



BOSCH & VAN RIJN

Experts in duurzame energie en ruimte

Windpark Havenwind

**Kwantitatieve Risicoanalyse t.b.v
omgevingsvergunning**

Windpark Havenwind

Kwantitatieve risicoanalyse ten behoeve van Omgevingsvergunning

24 maart 2017

VERSIE 1.3

Auteur

Drs. Ing. Jeroen Dooper
Hans Kerkvliet MSc.

Bosch & Van Rijn
Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht

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

© Bosch & Van Rijn 2017

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

Inhoudsopgave	2
1 Inleiding en situatiebeschrijving.....	3
1.1 Inleiding	3
1.2 Voornemen	3
1.3 Te onderzoeken windturbinetypes	4
1.4 Leeswijzer	5
2 Risico's windturbines.....	6
3 Beoordelingskader	7
3.1 (Beperkt) kwetsbare objecten	7
3.2 Risicovolle installaties	7
3.3 Buisleidingen voor transport van gevaarlijke stoffen	8
3.4 Hoogspanningsleidingen	8
3.5 Spoorwegen	8
3.6 Passanten	9
4 Risicoanalyse.....	10
4.1 (Beperkt) kwetsbare objecten	10
4.2 Risicovolle installaties	10
4.3 Buisleidingen	13
4.4 Hoogspanningsleidingen	13
4.5 Spoorwegen	14
4.6 Infrastructuur	15
5 Conclusies	21
5.1 (Beperkt) kwetsbare objecten	21
5.2 Risicovolle inrichtingen (BEVI-inrichtingen)	21
5.3 Buisleidingen	21
5.4 Hoogspanningslijn	21
5.5 Spoorwegen	21
5.6 Infrastructuur	22
Bijlagen	23
Bijlage A. Turbineopstelling	24
Bijlage B. Risicocontouren en werpafstanden	26
Bijlage C. Berekening werpafstand	33
Bijlage D. Werpafstanden turbinetypes.....	35
Bijlage E. (Beperkt) kwetsbare objecten	36



1 Inleiding en situatiebeschrijving

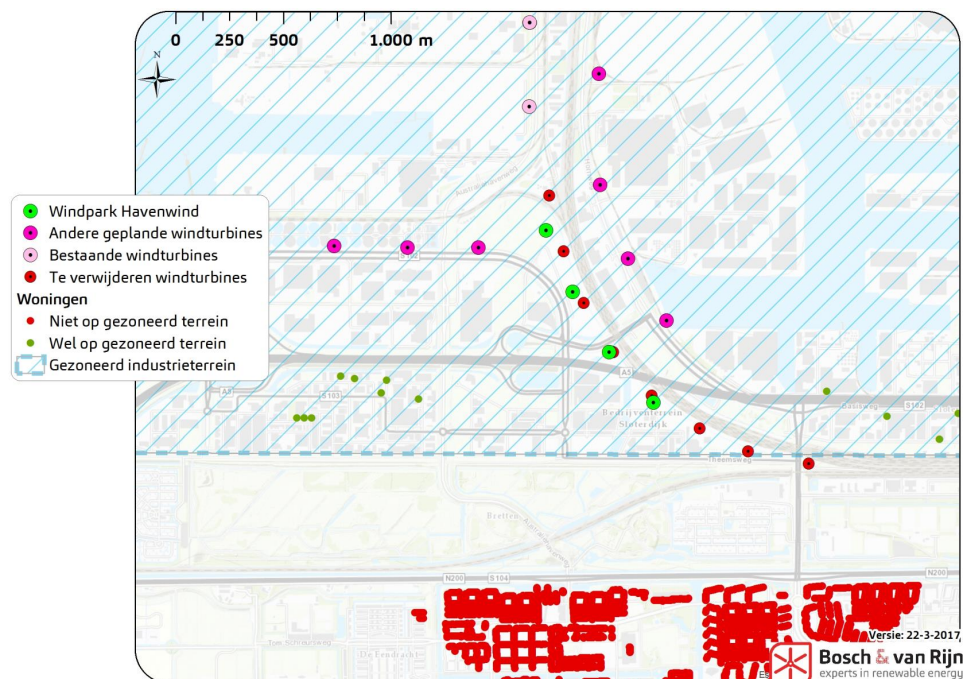
1.1 Inleiding

Voorliggend kwantitatieve risicoanalyse is opgesteld om de (externe) risico's van een viertal nieuw te plaatsen windturbines in het Westelijk havengebied in Amsterdam inzichtelijk te maken ten behoeve van de vergunningverlening.

Deze studie toets de (externe) risico's vanwege de windturbines ter plaatse van nabijgelegen gebouwen, buisleidingen, hoogspanningsleidingen, risicovolle installaties en infrastructuur aan de normen en adviesafstanden zoals beschreven in Hoofdstuk 3.

1.2 Voornemen

Figuur 1 toont de locatie van de windturbines en nabijgelegen woningen. In het havengebied zijn meerdere plannen voor windturbineopstellingen. In de figuur zijn tevens overige voornemens voor de ontwikkeling van windturbines in het Westelijk havengebied weergegeven.



Figuur 1 – Ligging van het beoogde nieuwe windpark en woningen in de omgeving



Het project bestaat uit de ontwikkeling van 4 windturbines die in de plaats komen van 8 te verwijderen windturbines op dezelfde locatie (ook weergegeven in bovenstaande figuur). In de figuur zijn tevens nabijgelegen woningen (waarbij voor 'nabijgelegen' een afstand van 1500 meter is aangehouden) aangeduid, met een onderscheid tussen woningen die zijn gelegen op het gezoneerde industrieterrein, en woningen die daarbuiten vallen. De bron voor deze gegevens is de Basisadministratie Adressen en Gebouwen (BAG), van juli 2016¹.

De coördinaten van de windturbines zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 1 Coördinaten van de windturbines in het Rijksdriehoekstelsel.

WTB	POINT_X	POINT_Y
1	115.131	490.273
2	115.255	489.988
3	115.424	489.707
4	115.629	489.473

1.3 Te onderzoeken windturbintypes

De vergunningaanvraag bevat een bandbreedte voor ashoogte en rotordiameter:

- ❖ Ashoogte: minimaal 84 meter, maximaal 95 meter,
- ❖ Rotordiameter: minimaal 82 meter, maximaal 90 meter,
- ❖ Tiphooft: maximaal 140 m,
- ❖ Verhouding ashoogte/rotordiameter: minimaal 0,9; maximaal 1,1.

Op basis van deze afmetingen zijn twee windturbintypes geselecteerd voor de beoordeling van externe veiligheidsrisico's. Het betreft geschikte windturbintypes die uitvoerbaar zijn op de betreffende locatie vanuit het oogpunt van diverse (milieu)aspecten en die een maatgevend beeld geven van de minimale en maximale effecten ten aanzien van externe veiligheid voor windturbintypes binnen de bandbreedte.

In onderstaande tabel zijn de afstanden tot het plaatsgebonden risico PR 10^{-5} en PR 10^{-6} weergegeven, de werpafstand bij nominaal toerental en de werpafstand bij overtoeren weergegeven. De berekeningen uitgevoerd conform de rekenregels van het Handboek Risicozonering Windturbines (zie hoofdstuk 3).

Tabel 2 – De 10^{-5} en 10^{-6} -contouren, werpafstand bij nominaal toerental en overtoeren vna de bovenkant en onderkant van de bandbreedte.

Fabrikant	Type	ashoogte m	rd m	10^{-5} m	10^{-6} m	Werpafstanden in m	
						Nominaal	Overtoeren
Enercon	E-82 E4 2,3MW	84	82	41	119	119	317
Vestas	V90 2,0MW	95	90	45	130	130	343

Het windturbintypes dat in het vervolg van het rapport wordt gehanteerd voor het uitvoeren van berekeningen betreft het type Vestas V90 (zie tabel 2). De reden daarvoor is dat wanneer het windturbintype met worst-case effecten op het gebied van externe veiligheid aan het toetsingskader wordt voldaan dit automatisch ook geldt voor overige windturbintypes binnen de bandbreedte. Na selectie

¹ Op basis van informatie verstrekt door de initiatiefnemer is het BAG van juli 2016 aangepast. Drie woningen (Basisweg 62, 64, 66) zijn weggehaald uit het BAG.



van een te bouwen windturbintype wordt dit overigens bevestigd met onderzoek dat in het kader van de actualisatiemelding Activiteitenbesluit wordt ingediend.

Tabel 3 – Eigenschappen van de onderzochte windturbintype

Fabrikant	Type	ashoogte m	rd m	10^{-5} m	10^{-6} m	Werpafstanden in m	
						Nominaal	Overtoeren
Vestas	V90 2,0MW	95	90	45	130	130	343

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de externe veiligheidsrisico's van windturbines beschreven. Hoofdstuk 3 bevat het toetsingskader voor de beoordeling van de (toename) van externe veiligheidsrisico's. In hoofdstuk 4 zijn de berekeningen opgenomen die zijn uitgevoerd voor het beschreven project. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies waarin de berekende waarden worden getoetst aan het in hoofdstuk 3 beschreven toetsingskader.



2 Risico's windturbines

Voor de berekening van veiligheidsrisico's in de omgeving van windturbines zijn drie faalscenario's van belang:

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, afhankelijk van het te toetsen object, 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 (tiphoopte). Het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor vormt een risico binnen een afstand van de wielengte.

Op basis van generieke faalfrequenties (bijlage A van HRW 2014), het kogelbaanmodel (bijlage C van HRW 2014) en de parameters van de referentiewindturbine zijn de werpafstanden en risicocontouren berekend.

In bijlage C zijn de gehanteerde formules opgenomen. Bijlage D bevat van de referentiewindturbine een overzicht van invoerparameters en resultaten van de berekeningen. Hieruit volgen de afstanden die zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 - Risicocontouren en maximale werpafstanden Vestas V90

Ashoogte (meter)	Risicocontouren		Max. werpafstand	
	10 ⁻⁵ (meter)	10 ⁻⁶ (meter)	Nom. toerental (meter)	Overtoeren (meter)
95	45	130	130	343

De windturbines kunnen met een trefkans als gevolg van falen een effect hebben op nabijgelegen gebouwen, installaties en infrastructuur. Voor windlocatie Havenwind, waar de vier windturbines van het project deel van uitmaken, zijn de volgende onderwerpen relevant:

- Gebouwen
- Risicovolle installaties
- Buisleidingen
- Hoogspanningsleidingen
- Spoorwegen
- Infrastructuur



3 Beoordelingskader

3.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

De normstelling voor het plaatsgebonden risico in de omgeving van windturbines, die van toepassing is op 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 beperkt kwetsbare en 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 wordt in eerste instantie naar de toename van de catastrofale faalfrequentie van risicovolle installaties behorende tot de inrichting gekeken. Indien deze toename een bepaalde toetswaarde niet overschrijdt, dan is plaatsing van de windturbine uit oogpunt van risicobeoordeling toegestaan. Uit het Handboek Risicozonering Windturbines² volgt een toetswaarde van 10% van de initiële faalkans. Indien de toetswaarde wordt overschreden is plaatsing niet direct uitgesloten, maar wordt door een uitgebreidere risicoanalyse bepaald of er na plaatsing nog steeds voldaan wordt aan de normen uit het BEVI:

- *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.



3.3 Buisleidingen voor transport van gevaarlijke stoffen

Voor gasleidingen hanteert Gasunie N.V. een adviesafstand waarbuiten geen substantiële negatieve invloed van een windturbine is te verwachten. Deze afstand is gelijk aan de maximale werpafstand bij nominaal toerental. Voor bovengrondse installaties hanteert de Gasunie een adviesafstand gelijk aan de maximale werpafstand bij overtoeren.

Dit betreft echter geen wettelijke grenswaarde. In overleg met Gasunie en afhankelijk van een locatie specifieke risicoanalyse zijn kleinere afstanden vergunbaar. In dat geval wordt getoetst aan artikel 6 van het Besluit Externe Veiligheid Buisleidingen:

- *Het plaatsgebonden risico voor een kwetsbaar object, veroorzaakt door een buisleiding, mag niet hoger zijn dan 10^{-6} per jaar.*
- *De exploitant voert de aanleg of vervanging van een buisleiding zodanig uit dat het plaatsgebonden risico van de buisleiding op een afstand van vijf meter (belemmerende strook) gemeten vanuit het hart van de buisleiding niet hoger is dan 10^{-6} per jaar.*
- *Bij regeling van Onze Minister kan voor een bepaalde categorie van buisleidingen een andere afstand tot de buisleiding worden vastgesteld waarbuiten het plaatsgebonden risico de norm van 10^{-6} niet mag overschrijden, of tijdelijk een hoger risico worden geaccepteerd.*

3.4 Hoogspanningsleidingen

Er bestaat geen wettelijke kader voor de invloed van windturbines op hoogspanningslijnen. TenneT heeft in het Handboek Risicozonering (versie 3.1, 2014) een adviesafstand opgenomen voor het transportnetwerk van 110kV tot en met 380kV. Deze adviesafstand is gelijk aan de maximale werpafstand bij nominaal toerental.

Dit betreft echter geen wettelijke grenswaarde. Wanneer er niet wordt voldaan aan de afstandseis, vraagt TenneT om met hen in overleg te treden. TenneT zal op basis van het concrete geval bepalen welk risico voor de betreffende asset op dat moment kan worden aanvaard.

Als eerste richtlijn kan gebruikt worden dat windturbine(s) de kans op falen van de verbinding met 10% mag verhogen. Deze additionele faalkans wordt gerelateerd aan de al aanwezige faalkans van de verbinding tussen de aangrenzende verdeel- of transformatorstations. Aangezien er geen standaard faalfrequentie van een hoogspanningsverbinding bestaat, dient in alle gevallen overleg en afstemming met TenneT plaats te vinden.

3.5 Spoorwegen

Voor spoorwegen hanteert ProRail een afstandseis tussen windturbines en spoorwegen. De afstandseis die gehanteerd wordt tussen windturbines en het dichtst bij gelegen spoor is minimaal 7,85 meter + halve rotordiameter, gemeten vanuit het hart van het dichtstbijzijnde spoor, met een minimum van 30 meter.



3.6

Passanten

Voor Rijkswegen zijn generieke ontoelaatbare risico's 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".

Voor de overige openbare wegen bestaan geen genormeerde afstanden, waardoor kleinere afstanden mogelijk zijn. In de beleidsregel "*Windturbines langs auto-, spoor-, en vaarwegen – Beoordeling van veiligheidsrisico's*" staan de richtlijnen gegeven:

"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

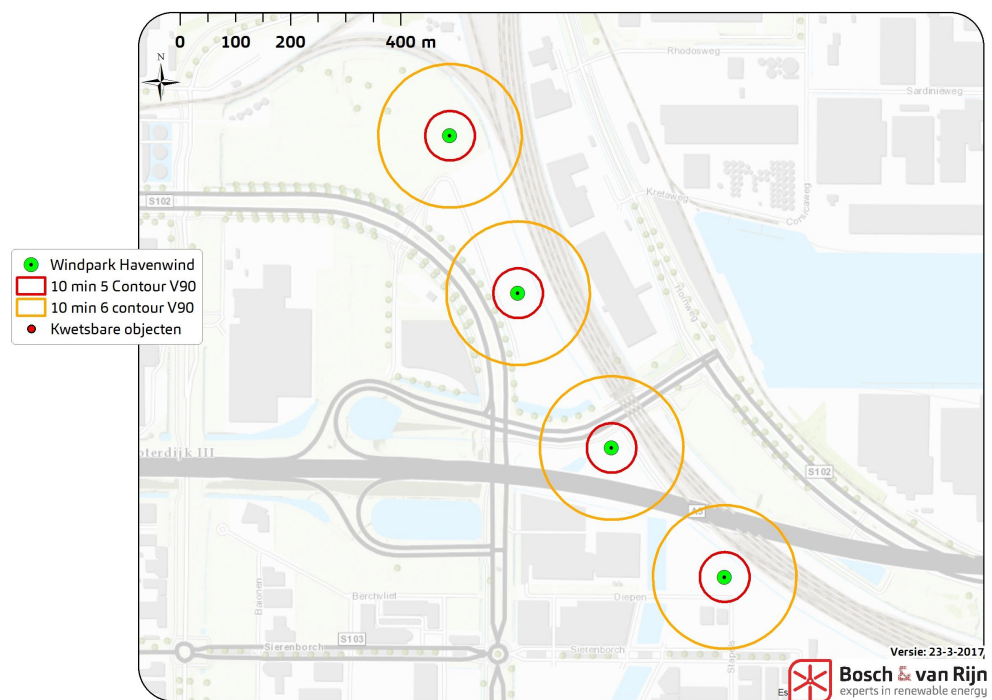
Er zijn verschillende maten te kiezen voor het maatschappelijk risico. In het externe-veiligheidsbeleid voor stationaire installaties of vervoersactiviteiten wordt uitgegaan van groepsrisicocurven of FN-curven. Groepsrisicocurves hebben alleen betekenis voor 'kleine-kans-groot-gevolg'-ongevallen met 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."



4 Risicoanalyse

4.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

De berekende 10^{-5} en 10^{-6} contouren zijn weergegeven op de kaart. Per locatie is nagegaan of kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten aanwezig zijn. Voor de gebouwen binnen de 10^{-6} contour is nagegaan of het een kwetsbaar object betreft, waarbij als bron www.risicokaart.nl is aangehouden. In Bijlage B zijn de risicocontouren en werpafstanden van de referentieturbine te vinden.

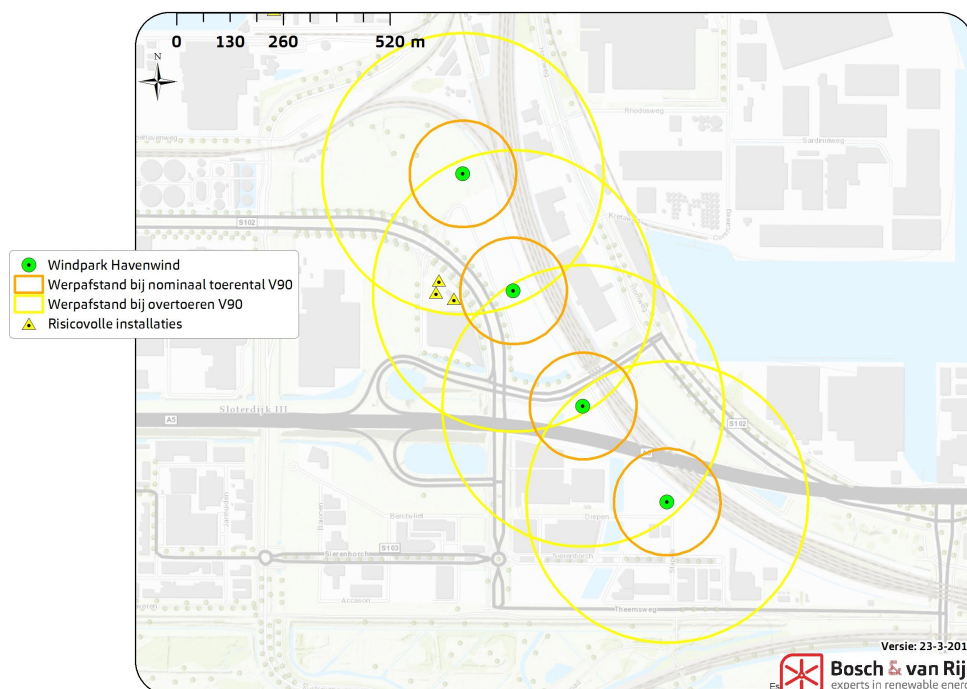


Figuur 2 - Risicocontouren rond de windturbines.

Op basis van de berekende risicocontouren en objecten kent het plangebied geen (geprojecteerde) aandachtspunten. Er bevinden zich geen beperkt kwetsbare of kwetsbare objecten binnen respectievelijk de 10^{-5} en 10^{-6} contour.

4.2 Risicovolle installaties

De berekende maximale werpafstanden (bij overtoeren) zijn ingetekend op de kaart en voor de locatie is nagegaan of binnen deze maximale werpafstanden risicovolle installaties aanwezig zijn.



Figuur 3 – Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties

Op basis van de ingetekende werpafstanden, de luchtfoto en de risicokaart (www.risicokaart.nl) zijn risicovolle installaties bepaald welke zich binnen de maximale werpafstanden bevinden. In Tabel 5 is aangegeven welke turbine de betreffende turbine is waarvan de werpafstand bij overtoeren tot de risicovolle installatie reikt.

Tabel 5 – Risicovolle installaties binnen maximale werpafstand bij overtoeren van geplande windturbines.

Windturbine	Installatie	Inhoud (m ³)	Afstand tot installatie (m)
HVW-6	LPG-Reservoir (Shell)	20	310
HVW-7	LPG-Reservoir (Shell)	20	145
HVW-6	LPG-Afleveringsinstallatie (Shell)	15	270
HVW-7	LPG-Afleveringsinstallatie (Shell)	15	180
HVW-6	Vulpunt (Shell)	15	300
HVW-7	Vulpunt (Shell)	15	189

Doordat de afstanden groter zijn dan de tiphoogte is alleen het scenario wiekbreuk van toepassing. N.B. De LPG-reservoir wordt in dit onderzoek als maatgevend beschouwd en indien de trefkans van de LPG-reservoir onder de 10% blijft, geldt dit ook voor de overige installaties.

4.2.1 Trefkansberekeningen

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 grondoppervlak³:

³ Hoewel het om een ondergrondse reservoir gaat, is er gekozen om gebruik te maken van de methode om de trefkans te berekenen voor een bovengrondse tank. Hierdoor ontstaat er een worst-case scenario



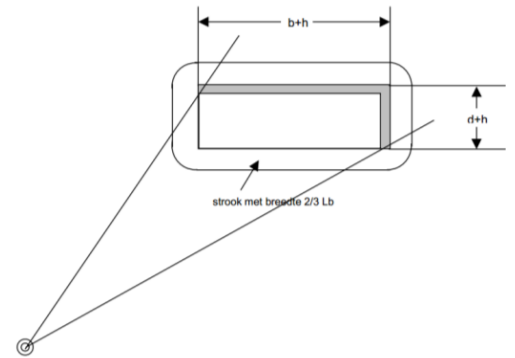
De kans dat het zwaartepunt van de wiek in het geprojecteerde oppervlak terecht komt is:

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

Waarin:

P_{zwpt} = trefkans van het zwaartepunt van het blad (berekend volgens HRW 2013).

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



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:

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

4.2.2 Resultaten trefkans risicovolle installatie

Met behulp van bovenstaande methoden zijn de trefkansen berekend voor de risicovolle installaties bij de geplande windturbines. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 6 – Trefkansen risicovolle installaties

Windturbine	Installatie	trefkans
HVW-6	LPG-Reservoir (Shell)	$1,35 \cdot 10^{-8}$
HVW-7	LPG-Reservoir (Shell)	$8,05 \cdot 10^{-9}$
Totale trefkans	LPG-Reservoir (Shell)	$2,16 \cdot 10^{-8}$

4.2.3 Faalkansverhoging

Om de faalkansverhoging te kunnen bepalen wordt de berekende trefkans van de risicovolle installaties vergeleken met de intrinsieke faalkans van de risicovolle installaties (faalkansen van alle catastrofale scenario's bij elkaar opgesteld). De intrinsieke faalkans onderbouwen we als volgt:

Tabel 7 – Onderbouwing intrinsieke faalkansen van risicovolle objecten

Object	Faalkans scenario's (weergegeven tussen haakjes)
Ondergrondse LPG tank opslag	De mogelijke catastrofale scenario's zijn het vrijkomen van de gehele inhoud ($5 \cdot 10^{-7}$) en het vrijkomen van de gehele inhoud in 10 minuten in een continue en constante stroom ($5 \cdot 10^{-7}$). Bron: Handleiding risicoberekeningen BEVI.



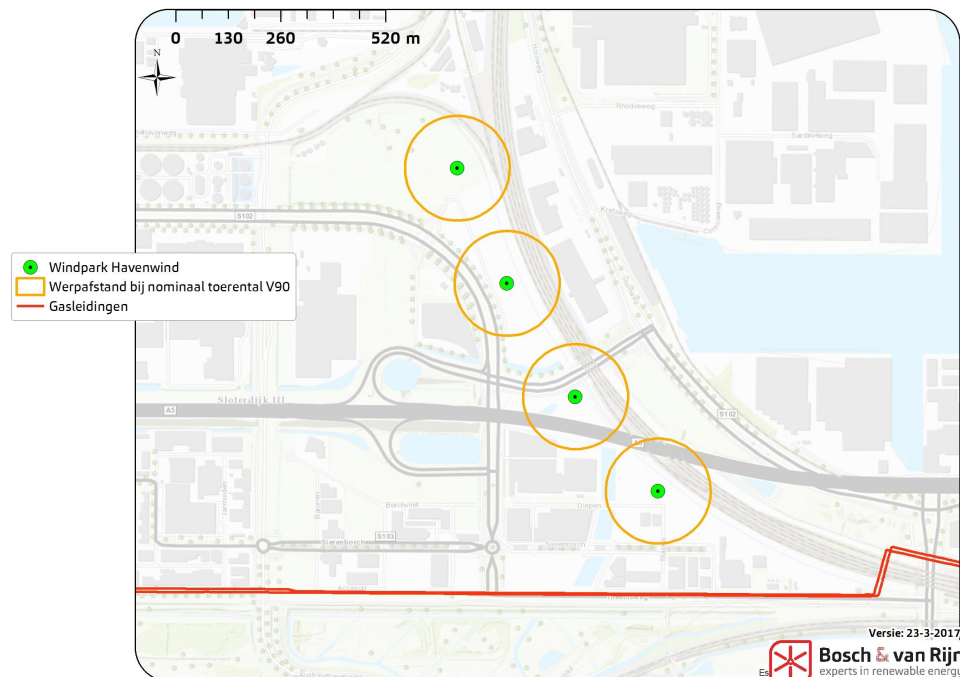
Onderstaande tabel bevat de vergelijking van trefkans van de windturbines met de intrinsieke faalkans van de installaties waarmee de procentuele toename van de faalkans is bepaald.

Tabel 8 – Verhoging faalkans van risicovolle object

Installatie	Intrinsieke faalkans	Trefkans	Verhoging faalkans
LPG Reservoir	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$2,16 \cdot 10^{-8}$	2,16%

4.3 Buisleidingen

Vanwege de aanwezigheid van buisleidingen voor het transport voor gevaarlijke stoffen nabij de beoogde windturbines is onderzocht of de windturbines een (significante) invloed hebben op de buisleidingen. Om dit te onderzoeken wordt er getoetst aan de adviesafstand (werpafstand bij nominaal toerental) van Gasunie. Indien er niet wordt voldaan aan de adviesafstand zullen de risico's worden gekwantificeerd.

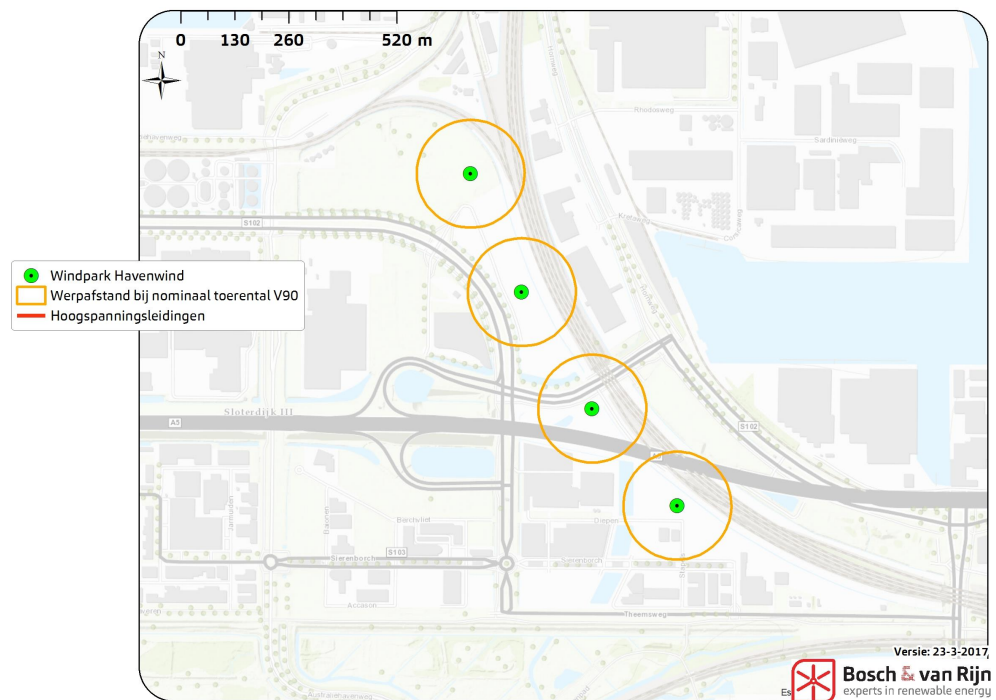


Figuur 4 – Maximale werpafstand bij nominaal toerental en overtoeren van de windturbines en buisleidingen.

Met bovenstaande figuur is inzichtelijk gemaakt dat binnen de werpafstand bij nominaal toerental geen buisleidingen aanwezig zijn. Dat betekent dat het project ten aanzien van buisleidingen niet leidt tot een substantiële trefkans. Geconcludeerd wordt dat aan het toetsingskader ten aanzien van buisleidingen wordt voldaan.

4.4 Hoogspanningsleidingen

Voor de locatie is onderzocht of zich hoogspanningsleidingen in de buurt van het plangebied bevinden. Indien dit het geval is wordt er gekeken of er wordt voldaan aan de afstandseis van TenneT (maximale werpafstand bij nominaal toerental).

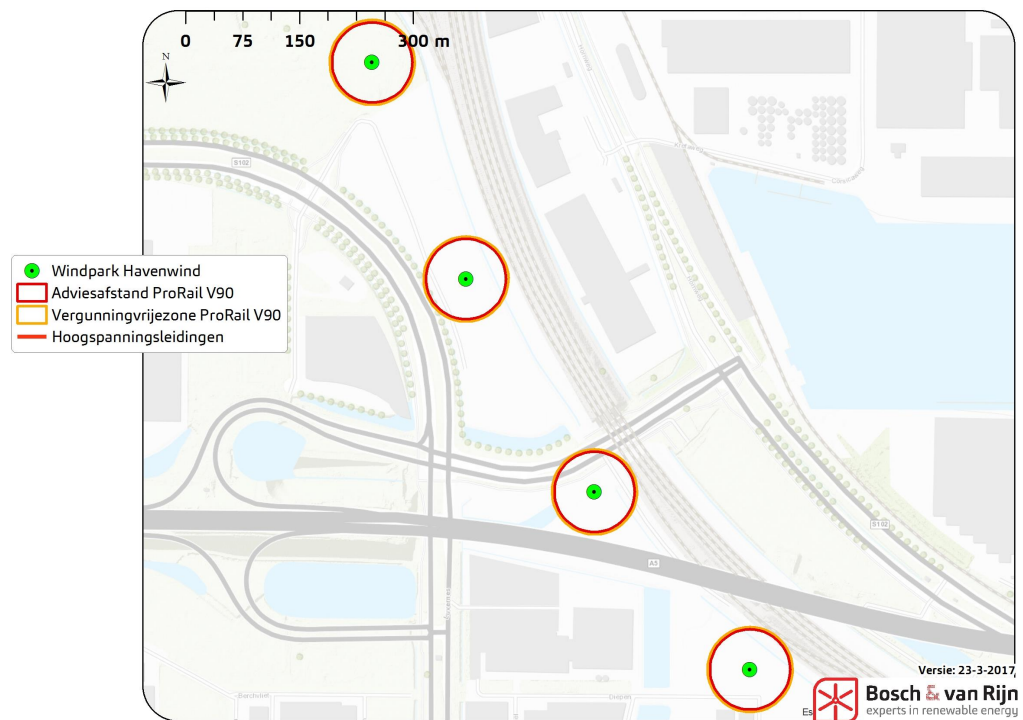


Figuur 5 - Maximale werpafstand bij nominaal toerental en overtoeren van de windturbines en hoogspanningsleidingen.

Voor de locatie geldt dat geen hoogspanningsleidingen zijn gelegen binnen de maximale werpafstand bij nominaal toerental. Er zijn derhalve geen aandachtspunten.

4.5 Spoorwegen

Voor de beoogde windturbines is onderzocht of wordt voldaan aan de adviesafstand van ProRail (Halve rotordiameter + 7,85 meter). Tevens is er gekeken of er een vergunning nodig is voor de realisatie van de windturbines. Dit is nodig indien de afstand kleiner is dan halve rotordiameter + 11 meter.



Figuur 6 – Vergunningvrije afstand windturbines en spoorwegen

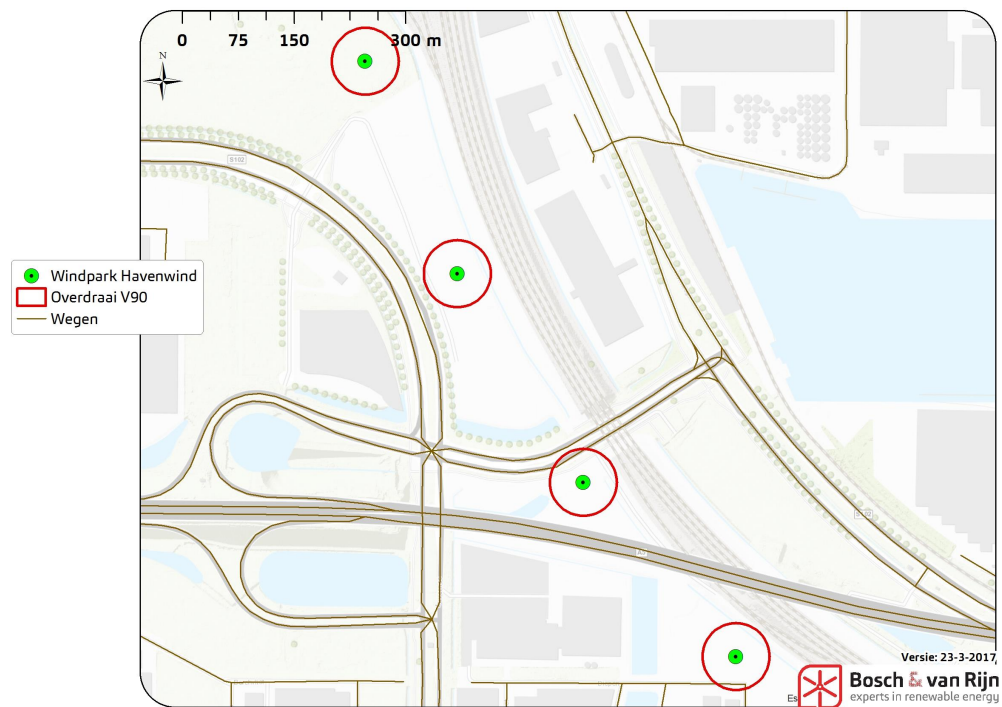
Uit bovenstaande figuur blijkt dat de windturbines buiten de adviesafstand van ProRail zijn geprojecteerd. Wel staan de windturbines HVW-8 en HVW-9 binnen de zone waarin een vergunning van ProRail nodig is. Deze dient te worden aangevraagd bij ProRail.

4.6 Infrastructuur

Voor de locatie is nagegaan of een windturbine over een openbare weg draait. Wanneer dit het geval is dient de kans te worden berekend dat een persoon wordt geraakt door een afgebroken wiek, mast en/of gondel. Dit wordt getoetst aan de toetswaarden voor het Individueel Passanten Risico (IPR) uit het Handboek. Indien geen overdraai plaatsvindt wordt er ook automatisch voldaan aan de beleidsregel “Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over Rijkswaterstaatwerken”:

“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”.

Omdat tevens sprake kan zijn van veiligheidsrisico's als gevolg van ijsafwerping wordt hierop aan het einde van de paragraaf ingegaan.



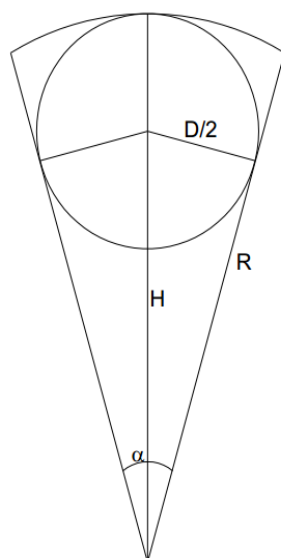
Figuur 7 – Overdraai van de windturbines op de weg

Uit bovenstaande figuur blijkt dat bij twee wegen (Noordzeeweg en Diepen) overdraai plaatsvindt door windturbines HVW-8 en HVW-9.

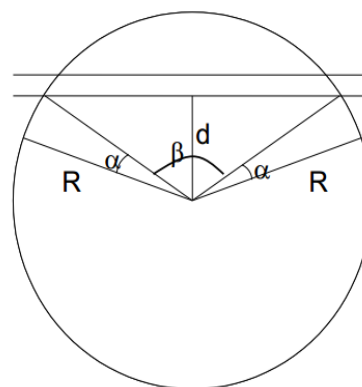
4.6.1 Trefkansberekening

Rekenmethode mastbreuk

De kans dat de weg wordt getroffen door een onderdeel van een omvallende windturbine wordt gelijk verondersteld aan de kans dat een gedeelte van onderstaand cirkelsegment (Figuur 8) in aanraking komt met een (deel van) object of weg, hetgeen is geïllustreerd in figuur 5 (HRW 2014).



Figuur 8: Windturbine als cirkelsegment.



Figuur 5: Turbine in aanraking met weg.

De trefkans wordt berekend voor beide windturbines. Turbine HVW-8 draait over de Noordzeeweg en turbine HVW-9 draait over op de Diepen.



De trefkans is als volgt:

Turbine	Afstand tot weg (m)	Valhoek graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans weg
HVW-8	32	191	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,90 \cdot 10^{-5}$
HVW-9	32	191	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,90 \cdot 10^{-5}$

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

$$\tau = \frac{0,3}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

v_o = snelheid van de passant (m/s)

Ten behoeve van deze berekening gaan we uit van de worst case scenario, wat inhoudt dat de passant met de laagste snelheid de langste verblijftijd heeft. Een voetganger gaat gemiddeld 5 km/uur (1,4 meter per seconde)

Afstand tot weg (m)	Hoek (β) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans weg	Verblijftijd passant	Trefkans per passage
32	191	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,90 \cdot 10^{-5}$	$6,79 \cdot 10^{-09}$	$4,69 \cdot 10^{-13}$

Trefkans per passant voor windturbine HVW-8 is: $4,69 \cdot 10^{-13}$

Trefkans per passant voor windturbine HVW-9 is: $4,69 \cdot 10^{-13}$

Rekenmethode wiekbreuk

De kans dat een persoon wordt geraakt als gevolg van een afgebroken wiek wordt als volgt berekend.

Windturbine HVW-8

$$P = 1,5 \cdot A_c \cdot p_{zwpt}$$

$$A_c = \text{kritiek oppervlakte wiek} = 109,89 \text{ m}^2$$

$$p_{zwpt} = \text{trefkans zwaartepunt wiek} = 2,71 \cdot 10^{-08}$$

$$P = 4,47 \cdot 10^{-6}$$

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

$$\tau = \frac{1}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

Trefkans passant Windturbine HVW-8 is: $1,01 \cdot 10^{-13}$ per passage.



Windturbine HVW-9

$$P = 1,5 \cdot A_c \cdot p_{zwpt}$$

$$\begin{aligned} A_c = \textit{kritiek oppervlakte wiek} &= 109,89 \text{ m}^2 \\ p_{zwpt} = \textit{trefkans zwaartepunt wiek} &= 2,71 \cdot 10^{-8} \end{aligned}$$

$$P = 4,47 \cdot 10^{-6}$$

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

$$\tau = \frac{1}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

Trefkans passant is: $1,01 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Rekenmethode gondelafworp

Voor het berekenen van personen en objecten ten gevolgen van het afvallen van een gondel met rotor of alleen een rotor kan dezelfde aanpak worden gevolgd als mastbreuk. De masthoogte wordt voor deze berekening nul verondersteld. Het risicogebied blijft dan beperkt tot een gebied rondom de toren dat gelijk is aan de rotordiameter. Daarmee is de trefkans van de weg gelijk aan de kans dat het scenario zich voordoet: $4,0 \cdot 10^{-5}$ per jaar.

De kans dat een passant bij dit faalscenario wordt getroffen is voor alle turbinelocaties gelijk. De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor.

$$\tau = \frac{0,3}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

Trefkans passant is: $2,72 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Conclusie passantenrisico

De totale raakkans per passage voor turbine HVW-8 is dan:

Mastbreuk: $4,69 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Wiekbreuk: $1,01 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Gondelafworp: $2,72 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Totaal: $8,42 \cdot 10^{-13}$ per passage.



De totale raakkans per passage voor turbine HVW-9 is dan:

Mastbreuk: $4,69 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Wiekbreuk: $1,01 \cdot 10^{-34}$ per passage.

Gondelafworp: $2,72 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Totaal: $8,42 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Om tot de totale trefkans te komen worden de bovenstaande trefkansen voor de 2 windturbines bij elkaar opgeteld. Hiermee wordt rekening gehouden met een passant die van beide wegen gebruik maakt.

Dit toegepast leidt tot een totale trefkans van $1,68 \cdot 10^{-12}$ per passage.

4.6.2

Ijsafworp

Doordat overdraai plaatsvindt bij de beoogde windturbines zal hieronder worden ingegaan op de risico's van ijsafworp. Het Handboek Risicozonering Windturbines zegt het volgende over ijsafworp: *“Uit ervaring is bekend dat in Nederland ijsafzetting op de bladen meestal ontstaat tijdens stilstand van de windturbine. Observaties van dit fenomeen hebben laten zien dat bij een kleine beweging of doorbuiging van het blad, hetgeen al optreedt bij een zeer geringe windsnelheid, het ijs in grote brokken naar beneden valt en dat langwerpige platen ijs in een strook onder het rotorvlak terecht komen. De brokken hebben een oppervlak kleiner dan het blad zelf en een dikte van enkele millimeter tot een centimeter. Door het “dwarrelen” van brokken ijs kunnen deze, afhankelijk van de hoogte van de windturbine in een strook van enkele tientallen meters breed terecht komen. Bij een turbine met een masthoogte van circa 65 meter is waargenomen dat stukken ijs op 10-15 meter van het rotorvlak terecht kwamen.*

Indien het gebied onder de rotor vrij toegankelijk is zal het aspect van afvallend ijs in de risicobeoordeling meegenomen moeten worden. De impact op een object is vergelijkbaar met die van brokken ijs die b.v. van een vrachtwagen afwaaien en een achteropkomende auto treffen; meestal is de achteropkomende auto niet beschadigd. Onbeschermde personen kunnen mogelijk gewond raken. Het aantal keer per jaar dat ijs aangroeit aan een blad is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden. Indien nodig of gewenst kan dit risico worden vermeden door bij ijsafzetting de turbine zodanig te kruien dat de strook onder het rotorvlak niet meer toegankelijk is voor onbeschermde personen. Het aantal keren per jaar dat ijs aangroeit aan een blad is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden. Volgens schattingen van de opstellers van het handboek komt de situatie in Nederland maximaal twee keer per jaar voor.

Volgens het Besluit Voorzieningen en installaties Milieubeheer mogen de windturbines niet in bedrijf zijn of worden genomen indien er ijs op de bladen zit. Mocht dit toch gebeuren dan zijn de risico's voor de omgeving minimaal, omdat het om kleine brokstukken gaat die relatief ver weg geslingerd kunnen worden. Het PR hiervan is verwaarloosbaar klein.



Ijsdetectie

Windturbines kunnen worden uitgerust met een techniek waarmee (de kans op) ijsvorming wordt gedetecteerd of voorkomen. Wanneer ijsafzetting plaatsvindt stopt de windturbine en draait deze indien gewenst naar een vooraf ingestelde stand (bijv. parallel aan de weg zodat de afstand tot de weg zo groot mogelijk is). De windturbines worden vervolgens pas weer in bedrijf genomen wanneer visueel is vastgesteld dat er geen ijs meer op de bladen is. Voor de bovengenoemde windturbines, die overdraaien over wegen, wordt een ijsdetectiesysteem toegepast.



5 Conclusies

5.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

Er bevinden zich geen (beperkt) kwetsbare objecten binnen de 10^{-5} en 10^{-6} contouren. Hiermee wordt er voldaan aan de grenswaarden uit het Activiteitenbesluit.

5.2 Risicovolle inrichtingen (BEVI-inrichtingen)

Indien de windturbines niet substantieel bijdragen aan een verhoging van de risico's van de inrichting hebben de windturbines geen invloed op de bestaande risicosituatie. Om dit te toetsen is in eerste instantie gekeken naar de toename van de catastrofale faalfrequentie van risicovolle installaties behorende tot de inrichting. Indien deze toename een bepaalde richtwaarde niet overschrijdt is plaatsing van de windturbine, uit het oogpunt van de risicobeoordeling, toelaatbaar. Op grond van het Handboek Risicozonering Windturbines⁴ wordt of toetsingswaarde gehanteerd van 10%.

Paragraaf 4.2.3 bevat de vergelijking van de trefkans van de windturbines met de intrinsieke faalkans van de installaties. Uit deze vergelijking volgt dat er geen sprake is van overschrijding van de toetswaarde. Dat betekent dat de risico's van de windturbines, gelet op de afstand tot risicovolle installaties, niet leiden tot toename van de initiële faalkans van deze installaties van meer dan 10%.

5.3 Buisleidingen

De leidingen die gevaarlijke stoffen transporteren bevinden zich buiten de werpafstand bij nominaal toerental van de beoogde windturbines. Hiermee wordt er voldaan aan de adviesafstand van Gasunie.

5.4 Hoogspanningslijn

De hoogspanningsinfrastructuur van TenneT bevindt zich buiten de werpafstand bij nominaal toerental van de beoogde windturbines. Hiermee wordt voldaan aan de adviesafstand van TenneT.

5.5 Spoorwegen

De beoogde windturbines voldoen aan de afstandseis van ProRail (7,85 meter + halve rotordiameter).

⁴ Handboek Risicozonering Windturbines, geactualiseerde versie 3.1, september 2014.



5.6 Infrastructuur

De trefkans als gevolg van een falende windturbine is:

- $1,30 \cdot 10^{-12}$ per passage

Aan het IPR wordt voldaan zolang één passant niet meer dan 594.078 keer per jaar de turbine passeert. Dit komt overeen met 1584 passages per dag, gedurende een heel jaar, door een en dezelfde persoon. Het is niet realistisch dat het IPR overschreden wordt.

In het Handboek is gesteld dat naast het IPR tevens moet worden ingegaan op het Maatschappelijk Risico (MR). Deze toetswaarde wordt gehanteerd voor de beoordeling van risico's voor groepen van aanwezigen/passanten. Hierbij wordt de omgekeerde benadering gehanteerd: onderzocht wordt bij welke omvang van de groep niet langer aan de toetswaarde voor het MR kan worden voldaan. Deze toetswaarde bedraagt $2 \cdot 10^{-3}$ doden per jaar.

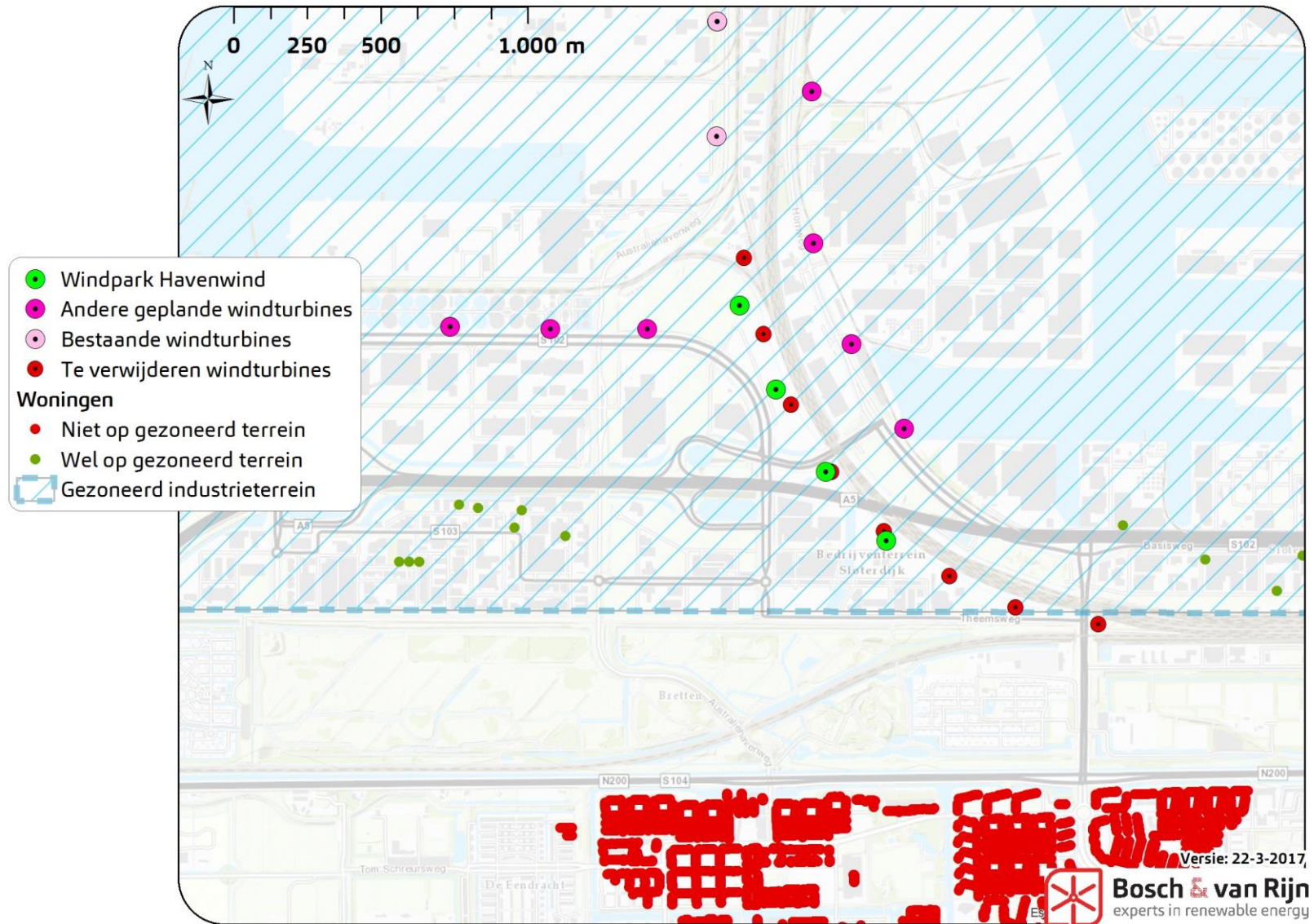
Bij voorliggend project wordt aan de toetswaarde voor het MR voldaan zolang niet meer dan 1.188.157.975 passanten per jaar de windturbines passeren. Dit zijn 3.255.227 passanten per dag. Gelet op de aard van de weg is het niet realistisch dat de toetswaarde voor het MR wordt overschreden.



Bijlagen

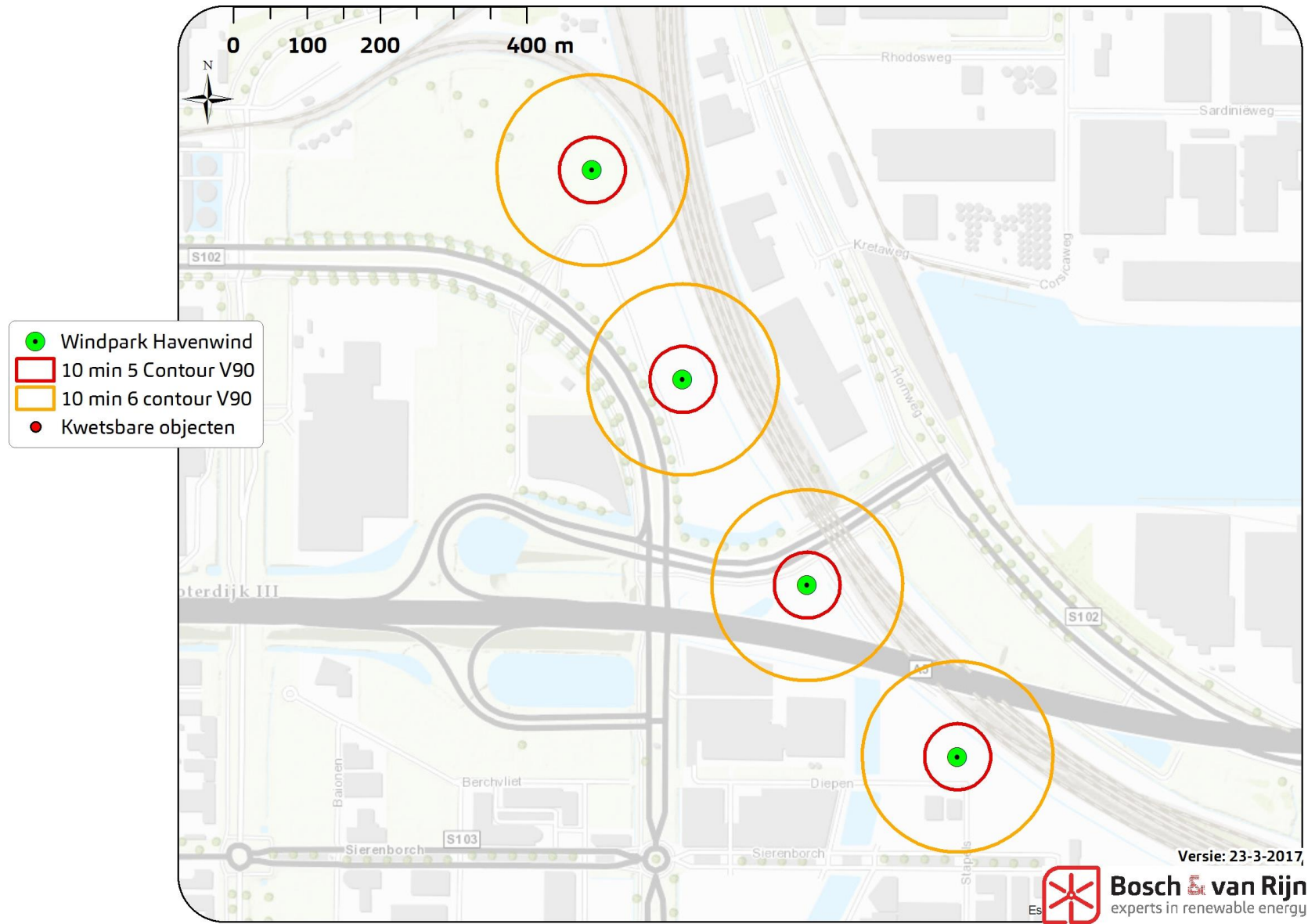


Bijlage A. Turbineopstelling

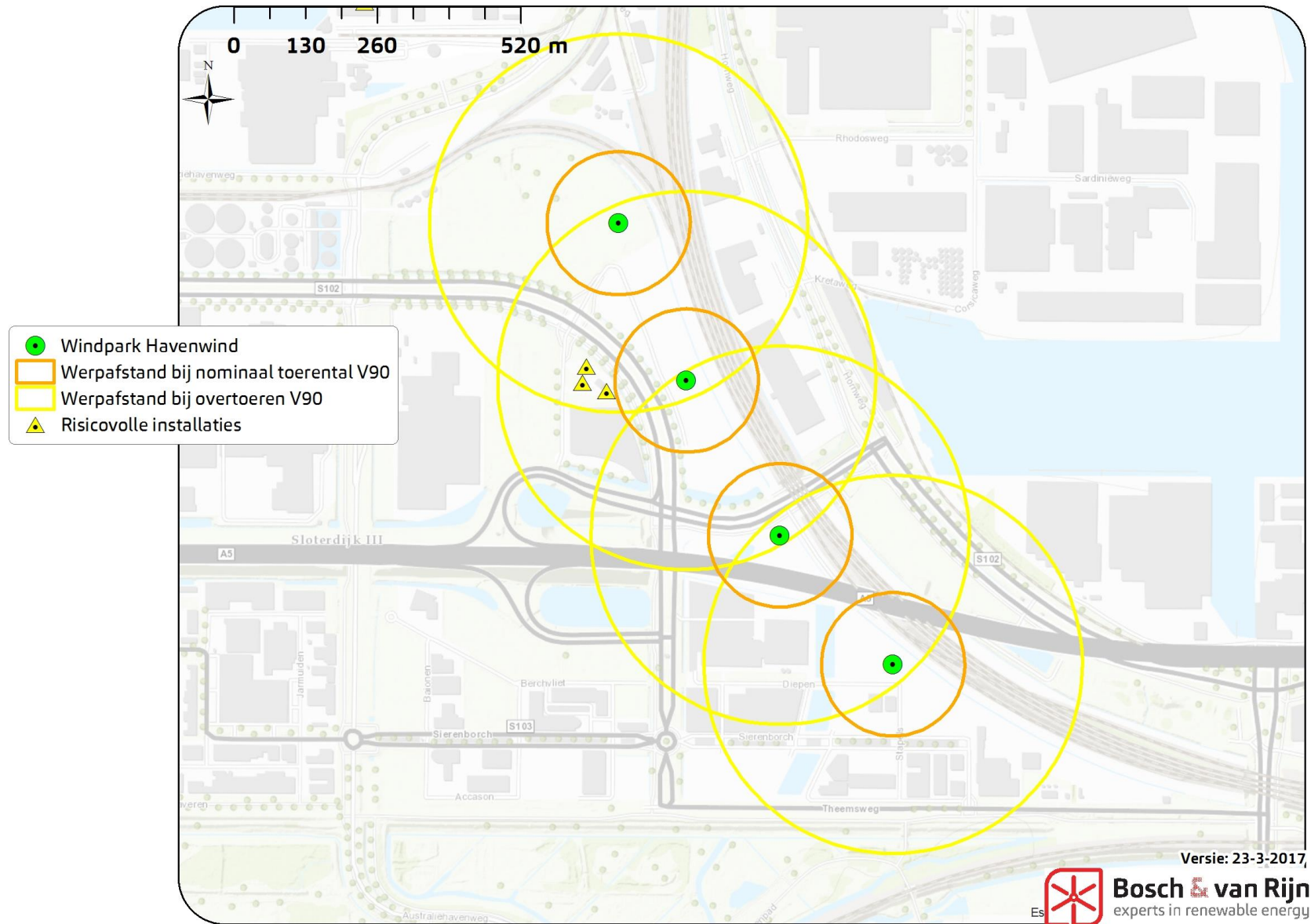


Figuur 9 – Beoogde opstelling Windpark Havenwind

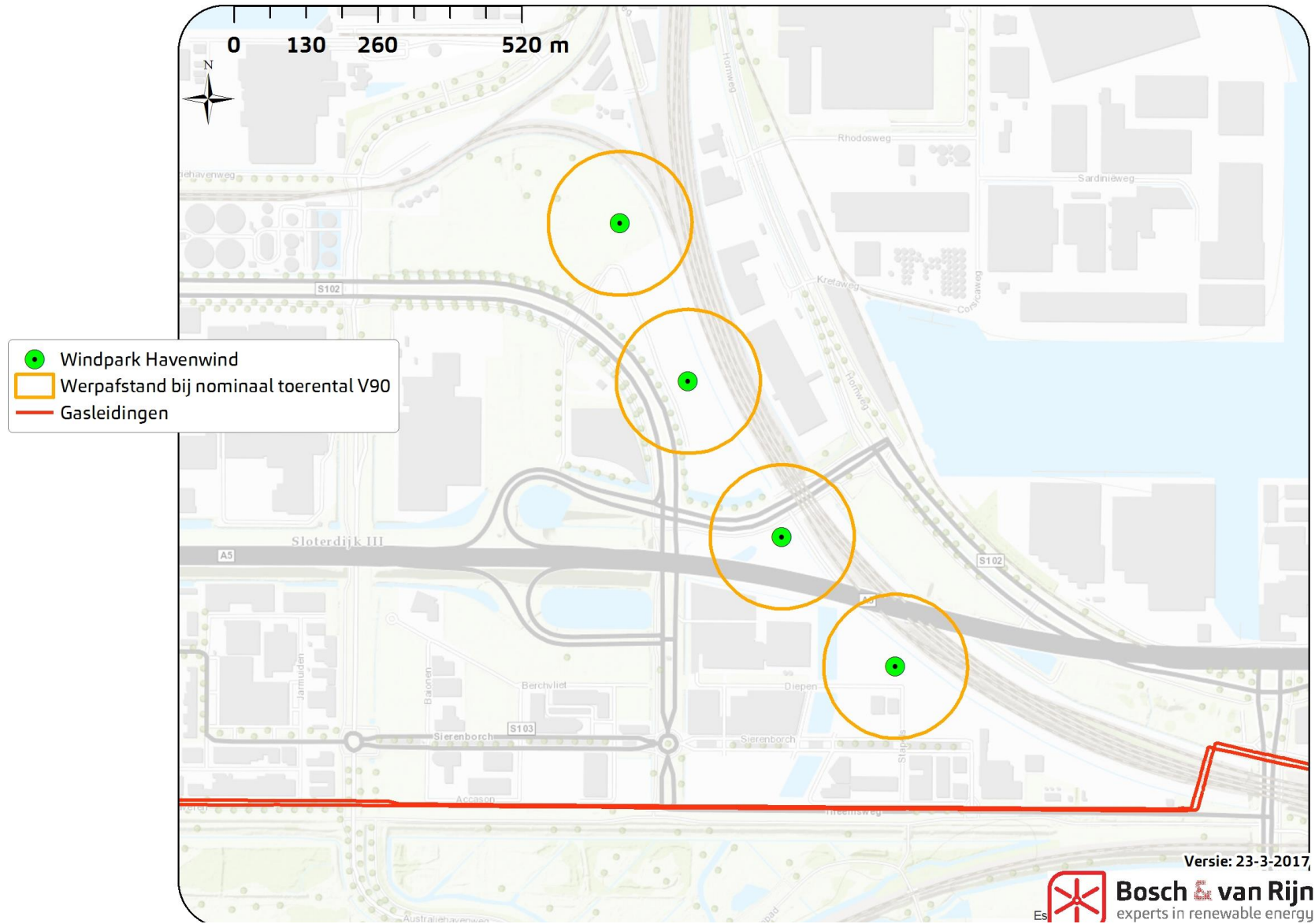
Bijlage B. Risicocontouren en werpafstanden



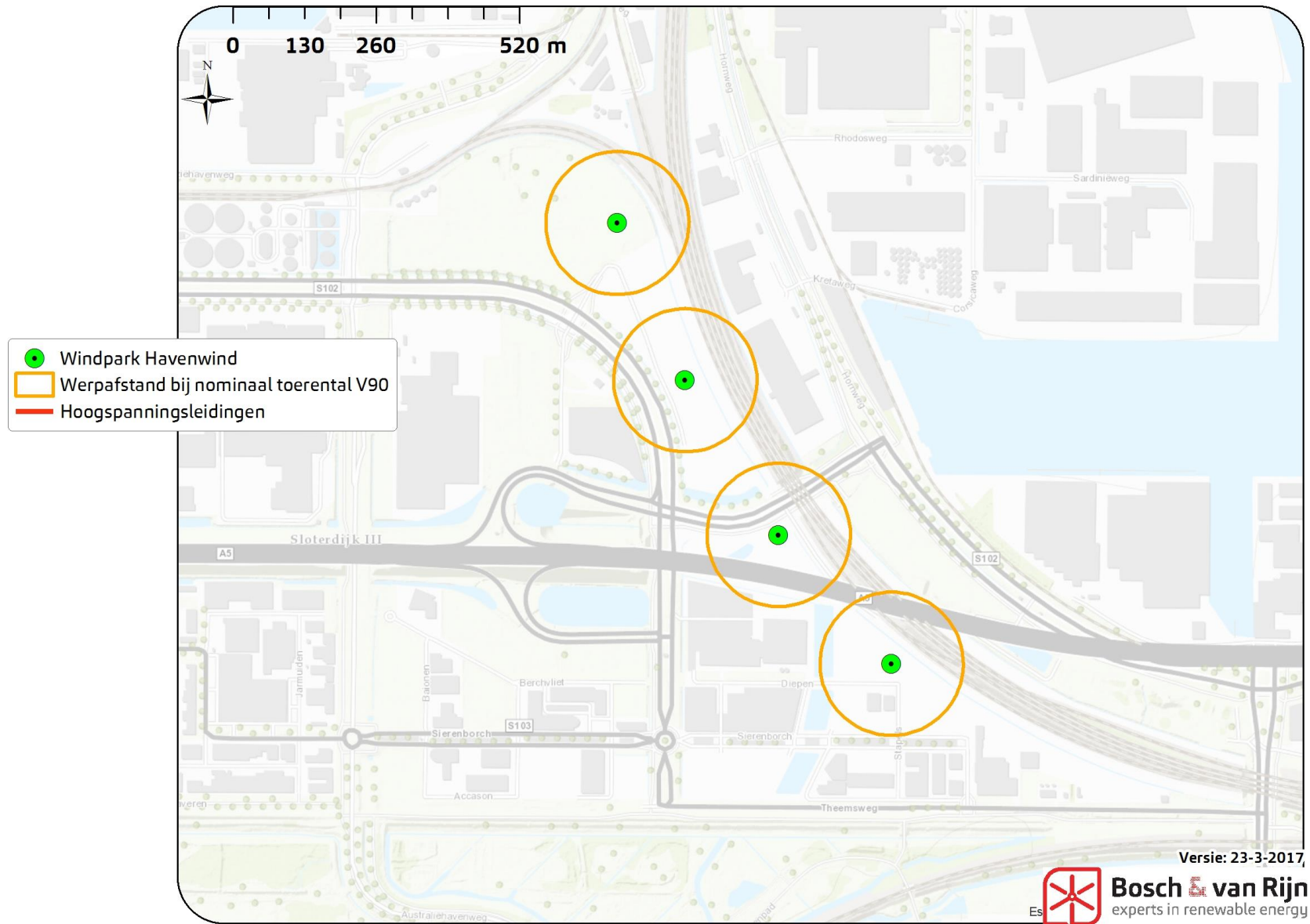
Figuur 10 - Risicocontouren Windpark Havenwind



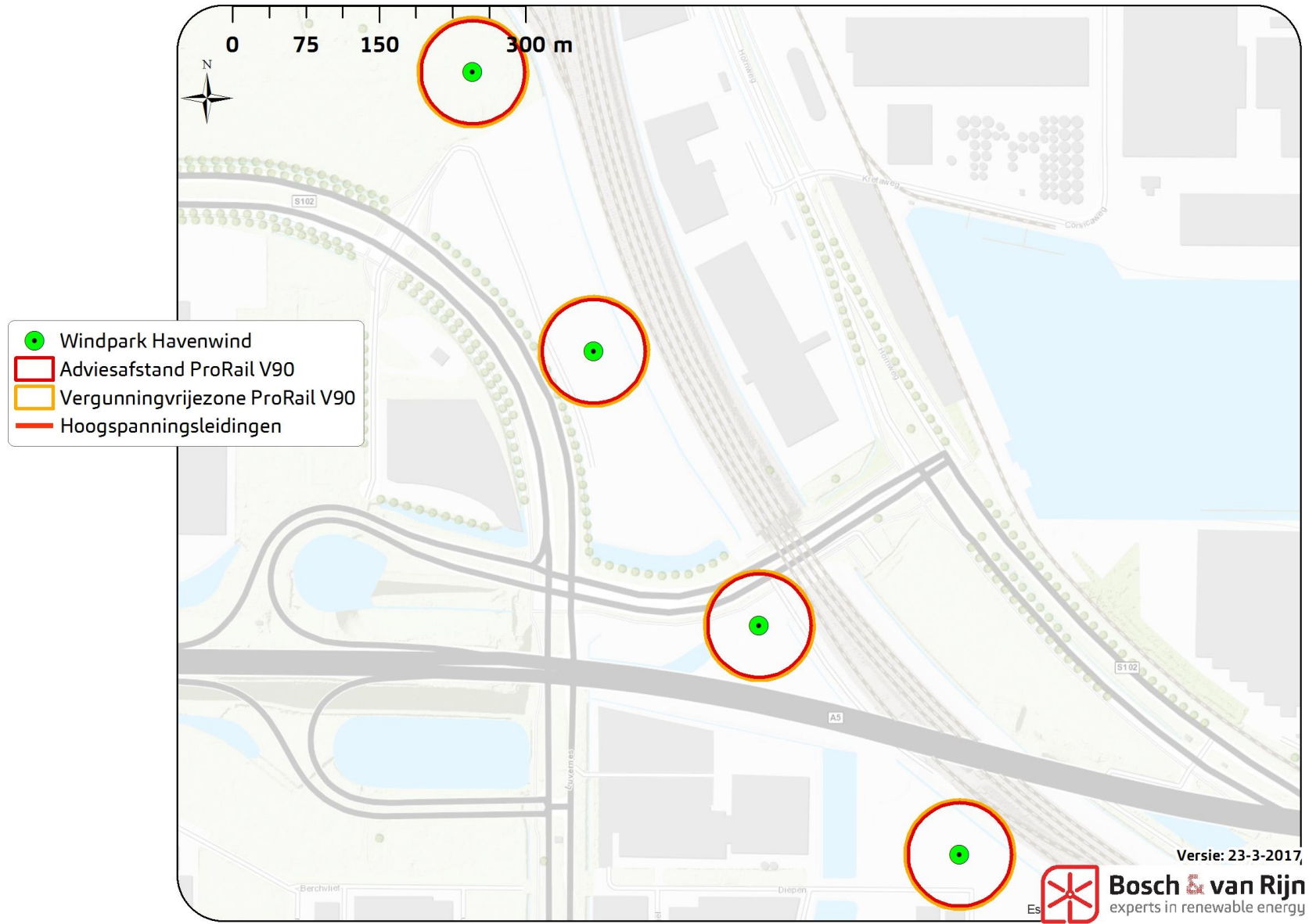
Figuur 11 - Werpafstand bij overtoeren Windpark Havenwind



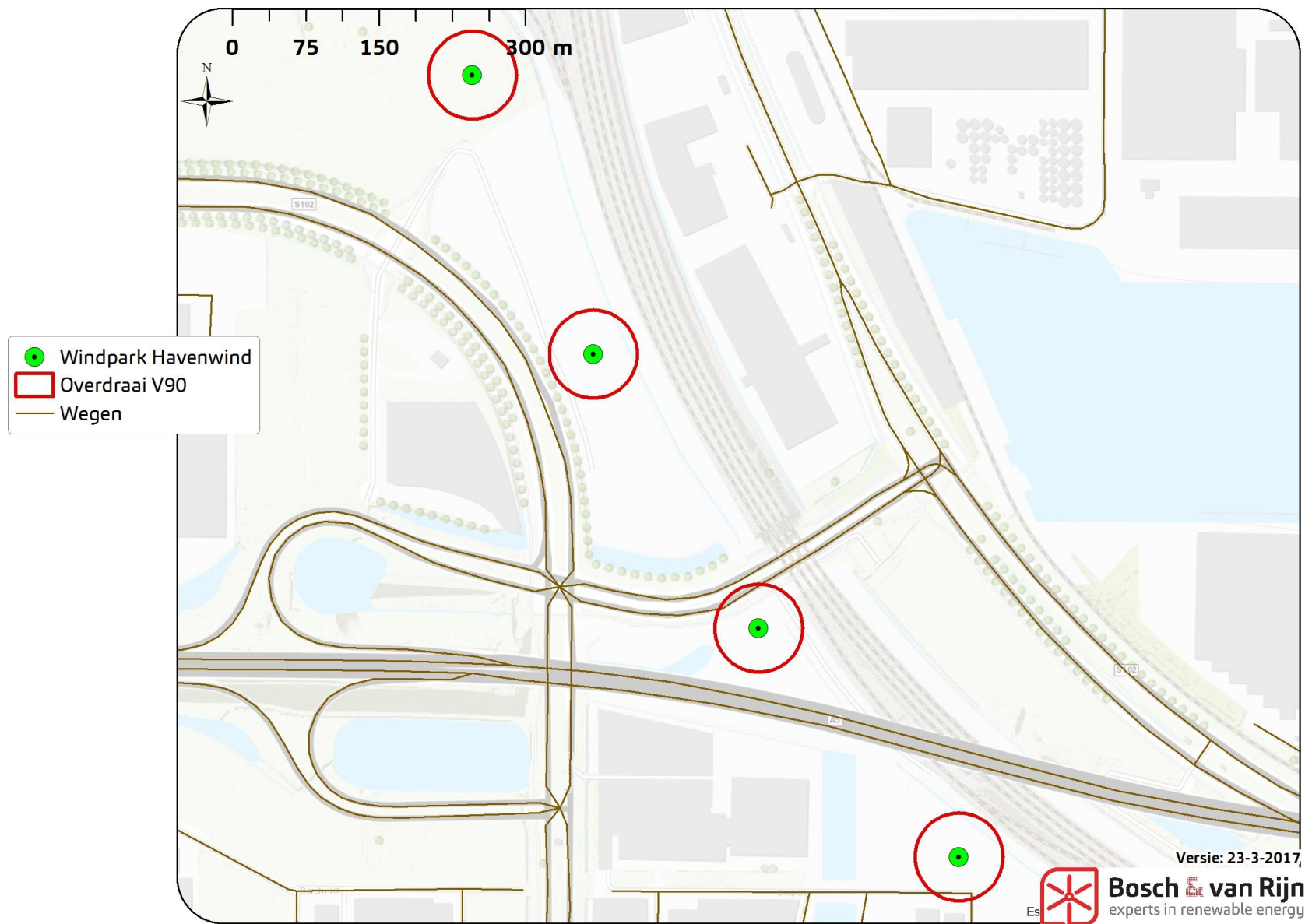
Figuur 12 – Werpafstand bij nominaal toerental en buisleidingen Windpark Havenwind



Figuur 13 – Werpafstand bij nominaal toerental en hoogspanningsleidingen Windpark Havenwind



Figuur 14 – Spoorwgeen + afstand tot vergunningsplichtige zone Windpark Havenwind



Figuur 15 – Overdraai van de windturbines Windpark Egchelse Heide



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]

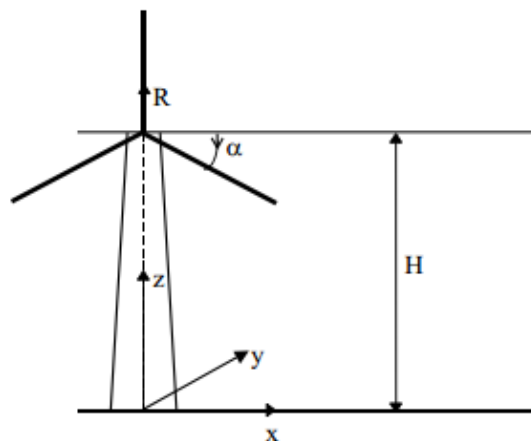
Ω : toerental van de rotor [rad/s]

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 azimuthoek 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_{ZWP} 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 azimuthoek als stochastische grootheden overblijven. Tevens geldt dat f_{ZWP} 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 azimuthoek waarbij bladbreuk optreedt. Met de aanname dat de azimuthoek waarbij het blad afbreekt uniform is verdeeld, ofwel

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

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 azimuthoeken 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

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

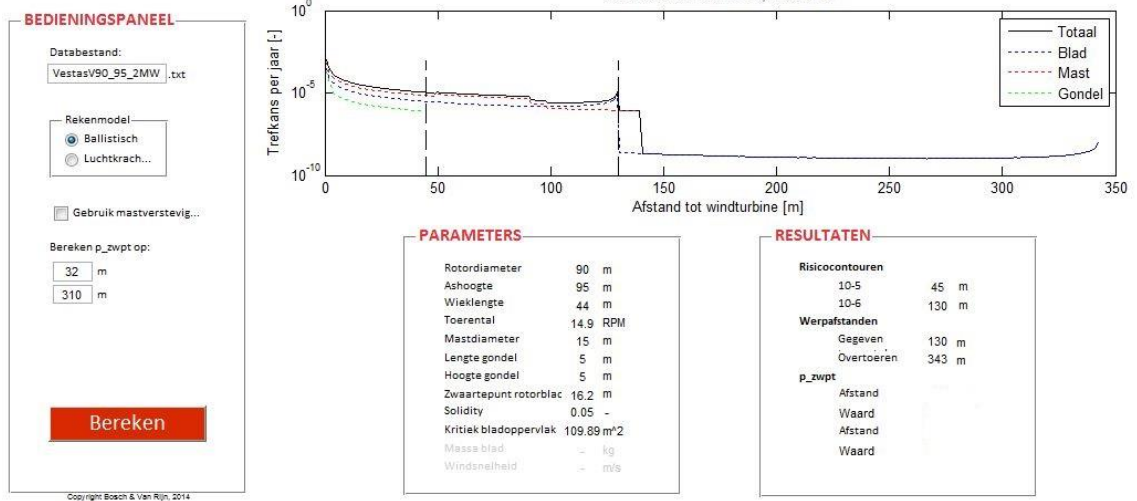


Bijlage D. Werpafstanden turbinetypes

Referentiewindturbine 95 meter ashoogte / 90 meter rotordiameter

BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering





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;

