Bosch & van Rijn
Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
030 – 677 6466

Auteurs
Hans Kerkvliet MSc.
Drs. Ing. Jeroen Dooper
Steven Velthuijsen MSc.

Opdrachtgever
ENGIE

Windpark De Groene Delta - Nijmegen

Kwantitatieve risicoanalyse t.b.v. vergunningaanvraag

Windpark De Groene Delta - Nijmegen

Kwantitatieve Risicoanalyse t.b.v. vergunningaanvraag

Datum
31 juli 2018

Versie
1.3

Versiebeheer	
0.1 t/m 0.4	Interne werkversies
0.5	Commentaar ENGIE verwerkt
0.6	Interne check JD
0.7	Interne check SV
0.8	Interne opmerkingen verwerken HK
0.9	Commentaar ENGIE 2e ronde verwerkt
1.0	Versie ingediend bij aanvraag
1.1	Opmerkingen BG mei 2018 verwerkt
1.2	Opmerkingen VRGZ aangaande vaarweg verwerkt
1.3	Opmerkingen BG aangaande vaarweg verwerkt

Bosch & Van Rijn
Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht

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

© Bosch & Van Rijn 2018
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	*Inleiding*	*4*
1.2	*Voornemen*	*4*
1.3	*Te onderzoeken windturbinetypes*	*4*
1.4	*Leeswijzer*	*5*
HOOFDSTUK 2	**RISICO-INVENTARISATIE**	**6**
HOOFDSTUK 3	**BEOORDELINGSKADER**	**9**
3.1	*(Beperkt) kwetsbare objecten*	*10*
3.2	*Risicovolle installaties*	*10*
3.3	*Gasunieleidingen*	*11*
3.4	*Hoogspanningsinfrastructuur*	*12*
3.5	*Waterkering*	*12*
3.6	*Infrastructuur*	*12*
HOOFDSTUK 4	**RISICOANALYSE**	**14**
4.1	*(Beperkt) kwetsbare objecten*	*15*
4.2	*Risicovolle installaties*	*16*
4.3	*Buisleidingen*	*16*
4.4	*Hoogspanningsinfrastructuur*	*18*
4.5	*Waterkering*	*20*
4.6	*Infrastructuur*	*21*
HOOFDSTUK 5	**CONCLUSIE**	**28**
5.1	*(beperkt) Kwetsbare objecten*	*29*
5.2	*Risicovolle installaties*	*29*
5.3	*Buisleidingen*	*29*
5.4	*Hoogspanningsinfrastructuur*	*29*
5.5	*Waterkering*	*29*
5.6	*Infrastructuur*	*30*
HOOFDSTUK 6	**BIJLAGEN**	**31**
BIJLAGE A	**TURBINEOPSTELLING EN COÖRDINATEN**	**32**
BIJLAGE B	**RISICOCONTOUREN EN WERPAFSTANDEN**	**34**
BIJLAGE C	**BEREKENING WERPAFSTAND**	**44**
BIJLAGE D	**WERPAFSTANDEN TURBINETYPE**	**46**
BIJLAGE E	**(BEPERKT) KWETSBARE OBJECTEN**	**47**

Hoofdstuk 1 Inleiding

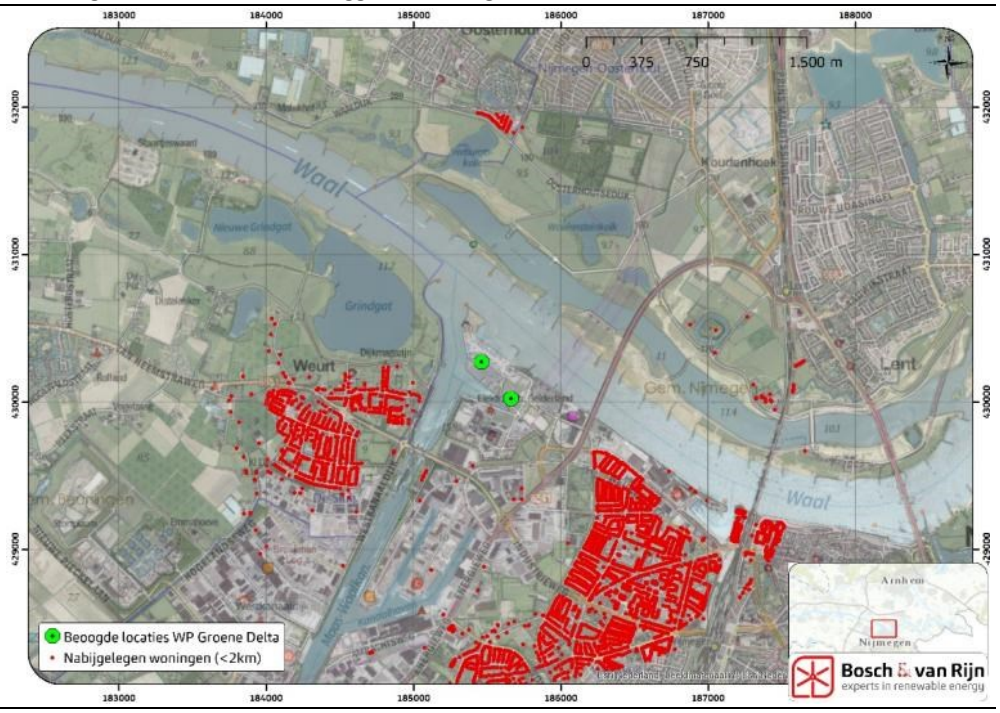
1.1 Inleiding

Bosch & van Rijn heeft een kwantitatieve risicoanalyse uitgevoerd naar de risico's ten gevolge van nieuw te plaatsen windturbines op het ENGIE-terrein in de Noordkanaalhaven in de gemeente Nijmegen. Deze risicoanalyse fungeert als bijlage van de ruimtelijke onderbouwing en van de omgevingsvergunningaanvraag voor bouwen en afwijken van het bestemmingsplan.

1.2 Voornemen

Het voornemen betreft de bouw van 2 windturbines. Deze windturbines zijn gesitueerd in de Noordkanaalhaven. Figuur 1 toont de situering van het project en de omliggende woningen.

Figuur 1 **De beoogde windturbines en omliggende woningen**



1.3 Te onderzoeken windturbinetypes

De vergunningaanvraag voor afwijken van het bestemmingsplan betreft een bandbreedte. Voor wat betreft de afmetingen is deze bandbreedte als volgt:

- Ashoogte: minimaal 90 meter, maximaal 112 meter
- Rotordiameter: minimaal 120 meter, maximaal 132 meter
- Tiphoogte: minimaal 150 meter, maximaal 172 meter

Om de externe veiligheidsrisico's van deze bandbreedte goed in beeld te brengen worden de effecten doorgerekend voor de kleinste en de grootste mogelijke windturbine afmetingen. Dit aangezien de meeste externe risico's een direct gevolg zijn van de afmetingen. Hiertoe zijn de volgende typen gekozen met de juiste afmetingen[1]. Zie ook NB onder de tabel.

Tabel 1 **Gegevens onder- en bovengrens v.w.b. Externe Veiligheid (bij maximale tiphoogte van 172m)**

Windturbinetype	Ashoogte (m)	RD (m)	Risicocontouren (m) 10^{-5}	Risicocontouren (m) 10^{-6}	Max. werpafstand (m) nominaal toerental[2]	Max. werpafstand (m) overtoeren
GE-2.75-120	90	120	60	145	145	395
Gamesa G132-5MW	106	132	66	158	142	371

In de risicoanalyse wordt de GE-2.75-120 aangeduid als 'ondergrens' en de Gamesa G132-5MW met 'bovengrens'.

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 twee hierboven genoemde varianten. Omdat de meeste aspecten betreffende externe veiligheid echter wel *schalen met de afmetingen is ervoor gekozen om de bandbreedte te definiëren aan de hand van afmetingen. Voor aspecten waar de maximale werpafstand een belangrijke rol speelt (met name hoogspanningsinfrastructuur) is hier verder aandacht aan besteed.*

1.4 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 resultaten uit Hoofdstuk 4 worden getoetst aan het in Hoofdstuk 3 beschreven beoordelingskader.

[1] De externe risico's zijn afhankelijk van de rotordiameter. Daarom is voor de bovengrens gerekend met de maximale tiphoogte van 172 meter en de maximale rotordiameter van 132 meter. Deze dimensies resulteren in een ashoogte van 106 meter.

[2] De werpafstand wordt, voor het grootste gedeelte, bepaald door het aantal rotaties per minuut. Een windturbine met een kleinere rotordiameter heeft meestal meer rotaties per minuut, en dus een grotere werpafstand.

Hoofdstuk 2 Risico-inventarisatie

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

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 generieke faalfrequenties (Bijlage A, Handboek Risicoberekeningen Windturbines (HRW) 2014), het kogelbaanmodel (zie Bijlage C. Bron: Bijlage C, HRW 2014) en parameters van de specifieke windturbinetypes zijn de werpafstanden en risicocontouren berekend. In bijlage C staan de gehanteerde formules gegeven en bijlage D bevat per windturbinetype een weergave van de resultaten. Hieruit volgen de volgende afstanden:

Tabel 2 **Risicocontouren en maximale werpafstanden van onderzochte windturbinetypes**

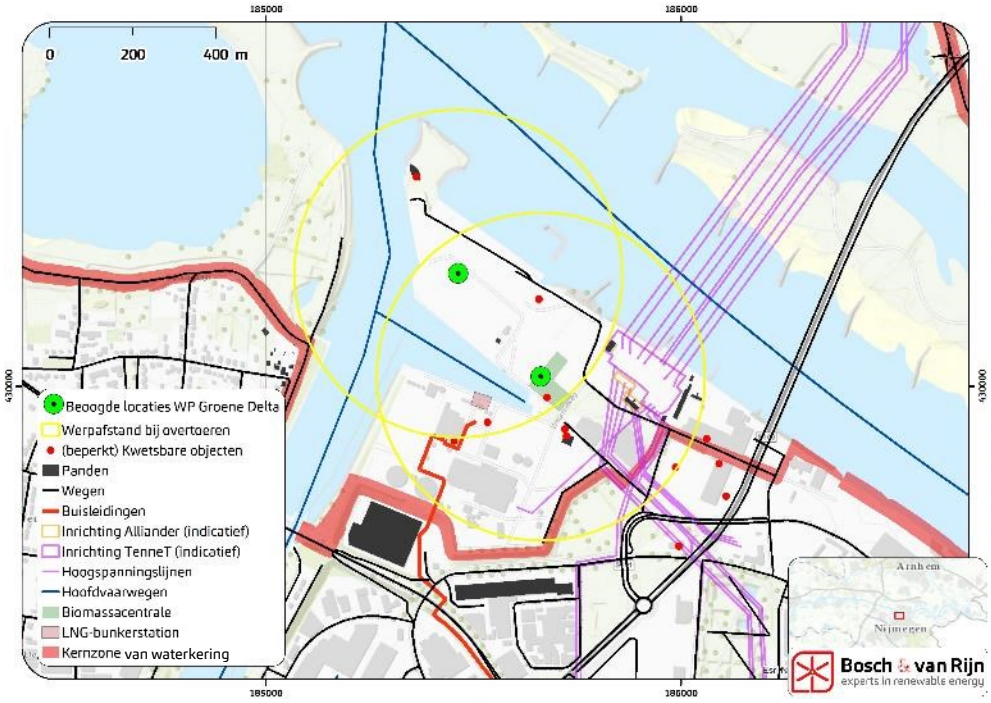
Windturbinetype	RD (m)	Risicocontouren (m) 10^{-5}	Risicocontouren (m) 10^{-6}	Max. werpafstand (m) Bij nominaal toerental	Max. werpafstand (m) Bij overtoeren
GE-2.75-120	120	60	145	145	395
Gamesa G132-5MW	132	66	158	142	371

De windturbines kunnen een risicoverhogend effect hebben op nabijgelegen gebouwen, installaties en infrastructuur. Om voor het plangebied De Groene Delta 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).

Omdat de kleinere windturbine een grotere maximale werpafstand bij overtoeren heeft wordt van dit type hieronder de contour van deze werpafstand getekend.

[3] IJsafworp wordt in onderhavig risicobeoordeling niet meegenomen, omdat het gebied onder de rotor niet vrij toegankelijk is. Wel wordt er, om de risico's van ijsafworp te mitigeren, een ijsprotocol opgesteld.

Figuur 2 **Werpafstand bij overtoeren van de ondergrens met voor Externe Veiligheid relevante onderwerpen**



Uit bovenstaande figuur blijkt dat de volgende onderwerpen relevant[4] zijn:

- **(Beperkt) kwetsbare objecten:** Er bevinden zich kantoren van de beoogde Biomassaenergiecentrale (BEC), een portiersloge en een fietsenstalling binnen de maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines. Dit zijn allen beperkt kwetsbare objecten. Ook de kantoren van Rijkswaterstaat en de containerterminal vallen hierbinnen.
- **Risicovolle installaties:** Er bevindt zicheen LNG-bunkerplaats nabij de windturbines.
- **Gasunie-leidingen:** De aanwezige gasleiding is niet langer in gebruik en zal worden ontmanteld. In het kader van de volledigheid zijn evenwel alsnog de effecten van de windturbines op de Gasleiding onderzocht. Uit dit onderzoek blijkt overigens dat er geen substantiële trefkans is.
- **Hoogspanningsinfrastructuur:** Nabij de windturbines ligt een onderstation van TenneT en een transformatorstation van Alliander.
- **Waterkering:** Er ligt een primaire waterkering nabij de windturbines.
- **Infrastructuur:** Er liggen geen rijkswegen nabij de windturbines. Op enige afstand liggen wel openbare wegen en vaarwegen.

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.

De vergunde biomassacentrale die direct ten oosten van de oostelijke windturbine is gepland is een vaste-stof-biomassacentrale, en geen Bevi-inrichting. Het betreft derhalve geen risicovolle installatie.

[4] 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**[5].
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 objecten (bijv. grote kantoren en ziekenhuizen) en beperkt kwetsbare objecten (bijv. bedrijfsloods, kleine kantoren). Woningen zijn ook aangemerkt als (beperkt) kwetsbare objecten, maar vormen in de praktijk geen aandachtspunt, omdat vanwege de geluids- en slagschaduwnorm reeds afstanden worden gehanteerd welke groter zijn dan vanuit EV noodzakelijk.

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 Windturbines[6] 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.*

[5] 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.

[6] 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 Gasunieleidingen

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 + 1/3de 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 Gasunie[7] slechts acceptabel als:

- Er géén 10^{-6} per jaar contour ontstaat die bij Besluit externe veiligheid buisleidingen(Bevb)-transportleidingen tot buiten de belemmeringenstrook 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 jaar[8];
- De PR 10^{-6} per jaar contour niet groter wordt als die vóór de plaatsing van de windturbines al wel buiten de belemmeringenstrook resp. het hekwerk reikte;
- De frequentie dat een inrichting die onder het Activiteitenbesluit Milieubeheer valt door een onderdeel van de windturbines wordt getroffen lager is dan:
  - $5x10^{-6}$ per jaar voor meet- en regelstations en exportstations;
  - $2{,}5x10^{-4}$ per jaar voor gasontvangstations.

[7] Bron: Het beleid van Gasunie Transport Services inzake het veilig plaatsen van windturbines bij haar gasinfrastructuur – 31-07-2015.
[8] PR: persoonsgebonden risico.

3.4 Hoogspanningsinfrastructuur

Er bestaat geen wettelijk kader voor de invloed van windturbines op hoogspanningsleidingen. 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 hoogste waarde van de maximale werpafstand bij nominaal toerental en tiphoogte.

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 het betreffende asset op dat moment aanvaard kan worden. 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 Waterkering

In het plangebied bevindt zich een waterkering met een veiligheidsnorm van 1/30.000 jaar[9]. In eerste instantie wordt er gekeken of er overdraai plaatsvindt boven de beschermingszones. Indien er geen overdraai plaatsvindt, is er geen aanvullend onderzoek nodig.
Wanneer er wel overdraai plaatsvindt zal er conform het Handboek Risicozonering Windturbines (Versie 3.1, 2014) een trefkansberekening worden uitgevoerd en deze worden getoetst aan de ontwerpwaarden van de dijkring.

Als toetsingscriterium wordt gehanteerd:
De additionele faalfrequentie van de geplande windturbines dient kleiner te zijn dan 10% van de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering.

3.6 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".

[9] Waterwet, Bijlage II 'Normen voor dijktraject' als bedoeld in artikel 2.2. eerste lid.

Vaarwegen

Voor vaarwegen geldt dat windturbines zijn toegestaan bij een afstand van ten minste 50 meter van de vaarweg.[10]

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 (zie kaders):

"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 honderzestig kilometer per uur. Een generiek IPR van 10^{-6} wordt aangehouden voor alle infrastructuur waarop de wettelijk toelaatbare snelheden de honderdzestig kilometer per uur niet overschrijden, en een generiek IPR van 10^{-7} op infrastructuur waarop wettelijk toelaatbare snelheden boven de honderdzestig 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."

[10] Er is een nieuwe regeling in voorbereiding waarin staat dat de afstand van windturbines tot de vaarweg minimaal gelijk moet zijn aan de wieklengte + 30 meter. Deze regeling is nog niet in werking getreden, en wordt dus niet in het beoordelingskader betrokken. Wel is het zo dat de noordelijke windturbine voldoet aan deze afstandseis. Voor de zuidelijke windturbine is van belang of de insteekhaven wordt aangemerkt als 'vaarweg'.

Hoofdstuk 4 Risicoanalyse

4.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

Binnen de 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, risicokaart.nl en informatie van ENGIE.

Onderstaande tabel bevat de lijst van (beperkt) kwetsbare objecten binnen de 10^{-6} contouren van de windturbines en of deze als kwetsbaar of beperkt kwetsbaar aangemerkt dienen te worden beschouwd.

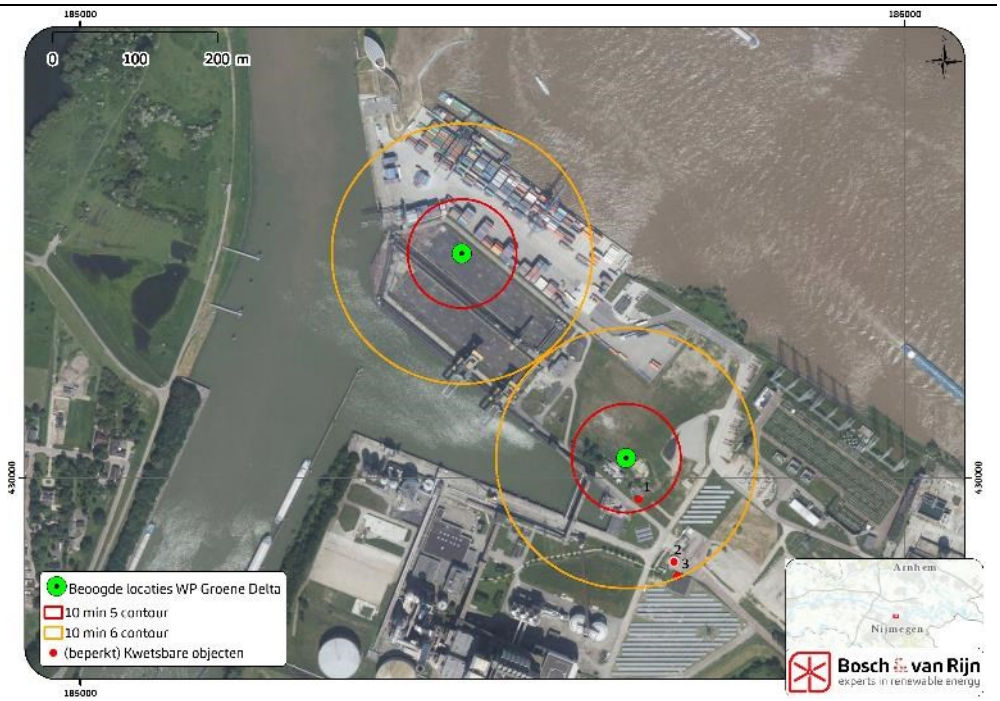
Tabel 3 **Lijst van (beperkt) kwetsbare objecten**

Nummer	Object	Status
1	Kantoorgebouwen BEC	Beperkt kwetsbaar
2	Portiersloge	Beperkt kwetsbaar
3	Fietsenstalling / Garage	Beperkt kwetsbaar

In onderstaande figuur zijn de risicocontouren en werpafstanden van de bovengrens te vinden. Deze zijn tevens weergegeven in Bijlage B.

4.1.1 *Bovengrens*

Figuur 3 **Risicocontouren rond de windturbines – Bovengrens, incl (beperkt) kwetsbare objecten binnen de 10^{-6}-contouren.**



Op basis van de berekende risicocontouren en objecten kent het plangebied 2 objecten binnen de 10^{-6}-contour en één object binnen de 10^{-5}-risicocontour.

De objecten binnen de 10^{-6}-contour (maar buiten de 10^{-5}-contour) betreffen beperkt kwetsbare objecten. Voor deze objecten wordt er voldaan aan het Activiteitenbesluit, zie paragraaf 3.1.

Het object binnen de 10^{-5}-contour betreft een kantoorgebouw behorende tot de geplande biomassacentrale. Dit gebouw behoort tot dezelfde inrichting als de geplande windturbine en is daarmee geen gebouw van derden, waarmee voldaan wordt aan het Activiteitenbesluit.

Aangezien op basis van de bovengrens voldaan wordt aan het Activiteitenbesluit is dit ook het geval voor de ondergrens omdat het hier om kleinere risicocontouren gaat.

4.2 Risicovolle installaties

Binnen de maximale werpafstand bij overtoeren is er nagegaan of er risicovolle installaties (bv. Benzinestation, propaantanks) aanwezig zijn. Hiervoor is gebruik gemaakt van risicokaart.nl, de luchtfoto en informatie van ENGIE.

Onderstaande tabel bevat de lijst van risicovolle installaties binnen de werpafstand bij overtoeren.

Tabel 4 **Lijst van Risicovolle installaties en afstanden tot de windturbines**

Object	Afstand (m)
LNG-bunkerstation	130[11]

In onderstaande paragrafen zijn de werpafstanden[12] van zowel de onder- als bovengrens te vinden. Deze zijn tevens weergegeven in Bijlage B.

NB. Het LNG-bunkerstation betreft een mobiele installatie die op afroep aanwezig en in gebruik is. Door het wisselende karakter van het gebruik en de positie is een kwantitatieve risicoanalyse lastig uit te voeren. Mede hierom is besloten om de windturbine stil te zetten wanneer de LNG-bunkerstation in gebruik is. Hiermee zijn eventuele risico's als gevolg van de windturbine uit te sluiten.

De vergunde biomassacentrale die direct ten oosten van de oostelijke windturbine is gepland is een vaste-stof-biomassacentrale, en geen Bevi-inrichting. Het betreft derhalve geen risicovolle installatie.

4.3 Buisleidingen

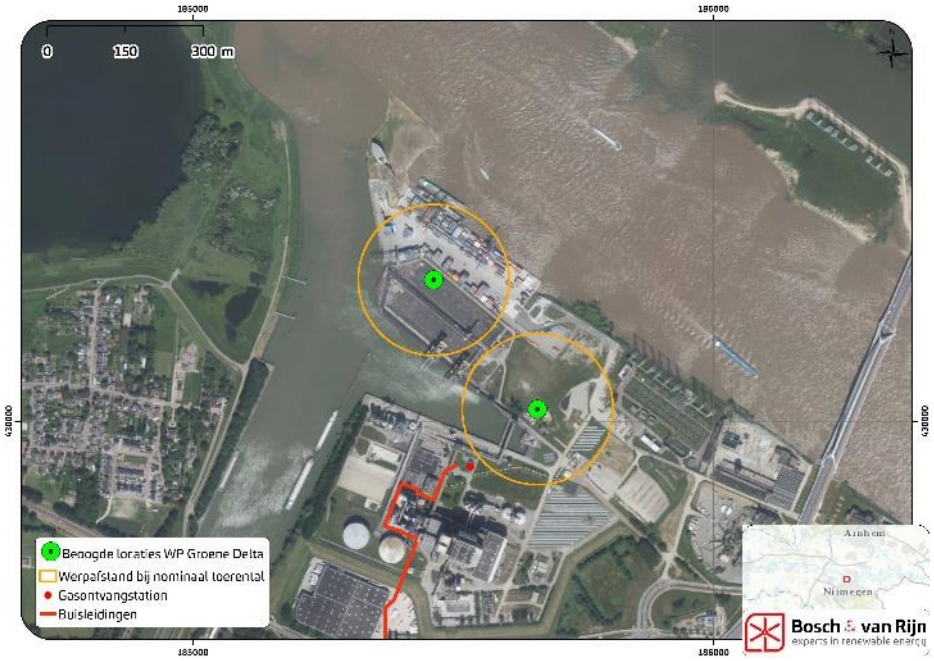
N.B. De aanwezige gasleiding is niet langer in gebruik en zal worden verwijderd. Onderstaande toetsing is opgenomen ter volledigheid.

[11] Deze afstand kan variëren aangezien het hier om een mobiele installatie gaat.
[12] De reden dat beide werpafstanden zijn ingetekend is, omdat de faalkans voor beide scenario's significant verschilt.

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[13]) van Gasunie. Indien er niet wordt voldaan aan de adviesafstand zullen de risico's worden gekwantificeerd.

4.3.1 *Ondergrens*

Figuur 4 **De adviesafstand van Gasunie en buisleidingen en het gasontvangststation**



Uit bovenstaande figuur is te concluderen dat er geen infrastructuur van Gasunie zich binnen de werpafstand bij nominaal toerental bevindt. Hierdoor is het mogelijk om op te maken dat de infrastructuur van Gasunie geen substantiële trefkans ondervindt als gevolg van de plaatsing van windturbines.

Aangezien op basis van de ondergrens voldaan wordt aan de adviesafstand van Gasunie is dit ook het geval voor de bovengrens aangezien de werpafstand bij nominaal toerental of ashoogte + 1/3de wieklengte van de bovengrens lager is dan de werpafstand bij nominaal toerental van de ondergrens. Dit wordt verklaard doordat een kleinere rotordiameter een hogere draaisnelheid (en daarmee een grotere werpafstand) kent.

[13] De werpafstand bij nominaal toerental is groter dan ashoogte + 1/3de wieklengte. Hierdoor wordt deze gebruikt als adviesafstand.

4.4 Hoogspanningsinfrastructuur

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

Nabij het plangebied ligt een onderstation van TenneT en een transformatorstation van Alliander. Er loopt een oude hoogspanningslijn van ENGIE ten zuidoosten van de windturbines. Deze is wegens de sloop van de elektriciteitscentrale niet langer in gebruik en zal worden verwijderd. Onderstaande figuur toont de nabijgelegen hoogspanningsinfrastructuur:

Figuur 5 **Hoogspanningsinfrastructuur**

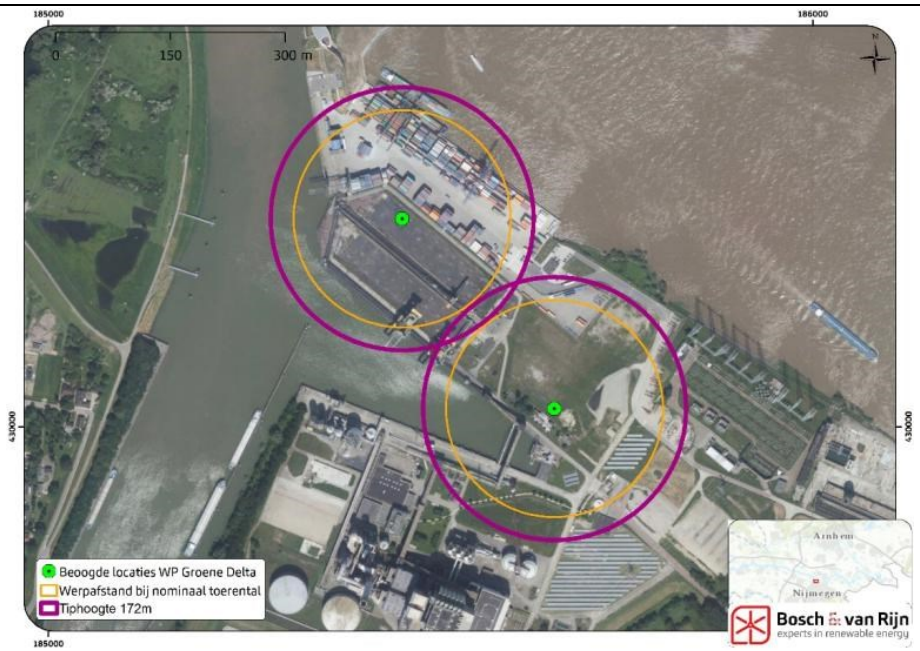
4.4.1 *Ondergrens*

Figuur 6 **Tiphoogte en werpafstand bij nominaal toerental, ondergrens**

Voor de ondergrens geldt dat geen hoogspanningsinfrastructuur is gelegen binnen de werpafstand bij nominaal toerental of tiphoogte. Er zijn derhalve geen aandachtspunten.

4.4.2 *Bovengrens*

Figuur 7 **Tiphoogte en werpafstand bij nominaal toerental, bovengrens**



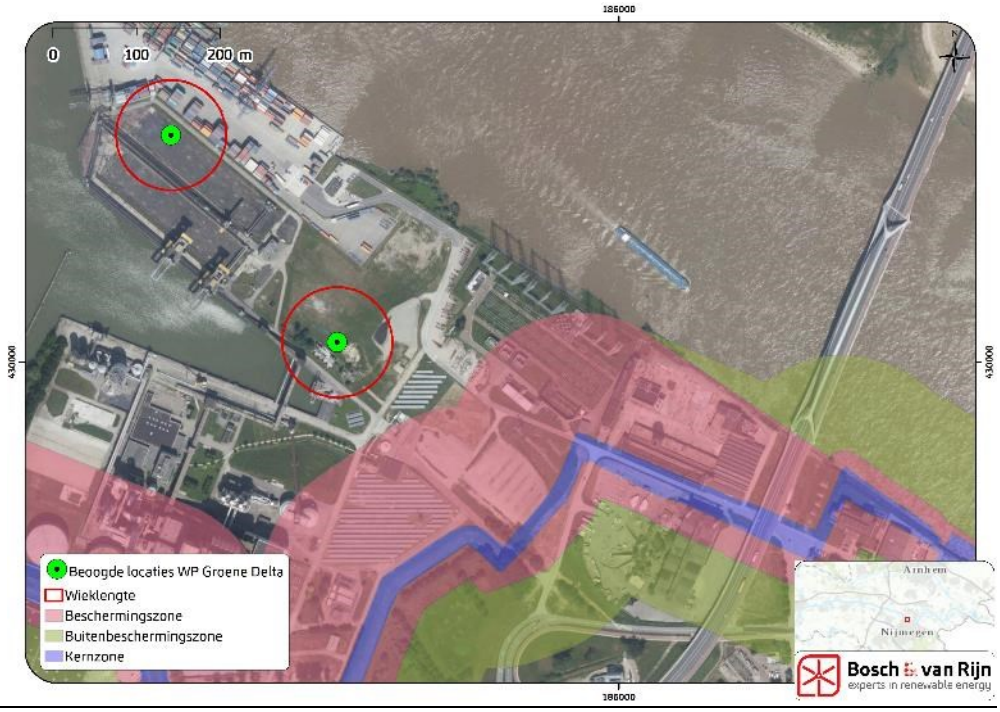
Voor de bovengrens geldt dat de tiphoogte groter is dan dan de maximale werpafstand bij nominaal toerental. De tiphoogte (172m) is daarom de adviesafstand voor TenneT. Beide windturbinelocaties voldoen aan de adviesafstand tot de hoogspanningsinfrastructuur[14].

4.5 Waterkering

Vanwege de aanwezigheid van een waterkering nabij de beoogde windturbines, is onderzocht of de windturbines een (significante) invloed hebben op de waterkering. Om dit te onderzoeken wordt er eerst gekeken of er geen overdraai plaatsvindt over de beschermingszone. Indien er overdraai plaatsvindt over de beschermingszone zullen de risico's worden gekwantificeerd.

Om de maximale effecten te beschouwen is de wieklengte van de bovengrens van de bandbreedte aangehouden (de helft van 132 meter).

Figuur 8 **Wieklengte van de beoogde windturbines en de beschermingszone**



Uit bovenstaande figuur is te concluderen dat er geen overdraai plaatsvindt over de beschermingszone. Hierdoor is er geen aanvullend onderzoek nodig.

Aangezien de wieklengte van de ondergrens kleiner is dan de bovengrens is er voor de ondergrens ook geen aanvullend onderzoek nodig.

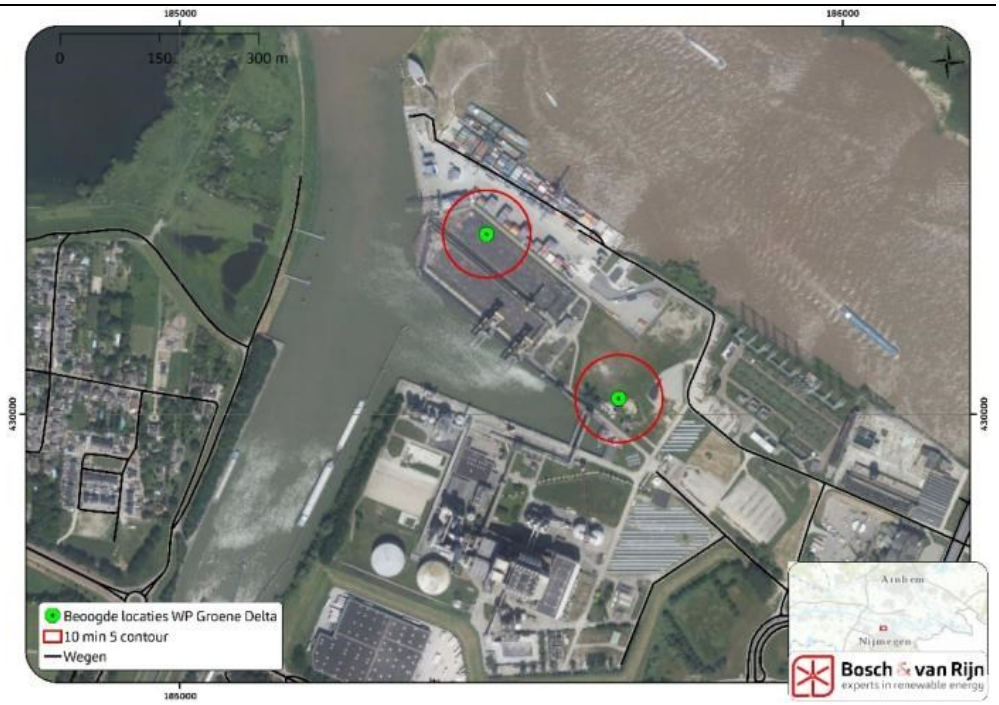
[14] Er zijn commercieel beschikbare windturbines met een grotere werpafstand bij nominaal toerental dan 172 meter. Echter, na overleg met TenneT is gebleken dat er voldaan moet worden aan de adviesafstanden. Wij adviseren dit als voorwaarde in de vergunning op te nemen, om te kunnen garanderen dat wordt voldaan aan de eisen van TenneT en Alliander.

4.6 Infrastructuur

4.6.1 *Wegen*

Voor wegen[15] moet er gekeken worden of er geen ontoelaatbare risico's voor passanten plaatsvinden door de windturbines. Om dit te onderzoeken wordt er voor de locatie nagegaan of een windturbine over een openbare wegdraait. Wanneer dit het geval is, zal de kans berekend worden dat een persoon wordt geraakt door een afgebroken wiek, mast en/of gondel.
Indien er geen overdraai plaatsvindt, wordt er voldaan aan de veiligheidseisen voor Rijkswegen, waarmee geconcludeerd kan worden dat er zich geen onacceptabele risico's voor doen.

Figuur 9 **Wieklengte en openbare wegen bovengrens**



Uit bovenstaande figuur blijkt dat er geen overdraai plaatsvindt bij openbare wegen. Doordat de wieklengte van ondergrens kleiner is dan de wieklengte van de bovengrens vindt er bij de ondergrens ook geen overdraai plaats bij openbare wegen.

4.6.2 *Vaarwegen*

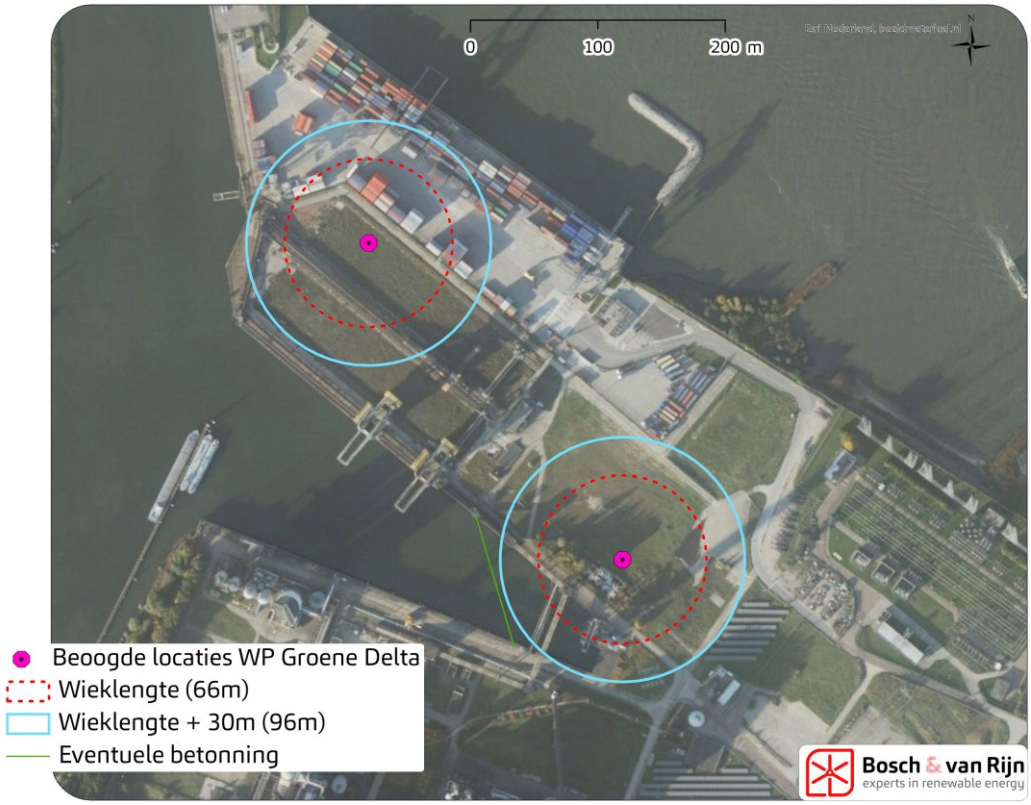
Voor vaarwegen moet er gekeken worden of er wordt voldaan aan de beleidsregel waarin staat dat er geen overdraai mag plaatsvinden over vaarwegen. Tevens is er een nieuwe regeling in voorbereiding waarin staat dat de afstand van windturbines

[15] Op basis van het Nationaal Wegen Bestand (NWB)

tot de vaarweg minimaal gelijk moet zijn aan de wieklengte + 30 meter. Hoewel deze regeling nog niet in werking is, maken we deze afstand al wel inzichtelijk.

Voor de locatie is nagegaan of een windturbine over een vaarweg draait. Wanneer dit het geval is zal de kans berekend worden dat een object wordt geraakt door een afgebroken wiek, mast en/of gondel. Indien er geen overdraai plaatsvindt wordt er voldaan aan veiligheidseisen voor vaarwegen, waarmee geconcludeerd kan worden dat er zich geen onacceptabele risico's voor doen.

Figuur 10 **Wieklengte en wieklengte + 30m (van de bovengrens).**



De figuur toont dat de westelijke windturbine niet over de vaarweg draait. De afstand van deze windturbine tot de vaarweg is ook groter dan wieklengte+30m.

De oostelijke windturbine draait net boven het water. Er kan alleen worden voldaan aan de afstand van wieklengte + 30 meter als de vaarweg wordt herbegrensd (groene lijn), of wanneer de insteekhaven niet als vaarweg wordt aangemerkt in de nieuwe regelgeving.

Hierdoor vindt er ook geen overdraai plaatsvindt bij vaarwegen en wordt er voldaan aan zowel de huidige als toekomstige wetgeving.

Doordat de wieklengte van de ondergrens kleiner is dan de wieklengte van de bovengrens vindt er ook geen overdraai plaats bij de ondergrens.

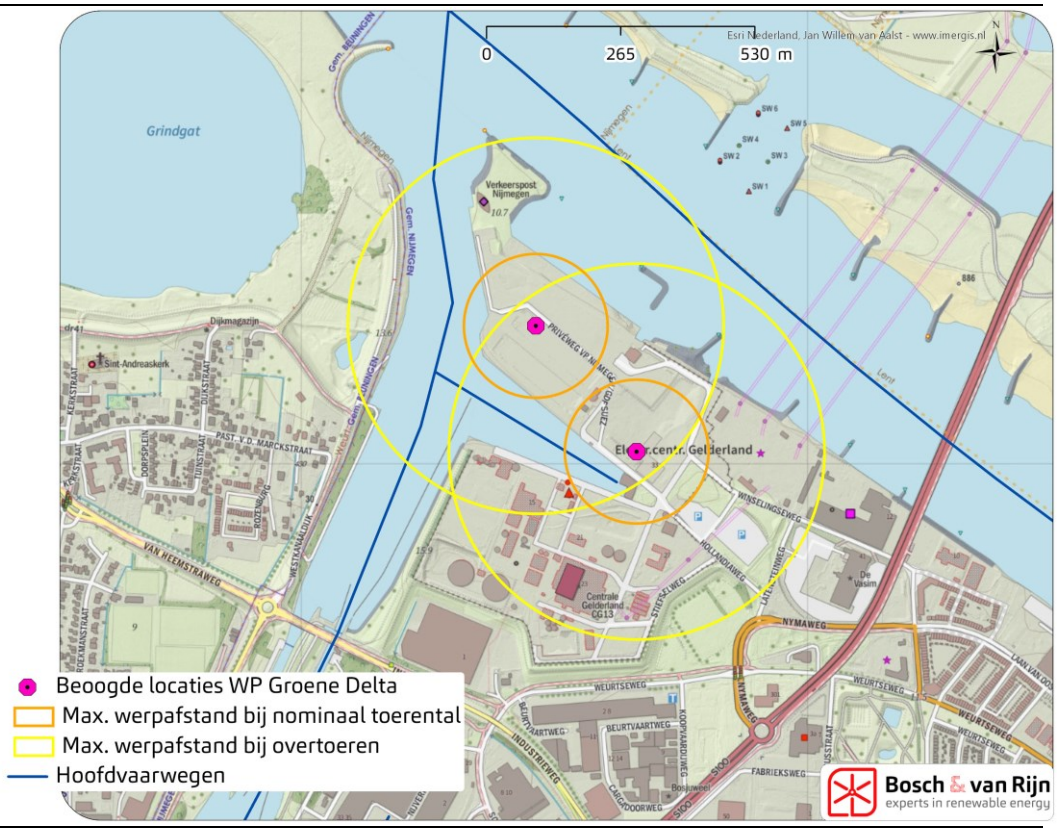
4.6.2.1 *Domino-effect gevaarlijke stoffen*

Omdat er op de vaarwegen nabij de windturbines vervoer van gevaarlijke stoffen plaatsvindt wordt hieronder nog ingegaan op het *domino-effect*, waarbij een deel van een windturbine terecht komt op een schip, wat kan leiden tot het 'onbedoeld vrijkomen van schadelijke stoffen'.

Om hierover in kwantitatieve zin iets te zeggen moet de kans dat dit domino-effect zich voordoet worden vergeleken met de 'initiële faalkans' van het schip. De kans dat een (deel van een) windturbine een schip raakt is opgebouwd uit de trefkans a.g.v. mastbreuk en de trefkans a.g.v. wiekbreuk.

De Waal en de Maas-Waalkanaal bevinden zich binnen de invloedssfeer van de windturbines (Figuur 11), omdat er op deze vaarwegen transport van gevaarlijke stoffen mogelijk is, is de kans berekend dat een schip wordt geraakt. Hierbij wordt uitgegaan van een schip dat vanaf de Waal naar het Maas-Waalkanaal gaat. Hiermee wordt er een worst-case scenario beschouwd, doordat een schip zich dan het langst (1.418 meter) binnen de invloedssfeer van de windturbines bevindt. In onderstaande analyse wordt tevens uitgegaan dat wanneer een schip geraakt wordt door een (deel van de) windturbine dit leidt tot falen van het voorbij varende schip. Hierdoor is de trefkans gelijk aan de faalkans.

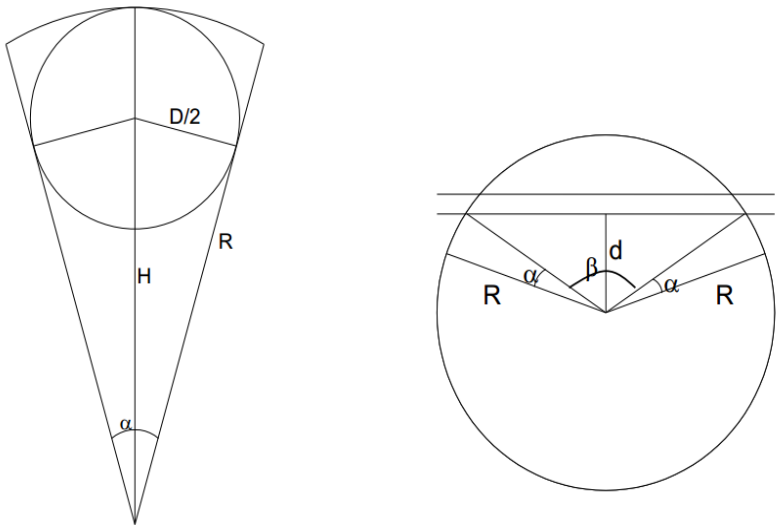
Figuur 11 **De vaarwegen en de invloedssfeer van de windturbines**



Mastbreuk

De kans dat de vaarweg wordt getroffen door een onderdeel van een omvallende windturbine wordt in het Handboek Risicozonering Windturbines (HRW, versie 2014) voorberekend, hetgeen is geïllustreerd in onderstaande figuur (HRW, 2014).

Figuur 12 **Windturbine als cirkelsegment en in aanraking met de vaarweg.**



Het scenario mastbreuk komt alleen voor bij de noordelijkste windturbine.

Afstand tot vaarweg (m)	Hoek (β)	Kans mastbreuk	Trefkans vaarweg
95	265°	$1{,}3*10^{-4}$	$9{,}44*10^{-5}$

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

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

waar $v_o = snelheid\ van\ het\ schip$ (m/s) en $L_o = Lengte\ van\ het\ schip$ (m)

Ten behoeve van deze berekening gaan wij uit dat het schip een snelheid heeft van 10 km/u en een lengte van 150 meter.

Trefkans vaarweg	Verblijfstijd schip	Trefkans per passage
$9{,}44*10^{-5}$	$1{,}71*10^{-06}$	$1{,}62*10^{-10}$

De kans dat een langsvarend schip door een omvallende windturbine wordt geraakt is dus $1{,}62*10^{-10}$

Wiekbreuk

De kans dat een wiek afbreekt en op de vaarweg terecht komt wordt als volgt berekend:

$$Trefkans\ vaarweg = p_{zwpt}nominaal\_TT \times oppervlakte\ vaarweg\ nominaal\_TT + p_{zwpt}overtoeren \times oppervlakte\ vaarweg\ overtoeren$$

$p_{zwpt} = trefkans\ zwaartepunt\ wiek\ nominaal$	=	$8{,}31*10^{-09}$
$Oppervlakte\ vaarweg\ nominaal$	=	4.931 m²
$p_{zwpt} = trefkans\ zwaartepunt\ wiek\ overtoeren$	=	$1{,}12*10^{-11}$
$Oppervlakte\ vaarweg\ overtoeren$	=	193.058 m²

$Trefkans\ vaarweg$ = $4{,}31*10^{-05}$

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

$\tau = \frac{L_o}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600} (1{,}5 \times B_o + {}^2/_3 \times L_o)$

$v_o = snelheid\ van\ het\ passerend\ object$(m/s)
$L_o = Lengte\ van\ het\ passerend\ object$ (m)
$b_o = Breedte\ van\ het\ passerend\ object$ (m)

Voor de lengte en snelheid worden dezelfde gegevens gebruikt als bij mastbreuk. Voor de breedte wordt uitgegaan van 22 meter.

*De kans dat een afgebroken wiek een langsvarend schip raakt is dan: 5,61*10^{-09} per passage.*

Totaal
De totale trefkans van een langsvarend schip is dan:

Trefkans a.g.v. mastbreuk wtb 1:	1,62*10^{-10} per passage
Trefkans a.g.v. wiekbreuk wtb 1:	5,61*10^{-09} per passage
Trefkans a.g.v. wiekbreuk wtb 2:	5,61*10^{-09} per passage[16]
Totaal:	1,14*10^{-08} per passage

Gegeven de lengte van de vaarweg binnen het invloedsgebied van de windturbines leidt dit tot een faalkans per voertuigkilometer van 8,04*10^{-09}.

Om een oordeel te kunnen vellen over de risico's van de mogelijke windturbines moet de berekende faalkans per vervoerkilometer worden vergeleken met de initiële faalkans. Op basis van de Handleiding Risicoanalyse Transport (HART) van 11 jan 2017 wordt voor het Maas-Waalkanaal en de Waal (respectievelijk CEMT klasse 5 en 6) een basis faalfrequentie toegepast van respectievelijk 1,32*10-7 en 4,14*10-7 vtgkm (pagina 83).

De bouw van de windturbines leidt tot een verhoging van de faalkans van een passerend schip van ca. 6,10%. Hiermee is de toename van de faalkans kleiner dan 10% en zullen de voor de vaarweg geldende risicoafstanden (conform Besluit externe veiligheid transport) niet significant wijzigen. Dat betekent dat toetsing aan de afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten ook na plaatsing van de windturbines niet tot belemmeringen leidt.

4.6.2.2 IPR en MR

Naast een schip kan de windturbine ook een persoon op dat schip raken. Om te beoordelen of het individueel passantenrisico (IPR) en het maatschappelijk risico (MR) niet hoger zijn dan de wettelijk vastgelegde grenswaarden moet worden berekend wat de trefkans is voor een passant is. Hierbij wordt uitgegaan van een persoon op het schip, waardoor alleen de verblijfstijd verandert, maar de trefkans van de vaarweg blijft hetzelfde als hierboven berekend.
Volgens het HRW dient bij de berekening van het IPR en MR uit te worden gegaan van een onbeschermd persoon die voorbij komt (in dit geval op een schip). In bijlage C van het HRW is uitgewerkt hoe deze berekening uit te voeren.

[16] De raakkans a.g.v. windturbine 2 is kleiner, maar voor het gemak gaan we hier uit van dezelfde waarde als windturbine 1. Dit is dus een 'worst case' aanpak.

Het maximaal toelaatbare IPR is $1*10^{-6}$ (oftewel eens in de miljoen jaar). Voor het MR is de grenswaarde 2 per 1000 jaar.

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

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

$v_o = snelheid\ van\ het\ schip\ (dus\ ook\ van\ de\ passant)$ (m/s)

Ten behoeve van deze berekening gaan wij uit dat het schip een snelheid heeft van 10 km/u. Dit is inclusief het feit dat schepen soms tijdelijk stilliggen voordat zij de sluis kunnen passeren.

Trefkans vaarweg	Verblijfstijd passant	Trefkans per passage
$9{,}44*10^{-5}$	$3{,}42*10^{-09}$	$3{,}23*10^{-13}$

De kans dat een passant, die aanwezig is op een voorbijvarend schip, geraakt wordt door een omvallende windturbine is $3{,}23*10^{-13}$ per passage.

Wiekbreuk
De trefkans van de vaarweg is hierboven reeds berekend: $4{,}31*10^{-05}$

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

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

$v_o = snelheid\ van\ het\ schip\ (dus\ ook\ van\ de\ passant)$ (m/s)

Ten behoeve van deze berekening gaan wij uit dat het schip een snelheid heeft van 10 km/u.

Trefkans passant is: $4{,}92*10^{-13}$ per passage

Totaal
De totale trefkans per passage door de turbine is:

Trefkans a.g.v. mastbreuk wtb 1: $3{,}23*10^{-13}$ per passage
Trefkans a.g.v. wiekbreuk wtb 1: $4{,}92*10^{-13}$ per passage
Trefkans a.g.v. wiekbreuk wtb 2: $4{,}92*10^{-13}$ per passage[17]

Totale trefkans van een passant op de vaarweg als gevolg van een falende windturbine is dus $1{,}32*10^{-12}$ per passage

[17] De raakkans a.g.v. windturbine 2 is kleiner, door de grotere afstand tot de vaarweg, maar voor het gemak gaan we hier uit van dezelfde waarde als windturbine 1. Dit is dus een 'worst case' aanpak.

Volgens het HRW dient bij de berekening van het IPR en MR uit te worden gegaan van een onbeschermd persoon die voorbij komt (in dit geval op een schip). In bijlage C van het HRW is uitgewerkt hoe deze berekening uit te voeren.
Het maximaal toelaatbare IPR is $1*10^{-6}$ (oftewel eens in de miljoen jaar). Voor het MR is de grenswaarde 2 per 1000 jaar.

Aan het IPR wordt voldaan zolang één passant niet meer dan 759.878 keer per jaar de turbine passeert. Dit komt overeen met ca. 2000 passages per dag, gedurende een heel jaar, door één en dezelfde persoon. Het is niet realistisch dat het IPR overschreden wordt.
Tevens wordt er aan het MR voldaan zolang er niet meer dan 1.519.756.839 passanten per jaar de windturbines passeren. Dit zijn meer dan 4,1 miljoen passanten per dag. Gelet op de aard van de vaarweg is het niet realistisch dat het MR wordt overschreden.

Hoofdstuk 5 Conclusie

5.1 (beperkt) Kwetsbare objecten

Er bevinden zich geen (geprojecteerde) beperkt kwetsbaar objecten binnen de 10^{-5}-risicocontour.
Er ligt wel een kantoorgebouw behorende tot de geplande biomassa centrale binnen de risicocontour van een windturbine. Aangezien dit gebouw behoort tot dezelfde inrichting als de geplande windturbine is het geen gebouw van derden en geen beperkt kwetsbaar object. Hierdoor wordt er voldaan aan het Activiteitenbesluit.

5.2 Risicovolle installaties

Er ligt een LNG-bunkerstation op ca. 130m van de oostelijke windturbine. Het betreft een mobiele installatie die op afroep aanwezig en in gebruik is. Er is besloten om de windturbine stil te zetten wanneer de LNG-bunkerstation in gebruik is. Hiermee zijn eventuele risico's als gevolg van de windturbine uit te sluiten.

De vergunde biomassacentrale die direct ten oosten van de oostelijke windturbine is gepland is een vaste-stof-biomassacentrale, en geen Bevi-inrichting. Het betreft derhalve geen risicovolle installatie.

5.3 Buisleidingen

De buisleidingen die gevaarlijke stoffen transporteren bevinden zich buiten de werpafstand bij nominaal toerental en buiten de masthoogte + 1/3de wieklengte van de beoogde windturbines. Hiermee wordt er voldaan aan de adviesafstand van Gasunie.

5.4 Hoogspanningsinfrastructuur

Door in de vergunning een voorschrift op te nemen dat de windturbines moeten voldoen aan de adviesafstandseis van TenneT wordt het belang van TenneT geborgd.

5.5 Waterkering

Er vindt door de windturbines bij zowel de onder- als bovengrens geen overdraai over de beschermingszone van de waterkering. Hierdoor is er geen aanvullend onderzoek nodig.

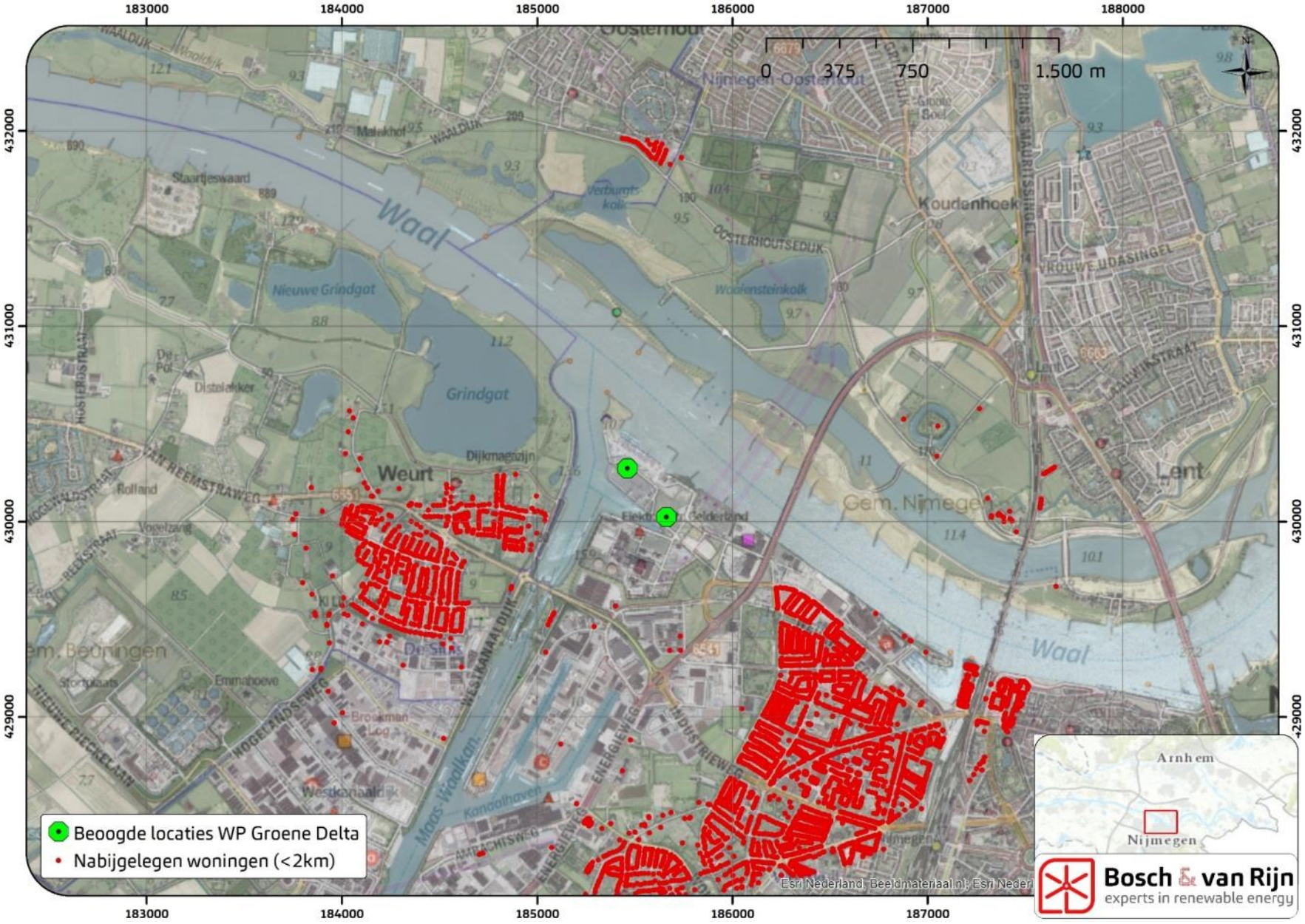
5.6 Infrastructuur

Er vindt door de windturbines bij zowel de onder- als bovengrens geen overdraai plaats op openbare wegen of vaarwegen. Hiermee wordt bij alle openbare wegen voldaan aan de beleidsregel "*Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over Rijkswaterstaatwerken*".
Om ook onder de nieuwe beleidsregel te voldoen moet de betonning van de insteekhaven worden aangepast, tenzij de insteekhaven onder de nieuwe beleidsregel niet als vaarweg wordt aangemerkt.
De kans op een domino-effect t.a.v. vervoer van gevaarlijke stoffen op de vaarwegen is verwaarloosbaar. Aan de grenswaarden voor het IPR en MR wordt ruimschoots voldaan.

Hoofdstuk 6 Bijlagen

Bijlage A Turbineopstelling en coördinaten

Windturbine (Van Noord naar Zuid)	X coördinaat	Y coördinaat
1	185463	430272
2	185662	430024



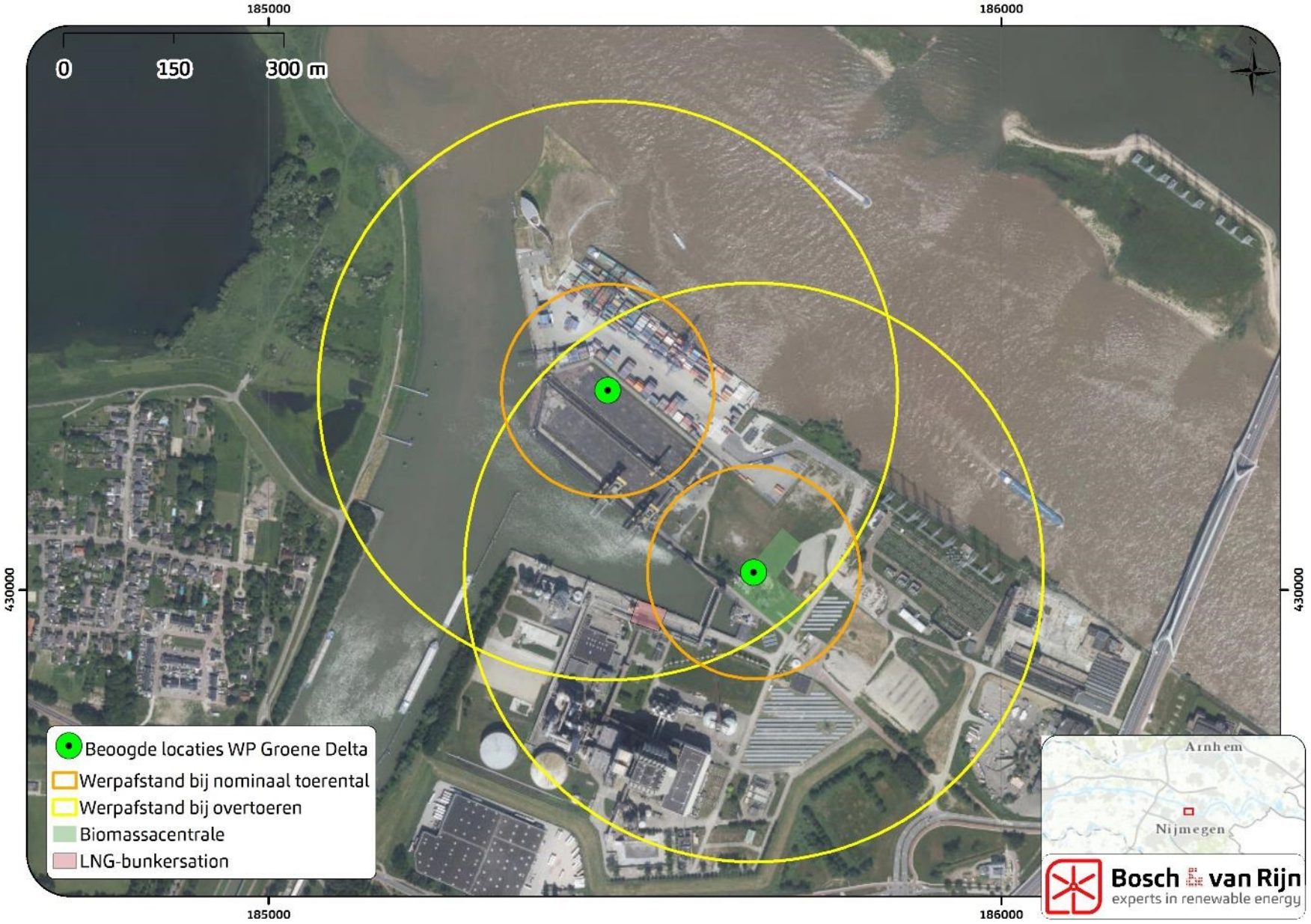
183000
184000
185000
186000
187000
188000
432000
431000
430000
429000
0
375
750
1.500 m
Waal
Nieuwe Grindgat
Grindgat
Weurt
Koudenhoek
Lent
Gem. Nijmegen
Nijmegen-Oosterhout
Waalensteinkolk
Verburgtskolk
Dijkmagazijn
Elektrotechn. Gelderland
Maas-Waalkan.
Westkanaaldijk
Kanaalhaven
Emmahoeve
Rolland
Vogelzang
Distelakker
Staartjeswaard
Malakhof
Arnhem
Nijmegen
Beoogde locaties WP Groene Delta
Nabijgelegen woningen (<2km)
Bosch & van Rijn
experts in renewable energy

Bijlagen

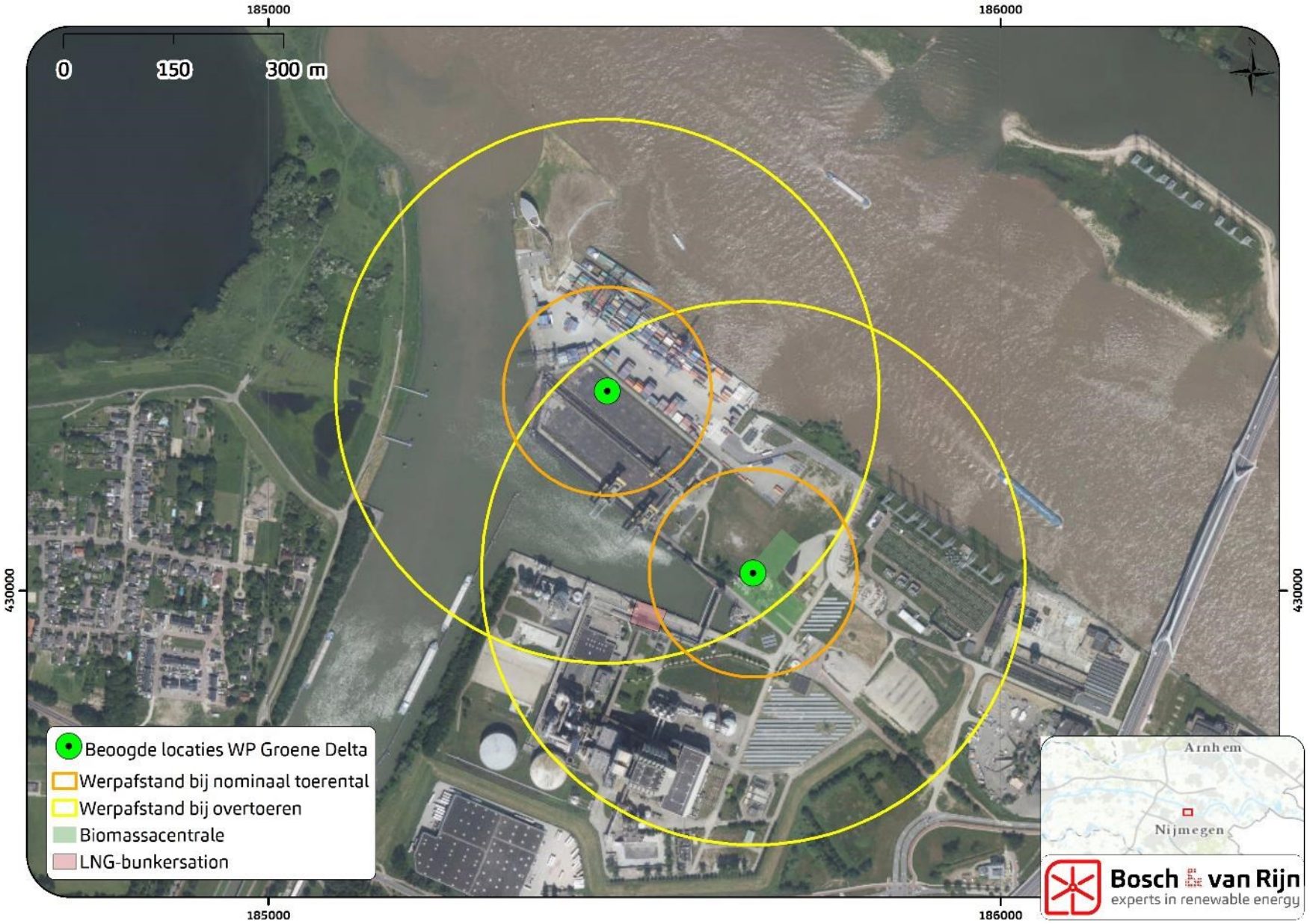
Bijlage B Risicocontouren en werpafstanden

Figuur 13 Risicocontouren Bovengrens en (beperkt) Kwetsbare objecten

Figuur 14 Werpafstand bij nominaal toerental en overtoeren van de ondergrens en risicovolle installaties. De biomassacentrale is ook weergegeven, maar geldt niet als RI.

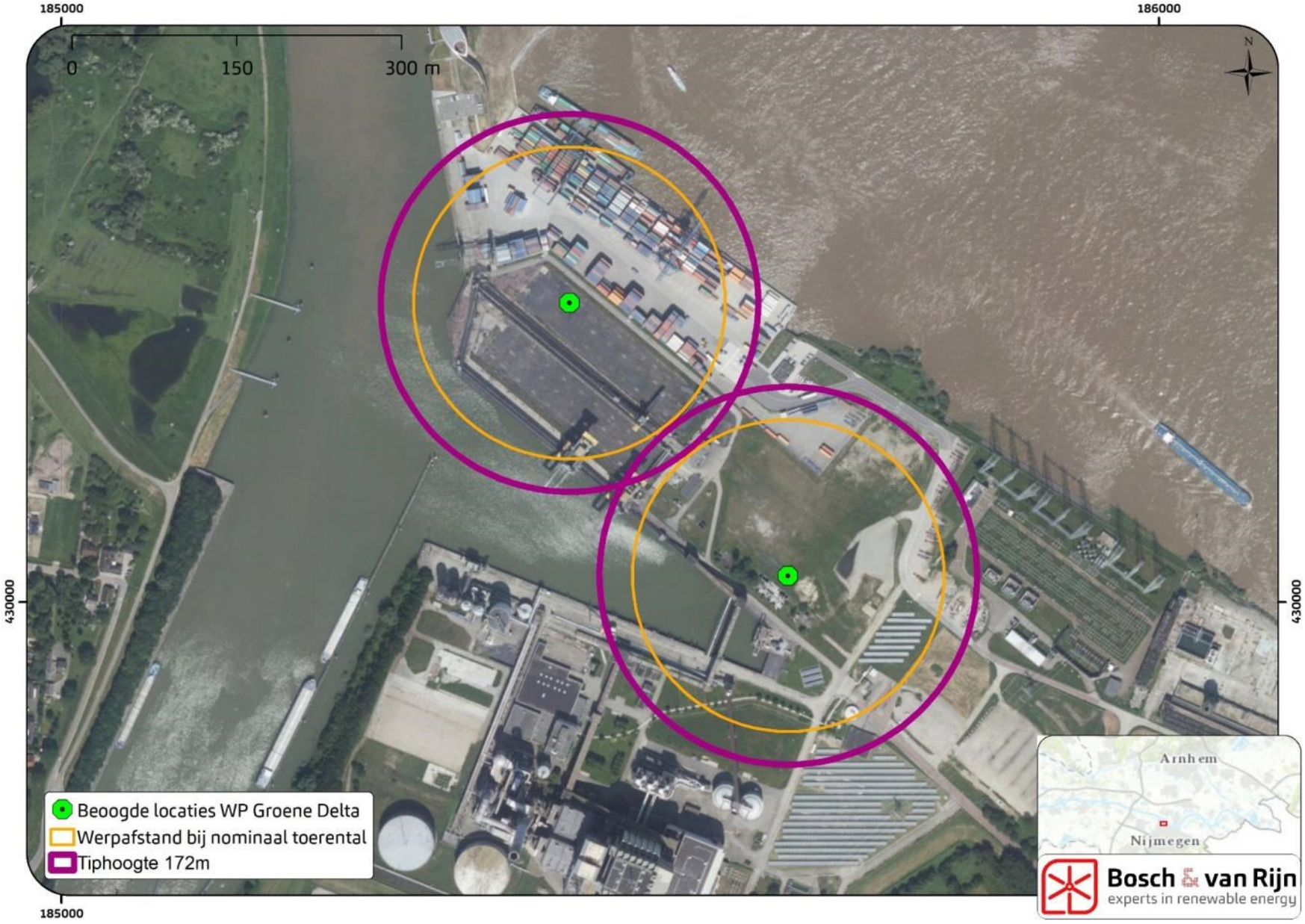


Figuur 15 Werpafstand bij nominaal toerental en overtoeren van de bovengrens en risicovolle installaties. De biomassacentrale is ook weergegeven, maar geldt niet als RI.

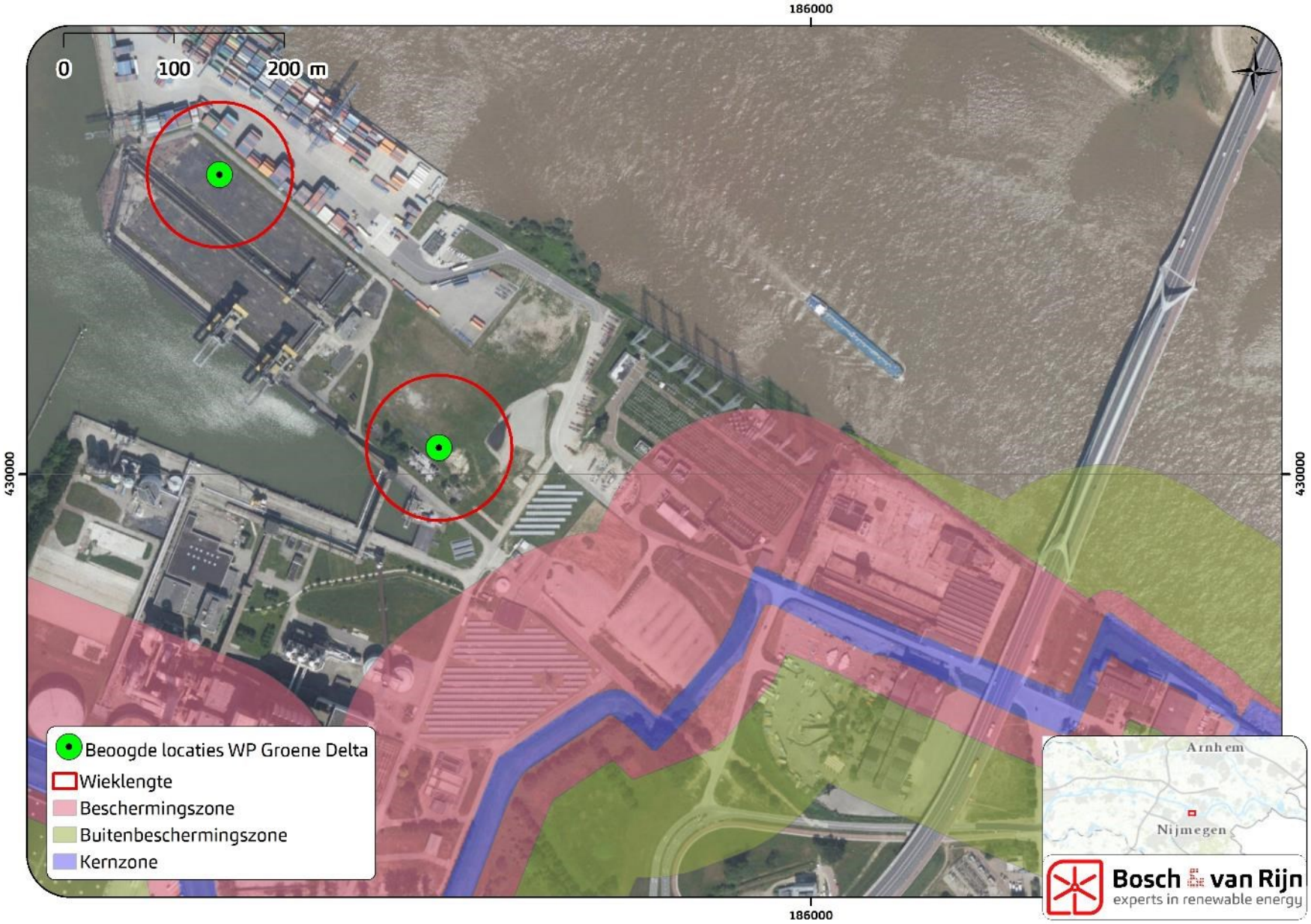


Figuur 16 Werpafstand bij nominaal toerental en tiphoogte van de ondergrens en hoogspanningsinfrastructuur

Figuur 17 Werpafstand bij nominaal toerental en tiphoogte van de bovengrens en hoogspanningsinfrastructuur



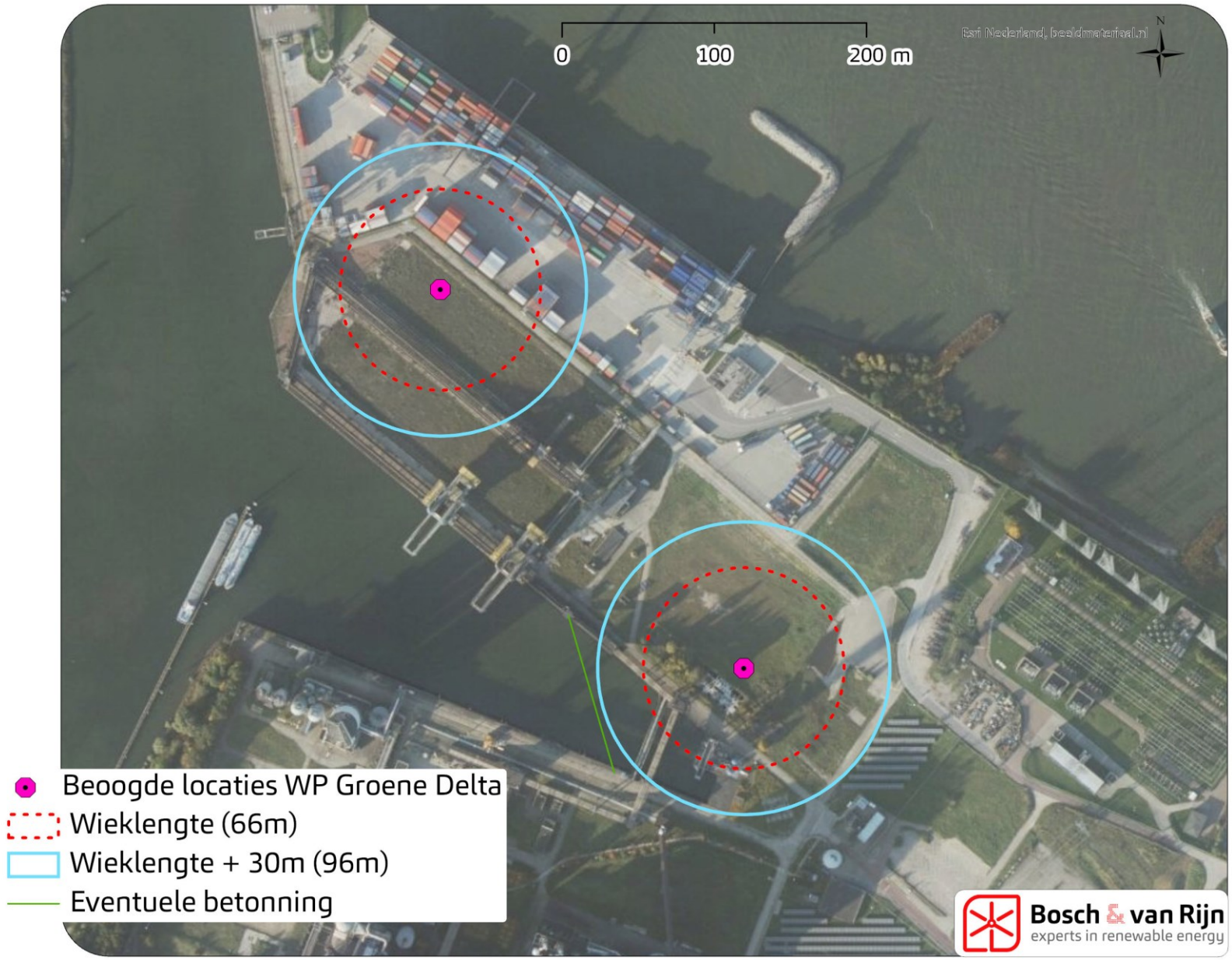
Figuur 18 Wieklengte van de bovengrens en de beschermings- en kernzone van de waterkering



Figuur 19 De 10 min 5 contour van de ondergrens en wegen

Figuur 20 De 10 min 5 contour van de bovengrens en wegen

Figuur 21 De adviesafstand van RWS (wieklengte + 30m) van de bovengrens en vaarwegen



Bijlage C Berekening werpafstand

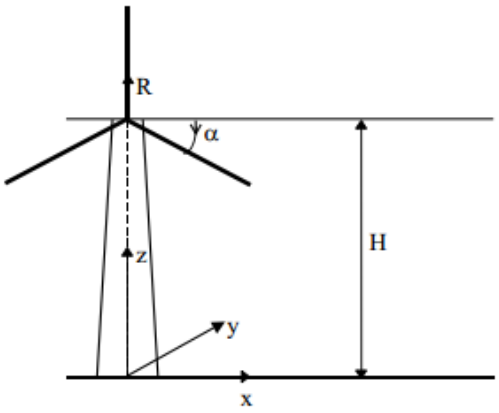
2.1 Ballistisch model zonder luchtkrachten

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 : azimuthoek [rad]
g : valversnelling (= 9,81 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

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

Met de beginvoorwaarden

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

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

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

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

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

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

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

2.1.2 Verdelingsfuncties

De kansverdelingsfunctie f_{ZWPT} geeft de kans per m^2 dat het zwaartepunt op een bepaalde plek terechtkomt 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_{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 terechtkomt, is gegeven door

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

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

$$f_A(r) = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\alpha} F_A(\alpha) = \frac{1}{2\pi}, \qquad 0 \le \alpha < 2\pi \tag{2.1.7}$$

geldt nu

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

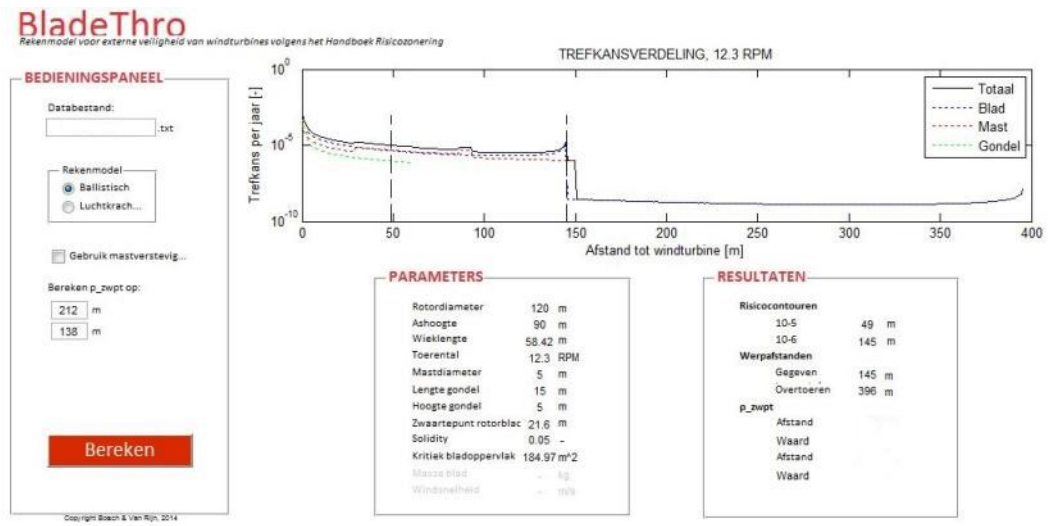
Opm : Om de gevolgde aanpak te demonstreren is bij bovenstaande afleiding verondersteld dat de functie $h(\alpha;\Omega)$ inverteerbaar is. In het geval van bladbreuk zal dit niet zo zijn, want in het algemeen zal het zwaartepunt vanuit twee verschillende azimuthoeken op een bepaalde plek terecht kunnen 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

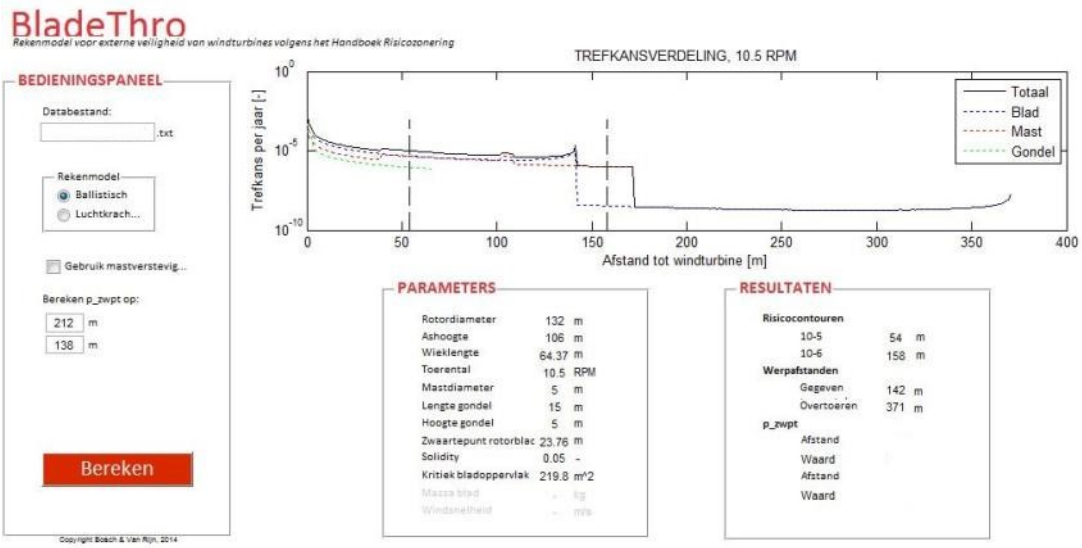
$$f_{ZWPT}(x, y;\Omega) = f_{ZWPT}(r;\Omega) = \frac{1}{2\pi r} f_R(r;\Omega) \tag{2.1.9}$$

Bijlage D Werpafstanden turbinetype

GE2.75-120 90 ashoogte en 120 rotordiameter



Gamesa – Siemens G132 106 ashoogte en 132 rotordiameter



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 m^2 per object, of
   2. complexen waarin meer dan 5 winkels zijn gevestigd en waarvan het gezamenlijk bruto vloeroppervlak meer dan 1000 m^2 bedraagt en winkels met een totaal bruto vloeroppervlak van meer dan 2000 m^2 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) kampeerterreinen 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