het verblijf van meer dan 50 personen gedurende meerdere aaneengesloten dagen;

Beperkt kwetsbare objecten

- a) 1°.verspreid liggende woningen, woonschepen en woonwagens van derden met een dichtheid van maximaal twee woningen, woonschepen of woonwagens per hectare, en
2°.dienst- en bedrijfswoningen van derden;
- b) kantoorgebouwen, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- c) hotels en restaurants, voorzover zij niet kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- d) winkels, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- e) sporthallen, sportterreinen, zwembaden en speeltuinen;
- f) kampeerterrainen en andere terreinen bestemd voor recreatieve doeleinden, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder d, vallen;
- g) bedrijfsgebouwen, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- h) objecten die met de onder a tot en met e en g genoemde gelijkgesteld kunnen worden uit hoofde van de gemiddelde tijd per dag gedurende welke personen daar verblijven, het aantal personen dat daarin doorgaans aanwezig is en de mogelijkheden voor zelfredzaamheid bij een ongeval, voorzover die objecten geen kwetsbare objecten zijn, en;
- i) objecten met een hoge infrastructurele waarde, zoals een telefoon- of elektriciteitscentrale of een gebouw met vluchtleiding apparatuur, voorzover die objecten wegens de aard van de gevaarlijke stoffen die bij een ongeval kunnen vrijkomen, bescherming verdienen tegen de gevolgen van dat ongeval;



Bosch & van Rijn
experts in renewable energy

Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
www.boschenvanrijn.nl

