Bosch & van Rijn
Franz-Lisztplantsoen 220
3533 JG Utrecht
030 – 677 6466

Auteurs
Martijn Maan MSc.
Hans Kerkvliet MSc.

Opdrachtgever
Zwartenberg B.V.
Zeedijk 2
4871 NM Etten-Leur

Windturbine Hoge Zijpolder

Onderzoek Externe Veiligheid t.b.v. ruimtelijke onderbouwing

Windturbine Hoge Zijpolder

Onderzoek Externe Veiligheid t.b.v. ruimtelijke onderbouwing

Datum
16-04-2021

Versie
0.2 concept na aanpassing maximale tiphoogte

Bosch & Van Rijn
Franz-Lisztplantsoen 220
3533 JG Utrecht

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

© Bosch & Van Rijn 2021
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	*Leeswijzer*	*5*
HOOFDSTUK 2	**RISICO-INVENTARISATIE**	**6**
2.1	*Faalscenario's, werpafstanden en risicocontouren*	*7*
2.2	*Inventarisatie relevante onderwerpen*	*8*
HOOFDSTUK 3	**BEOORDELINGSKADER**	**10**
3.1	*(Beperkt) kwetsbare objecten*	*11*
3.2	*Wegen*	*11*
3.3	*Vaarwegen*	*12*
3.4	*Regionale waterkering*	*13*
HOOFDSTUK 4	**RISICOANALYSE**	**14**
4.1	*(Beperkt) kwetsbare objecten*	*15*
4.2	*Wegen*	*16*
4.3	*Vaarwegen*	*19*
4.4	*Regionale waterkering*	*20*
HOOFDSTUK 5	**CONCLUSIE**	**21**
5.1	*(Beperkt) kwetsbare objecten*	*22*
5.2	*Wegen*	*22*
5.3	*Vaarwegen*	*22*
5.4	*Regionale waterkeringen*	*23*
HOOFDSTUK 6	**BIJLAGEN**	**24**
BIJLAGE A	**ONDERZOCHTE OPSTELLING**	**25**
BIJLAGE B	**RISICOCONTOUREN EN WERPAFSTANDEN**	**26**
BIJLAGE C	**BEREKENING WERPAFSTAND**	**30**
BIJLAGE D	**DEFINITIES (BEPERKT) KWETSBARE OBJECTEN**	**33**
BIJLAGE E	**RESULTATEN BEREKENING RISICOAFSTANDEN IN BLADETHROW**	**34**
BIJLAGE F	**SHORTLIST DOORGEREKENDE WINDTURBINETYPES**	**35**

Hoofdstuk 1 Inleiding

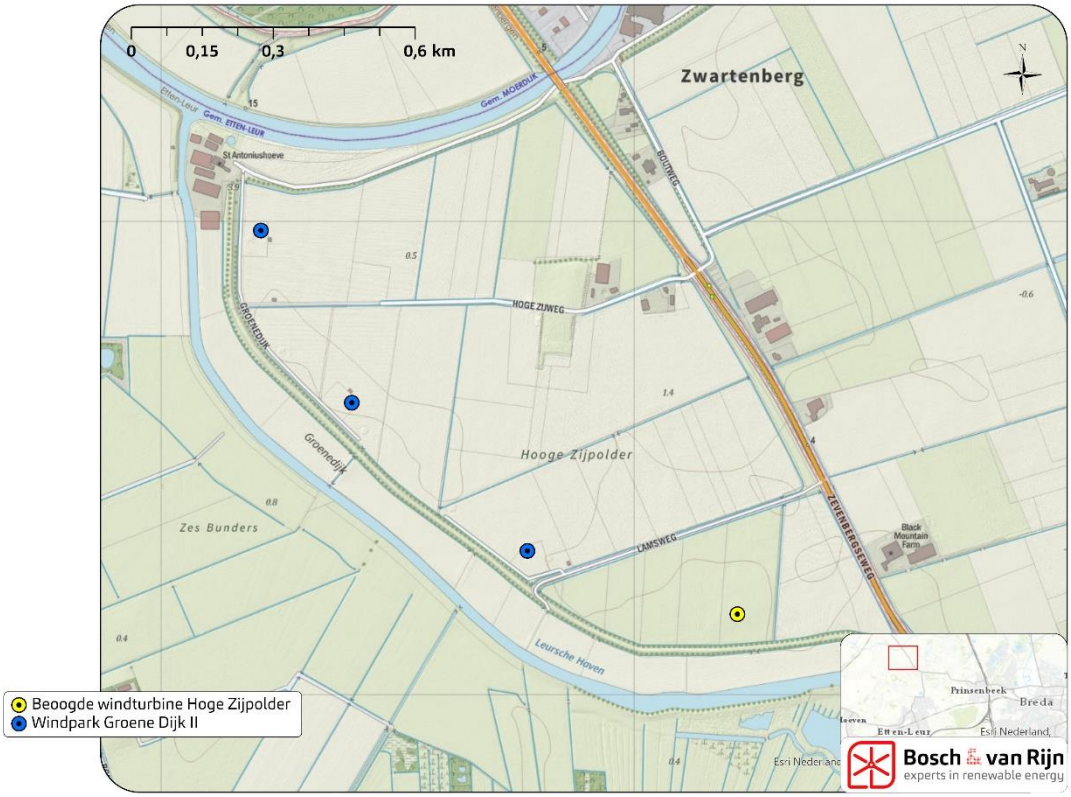
1.1 Inleiding

Ten behoeve van de ruimtelijke onderbouwing heeft Bosch & van Rijn de externe veiligheidseffecten onderzocht ten gevolge van de realisatie van een solitaire windturbine in het noordelijke buitengebied van de gemeente Etten-Leur. De nieuwe windturbine zal de naam 'windturbine Hoge Zijpolder' dragen en zal in lijn met de drie bestaande windturbines (drie maal Vestas V136-4.2) van 'windpark Groene Dijk II' komen te staan. De locatie van de windturbine Hoge Zijpolder ligt vast. De afmetingen van de windturbine zijn nog enkel als bandbreedte bekend:

- Ashoogte: minimaal 112 meter, maximaal 140 meter;
- Rotordiameter: minimaal 136 meter, maximaal 170 meter;
- Tiphoogte: minimaal 180 meter, maximaal 200 meter.

Figuur 1 toont de ligging van de te realiseren windturbine Hoge Zijpolder. De exacte locatie van de windturbine is in Tabel 1 weergegeven.

Figuur 1 **Ligging van de voorgenomen windturbine Hoge Zijpolder en de drie reeds bestaande windturbines van windpark Groene Dijk.**



Tabel 1 **Locatie (in RD coördinaten) van de beoogde windturbine Hoge Zijpolder**

RDx	RDy
103.218	403.170

1.2 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 worden de externe veiligheidseffecten van de windturbine beschreven en wordt een inventarisatie van de voor externe veiligheid relevante objecten gepleegd. 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 veiligheidseffecten van de windturbine op de relevante objecten geanalyseerd. Waar nodig zijn in dit hoofdstuk ook berekeningen opgenomen. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies waarin de berekende waarden worden getoetst aan het in Hoofdstuk 3 beschreven beoordelingskader.

Hoofdstuk 2 Risico-inventarisatie

2.1 Faalscenario's, werpafstanden en risicocontouren

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

1. *het afbreken van (een gedeelte van) een windturbineblad;*

   De risico's van het afbreken van een windturbineblad vormen een risico binnen de straal van de maximale werpafstand. Hierbij worden twee scenario's onderscheiden:

   - Maximale werpafstand bij nominaal toerental;
   - Werpafstand bij overtoeren[1];

2. *het omvallen van een windturbine door mastbreuk;*

   Als gevolg van mastbreuk kan een persoon of object getroffen worden door de mast of door de gondel met rotor die op de grond terecht komt. Het omvallen van een windturbine vormt een risico binnen de maximale valafstand (ashoogte + 1/2de rotordiameter) van de windturbine.

3. *het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor.*

   Het risicogebied van het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor is beperkt tot maximaal de wieklengte. Als gevolg van gondelafworp kan een persoon of object getroffen worden door de gondel die op de grond terecht komt.

Ten behoeve van het bepalen van de relevante werpafstanden en risicocontouren is een shortlist van gangbare windturbinetypes opgesteld waarvan de afmetingen zo veel mogelijk overeenkomen met de bovenkant van de in paragraaf 1.1 genoemde bandbreedte. Voor deze windturbinetypes zijn op basis van generieke faalfrequenties (bron: paragraaf 9.1.3.5 van de toelichting op de Handleiding Omgevingsveiligheid, 2020), het kogelbaanmodel (zie Bijlage C van dit rapport. Bron: hoofdstuk 2.3.1. van het rekenvoorschrift omgevingsveiligheid module IV, versie oktober 2020) en parameters van de specifieke windturbinetypes de werpafstanden en risicocontouren berekend. De in de shortlist opgenomen windturbinetypes en daarbij berekende werpafstanden en risicocontouren zijn in Bijlage F weergegeven.

[1] 'Bij nominaal toerental' betekent hier dat de rotor van de windturbine met normale snelheid draait op moment van afbreken van het blad. 'Bij overtoeren' betekent hier dat de rotor van de windturbine met abnormale snelheid draait op moment van afbreken van het blad, bijvoorbeeld door een defect in het remsysteem van de windturbine. In dit geval zouden (delen van) het windturbineblad verder geworpen kunnen worden dan wanneer de rotor met normale snelheid zou hebben gedraaid. Dat windturbines 'in overtoeren' raken is, zeker bij moderne windturbines, zeer zeldzaam.

Ter bepaling van de aan te houden werpafstanden en risicocontouren in dit onderzoek is vervolgens een niet commercieel beschikbaar 'referentie' type windturbine gemodelleerd waarvan de afmetingen exact overeenkomen met de in paragraaf 1.1 genoemde bovengrens, maar waarvan de berekende risicocontouren en werpafstanden gelijk of groter zijn dan de berekende afstanden uit de shortlist. Op deze manier zijn de externe veiligheidseffecten van gangbare types windturbines kleiner dan of hooguit gelijk aan de externe veiligheidseffecten van het in dit onderzoek gehanteerde 'referentie' windturbinetype. Hierdoor wordt van een worst-case benadering uitgegaan. De afmetingen, werpafstanden en risicocontouren van het gehanteerde 'referentie' type windturbine zijn in Tabel 2 weergegeven.

Tabel 2 **Afmetingen, risicocontouren en werpafstanden van de in dit onderzoek gehanteerde referentie windturbine.**

Rotordiameter (m)	Ashoogte (m)	Tiphoogte (m)	Risicocontour (m)[2]		Max. werpafstand (m) bij:	
			10^{-5}	10^{-6}	nominaal toerental	overtoeren
170	115	200	85	197	167	441

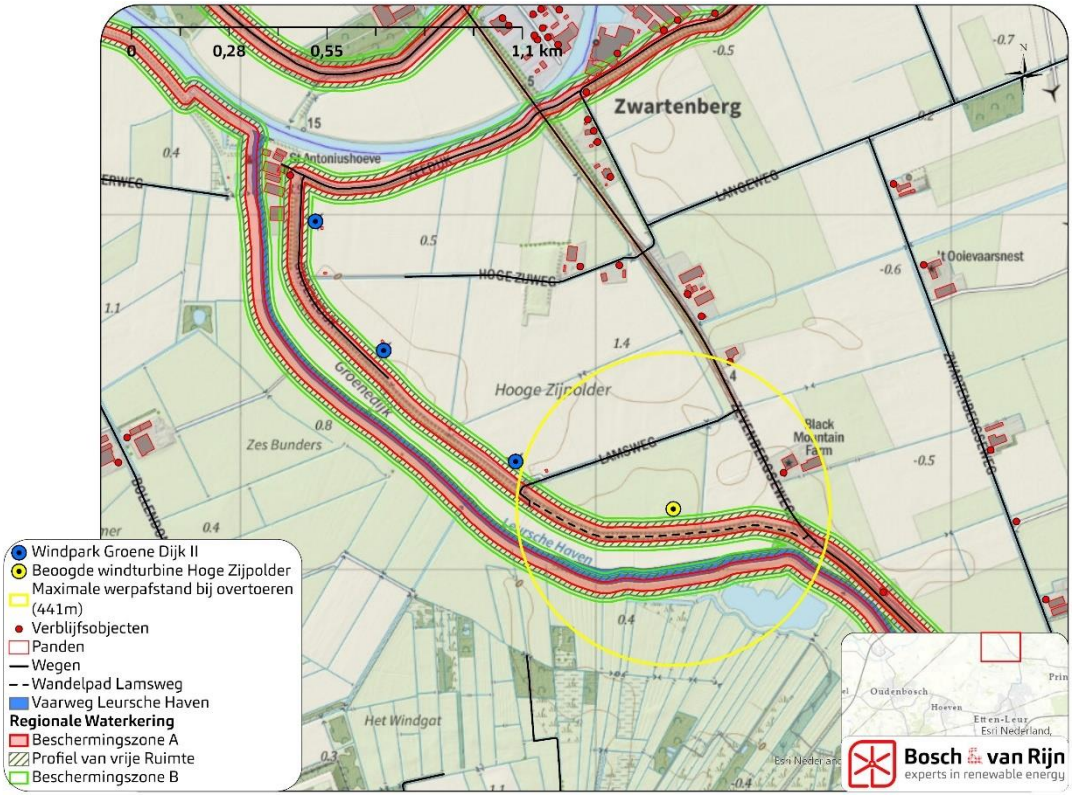
NB. Binnen de in paragraaf 1.1 genoemde bandbreedte zijn ook windturbines mogelijk met kleinere afmetingen dan de in de shortlist opgenomen windturbinetypes. Van kleinere windturbines mag verwacht worden dat deze minder veiligheidseffecten met zich meebrengen. Om deze reden zullen de externe veiligheidseffecten voor windturbines binnen de volledige mogelijke bandbreedte in elk geval gelijk aan dan niet lager dan de in dit onderzoek berekende veiligheidseffecten voor de 'referentie' windturbine.

2.2 Inventarisatie relevante onderwerpen

De voorziene windturbine kan een risicoverhogend effect hebben op nabijgelegen gebouwen, installaties en infrastructuur. Om te bepalen welke onderwerpen in de omgeving van de windturbine vanuit het oogpunt van externe veiligheid relevant zijn is de maximale werpafstand bij overtoeren in kaart gebracht en zijn daarbinnen de onderwerpen gedefinieerd die relevant zijn (Figuur 2). De maximale werpafstand bij overtoeren is in kaart gebracht omdat deze de maximale *invloedsfeer* van de windturbine aangeeft waarbinnen deze externe veiligheidseffecten kan veroorzaken.

[2] Ter bepaling van de 10^{-5} risicocontour is als worst-case benadering de wieklengte aangehouden

Figuur 2 **Aanwezigheid van voor externe veiligheid relevante onderwerpen binnen de invloedsfeer van de windturbine (de maximale werpafstand bij overtoeren).**



Uit bovenstaande figuur blijkt dat de volgende onderwerpen relevant zijn (dat wil zeggen dat zij zich binnen de invloedsfeer van de beoogde windturbine bevinden):

- (Beperkt) kwetsbare objecten
- Wegen
- Vaarwegen
- Regionale waterkeringen

Voor deze onderwerpen zullen in onderhavig onderzoek de externe veiligheidseffecten worden getoetst aan wet- en regelgeving.

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.

Hoofdstuk 3 Beoordelingskader

3.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

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

1. Het plaatsgebonden risico voor een **buiten de inrichting gelegen kwetsbaar object**, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, is niet hoger dan **10^{-6} per jaar**.
2. Het plaatsgebonden risico voor een **buiten de inrichting gelegen beperkt kwetsbaar object**, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, is niet hoger dan **10^{-5} per jaar**.

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

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

3.2 Wegen

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".

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 honderdzestig 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."

3.3 Vaarwegen

In de *Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijskwaterstaatswerken* staan de minimale afstanden die Rijkswaterstaat tot kanalen, rivieren, havens en vaarwegen hanteert. Rijkswaterstaat staat plaatsing van windturbines langs kanalen, rivieren en havens toe bij een afstand van ten minste 50 meter uit de rand van de vaarweg. Voor vaarwegen geldt een minimale afstand tot de rand van de vaarweg van altijd ten minste de helft van de rotordiameter.

Echter er is een nieuwe beleidsregel in voorbereiding waarin staat dat de afstand van windturbines tot de vaarweg minimaal gelijk moet zijn aan de wieklengte + 30 meter. In paragraaf 4.3 wordt al getoetst aan de nieuwe adviesafstand.

Voor vaarwegen die niet in beheer zijn van Rijkswaterstaat zijn geen generieke afstanden berekend. Omdat verondersteld mag worden dat de minimale veiligheidsafstanden tot rijkwaterstaatswerken ook voor vaarwegen buiten het beheer van Rijkswaterstaat toereikend zijn wordt de beleidsregel van wieklengte + 30 meter ook voor deze vaarwegen overgenomen.

3.4 Regionale waterkering

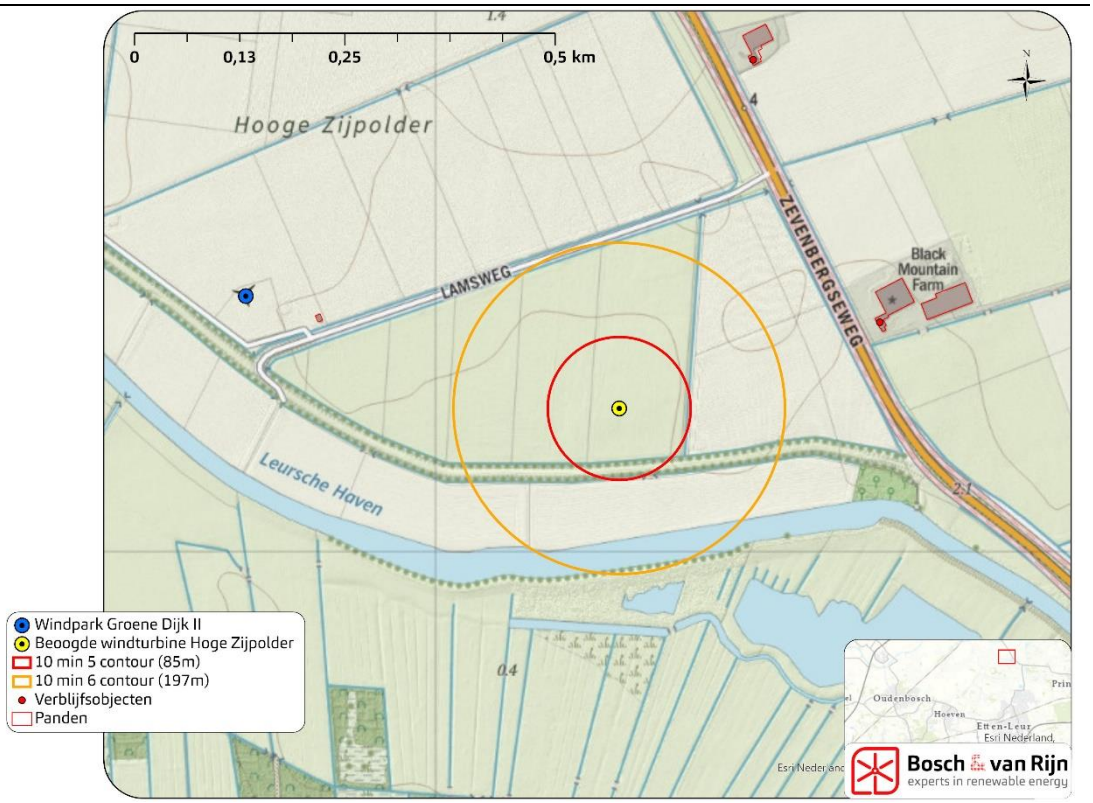
Voor de windturbine dient een watervergunning te worden aangevraagd indien deze binnen de beschermingszone (zowel beschermingszone A als B) van de regionale waterkering worden geplaatst. Hierbuiten geldt geen vergunningsplicht en hoeven de externe veiligheidseffecten derhalve niet getoetst te worden.

Hoofdstuk 4 Risicoanalyse

4.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

Binnen de 10^{-5} en 10^{-6} contouren van de windturbine is nagegaan of er (geprojecteerde) kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten aanwezig zijn. Dit is niet het geval. Alle geprojecteerde (beperkt) kwetsbare objecten bevinden zich op ruime afstand buiten de 10^{-6} contour van de windturbine.

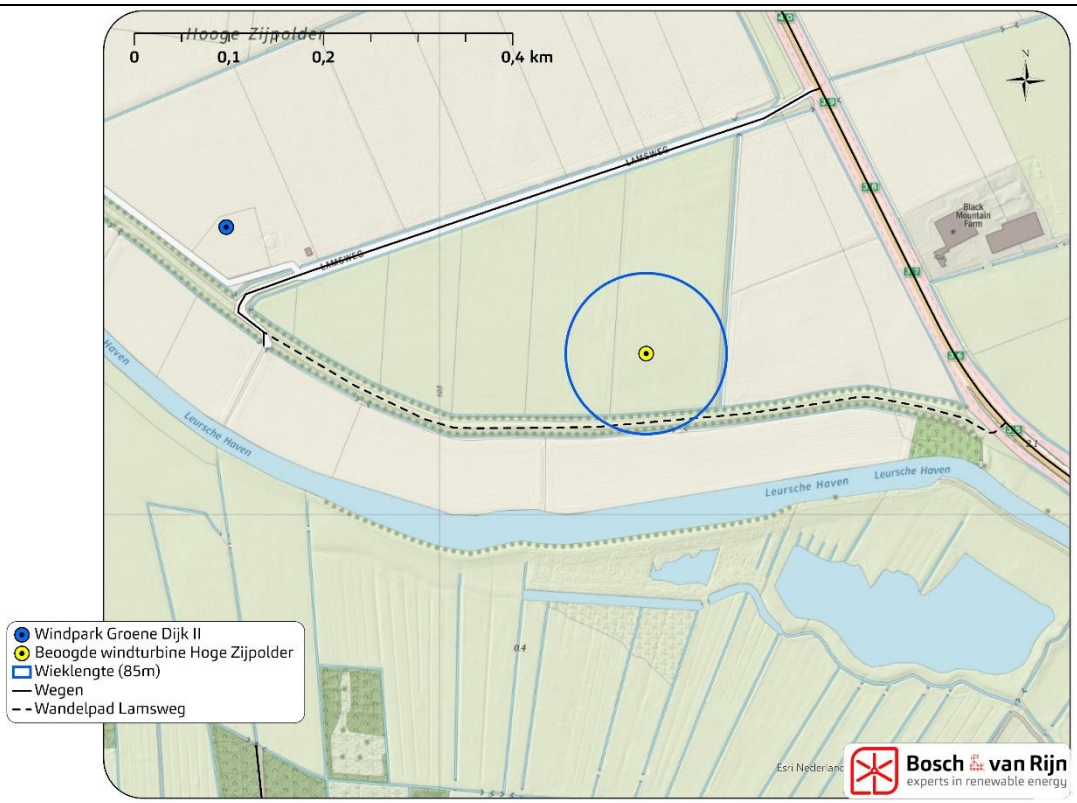
Figuur 3 **Risicocontouren en geprojecteerd (beperkt) kwetsbare objecten rondom de voorziene windturbine**



4.2 Wegen

Voor de windturbine is nagegaan of deze over een (openbare) weg draait. Indien er geen overdraai plaatsvindt wordt voldaan aan de in paragraaf 3.2 genoemde beleidsregel en worden eventueel aanwezige externe veiligheidseffecten als toelaatbaar worden beschouwd.

Figuur 4 **Overdraai boven wegen door de windturbine**



Figuur 4 laat zien dat de windturbine overdraait boven een (wandel)pad. Om de externe veiligheidseffecten van de windturbine op het pad te bepalen wordt voor de windturbine de trefkans per passage berekend. Hierbij wordt uitgegaan van een passant die lopend langs de windturbine deze passeert, waarbij de trefkans wordt berekend aan de hand van de kortste afstand tussen de windturbine en de weg (72 meter).

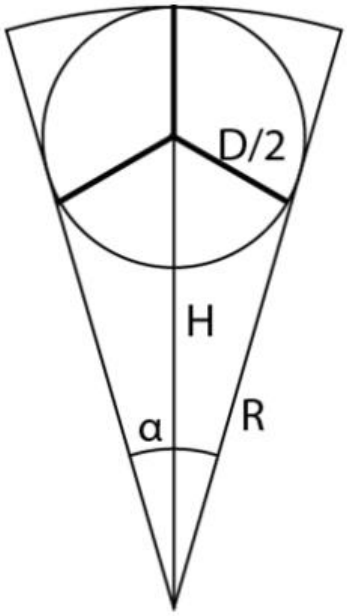
4.2.1 *Trefkansberekening*

4.2.1.1 Rekenmethode mastbreuk

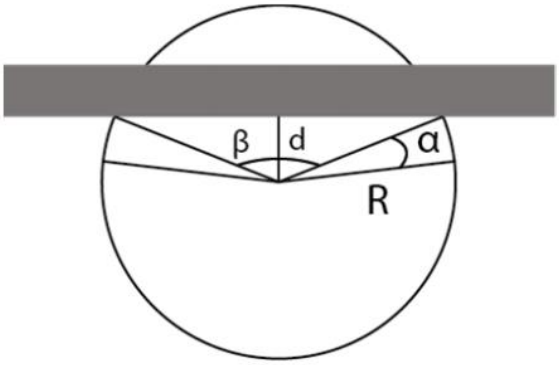
De kans dat dat de weg wordt getroffen door een onderdeel van een omvallende windturbine wordt gelijk verondersteld aan de kans dat een gedeelte van een onderstaand cirkelsegment (Figuur 5) in aanraking komt met de wegstrook, hetgeen

is geïllustreerd in Figuur 6 (bron: rekenvoorschrift omgevingsveiligheid module IV, oktober 2020).

Figuur 5 **Windturbine als cirkelsegment**



Figuur 6 **Turbine in aanraking met weg**



De trefkansberekening door mastbreuk is hieronder weergegeven:

Tabel 3 **Trefkansberekening voor het wandelpad door mastbreuk**

Afstand tot pad (m)	Valhoek (graden)	Frequentie scenario mast-breuk (per jaar)	Trefkans pad (per jaar)
72	194	$1{,}3 * 10^{-4}$	$7{,}01 * 10^{-5}$

4.2.1.2 Rekenmethode wiekbreuk

Conform het rekenvoorschrift omgevingsveiligheid module IV (2020) kan de kans dat een persoon die permanent op dezelfde locatie aanwezig is wordt geraakt als gevolg van een afgebroken wiek met de volgende formule worden berekend:

$$P = 1{,}5 \cdot A_c\ (Kritiek\ oppervlakte\ wiek) \cdot p_{zwpt}\ (Trefkans\ zwaartepunt\ wiek)$$

Onderstaande tabel toont de resultaten van deze berekening:

Tabel 4 **Trefkansberekening voor het wandelpad door wiekbreuk**

A_c (m^2)	P_{zwpt} (per m^2, per jaar)	Trefkans pad (per jaar)
385,33	$8{,}96 * 10^{-9}$	$5{,}18 * 10^{-6}$

4.2.1.3 *Rekenmethode gondelafworp*

Voor het berekenen van de trefkans op personen en objecten ten gevolge van het afvallen van een gondel met rotor of alleen een rotor kan dezelfde aanpak worden gevolgd als bij 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: 4,00 * 10^{-5} per jaar.

4.2.1.4 *Totale trefkans per passage*

De kans dat een passant door (onderdelen van) de windturbine wordt getroffen kan worden berekend door allereerst de trefkansen van de drie faalscenario's bij elkaar op te tellen en deze trefkans vervolgens te vermenigvuldigen met de *verblijfsfactor* van de passant. Hierbij wordt de verblijfsfactor (τ) berekend middels de onderstaande formule:

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

waar $v_o = snelheid\ van\ de\ passant$ (m/s)

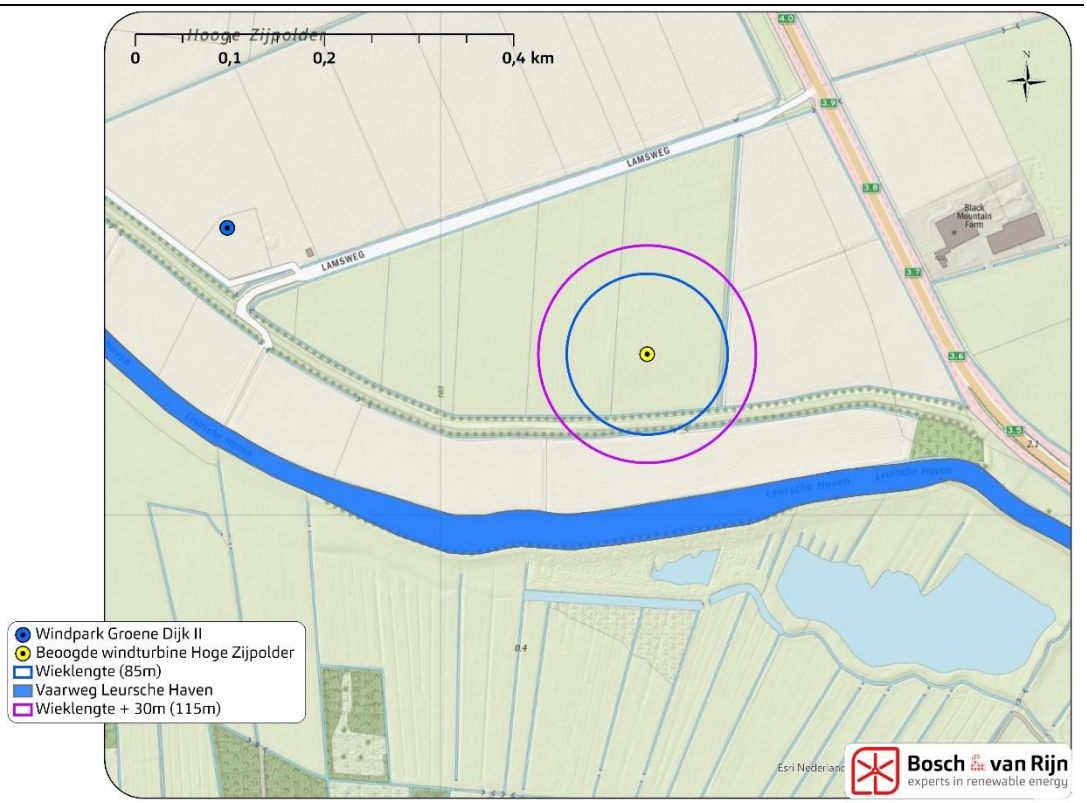
Ten behoeve van het bepalen van de verblijfsfactor is uitgegaan van een worst-case scenario, dat wil zeggen van een passant die een lage snelheid en dus een lange verblijfstijd heeft. Dit is een voetganger, waarvan wordt uitgegaan dat deze een gemiddelde snelheid van 5 kilometer per uur (1,4 meter per seconde) heeft. Gezien de functie van het pad is dit ook de meest waarschijnlijke passant. De resulterende verblijfsfactor per passage is 6,79 * 10^{-9}.

De trefkans per passage is dan: (7,01 * 10^{-5} + 5,18 * 10^{-6} + 4,00 * 10^{-5}) * 6,79 * 10^{-9} = 8,04 * 10^{-13}.

4.3 Vaarwegen

Voor de windturbine is nagegaan of de vaarweg Leursche Haven zich binnen de minimale adviesafstand volgens de in voorbereiding zijnde beleidsregel van Rijkswaterstaat (wieklengte + 30 meter) bevindt. Figuur 7 laat zien dat dit niet het geval is.

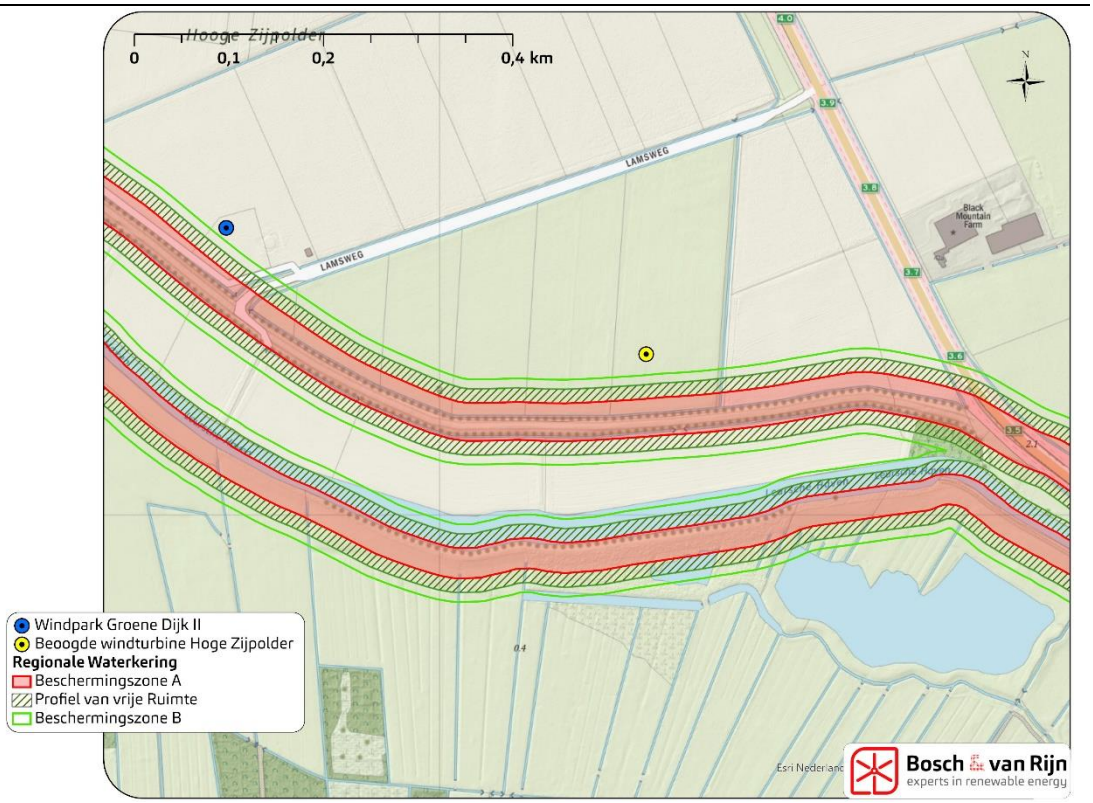
Figuur 7 **Ligging vaarweg ten opzichte van de beoogde windturbine**



4.4 Regionale waterkering

Voor de windturbine is nagegaan of deze binnen de beschermingszone van de regionale waterkering is gelegen. Figuur 8 laat zien dat dit niet het geval is.

Figuur 8 **Ligging waterkering ten opzichte van de beoogde windturbine**



Hoofdstuk 5 Conclusie

5.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

Binnen de 10^{-6} contour van de voorziene windturbine bevinden zich geen objecten die volgens de regelgeving uit het Activiteitenbesluit als kwetsbaar of beperkt kwetsbaar object moeten worden beschouwd. De veiligheidseisen ten aanzien van (beperkt) kwetsbare objecten worden dus niet overschreden.

5.2 Wegen

De voorziene windturbine zal overdraaien boven één (wandel)pad. Omdat ten aanzien van dit wandelpad dus niet wordt voldaan aan de *"Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatswerken'* is voor dit pad de trefkans per passage berekend. Deze is 8,04 * 10^{-13} per passage.

Om te beoordelen of de veiligheidseffecten van de voorziene windturbine op het wandelpad toelaatbaar zijn wordt de trefkans per passage getoetst aan het IPR en het MR.

Er wordt aan het IPR (10^{-6}) voldaan zolang één passant de windturbine niet vaker passeert dan 1.244.552 keer per jaar. Dit komt overeen met 3.409 passages per dag gedurende een heel jaar door dezelfde persoon.

Er wordt aan het MR ($2*10^{-3}$) voldaan zolang het aantal passanten dat de windturbine passeert niet meer is dan 2.489.105.186 per jaar. Dit komt overeen met 6.819.466 passages per dag, gedurende een heel jaar.

Gelet op de aard van het pad is het niet realistisch dat het IPR of het MR wordt overschreven.

5.3 Vaarwegen

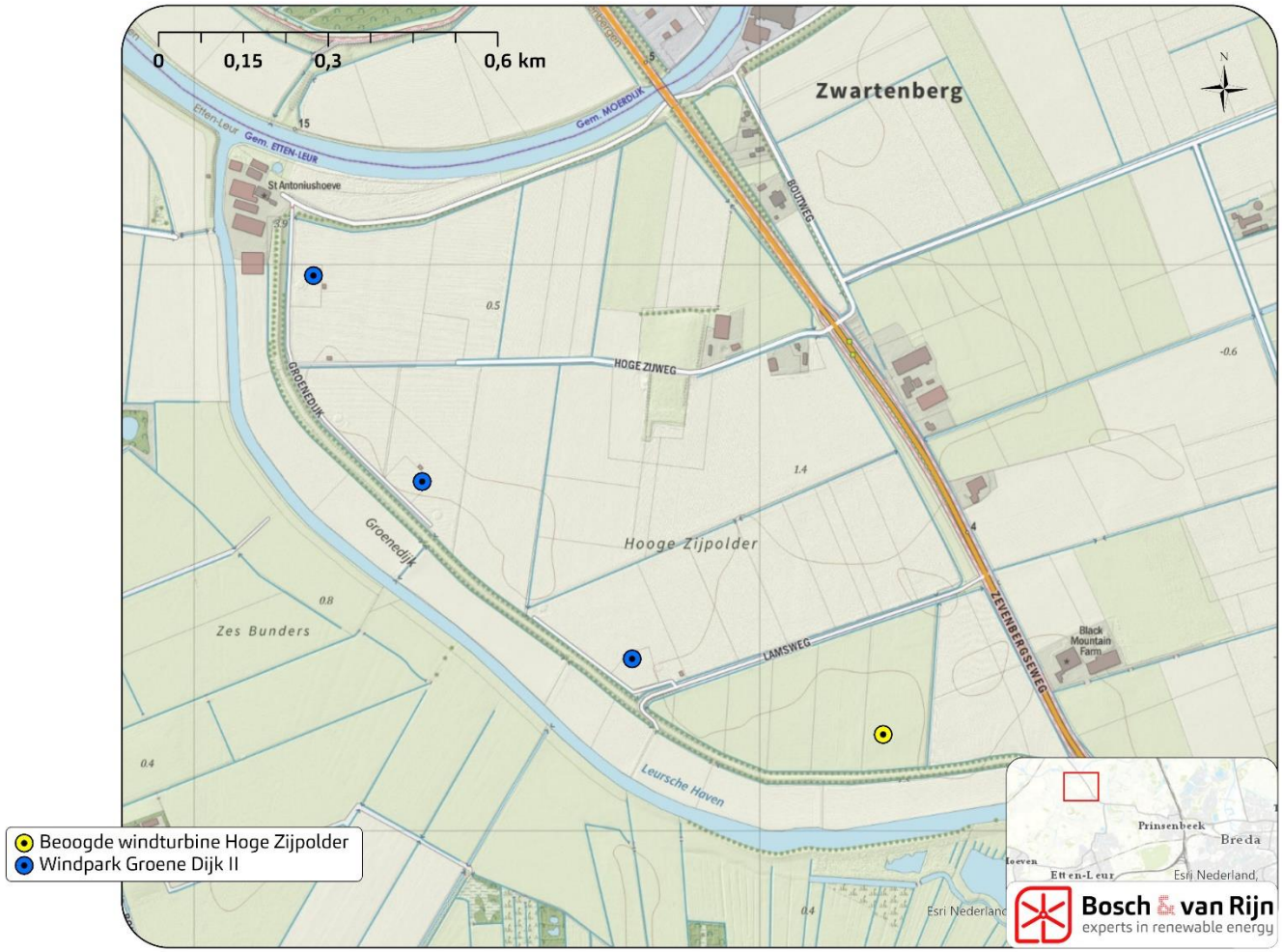
De vaarweg 'Leursche Haven' bevindt zich buiten de door Rijkswaterstaat gehanteerde afstand van een wieklengte + 30 meter. Hoewel deze vaarweg niet in beheer is van Rijkswaterstaat, mag verondersteld worden dat de afstandseis die Rijkswaterstaat ten aanzien van haar (drukkere) vaarwegen hanteert ook voor deze vaarweg afdoende zal zijn. Derhalve heeft de voorziene windturbine geen ontoelaatbare veiligheidseffecten op de vaarweg tot gevolg.

5.4 Regionale waterkeringen

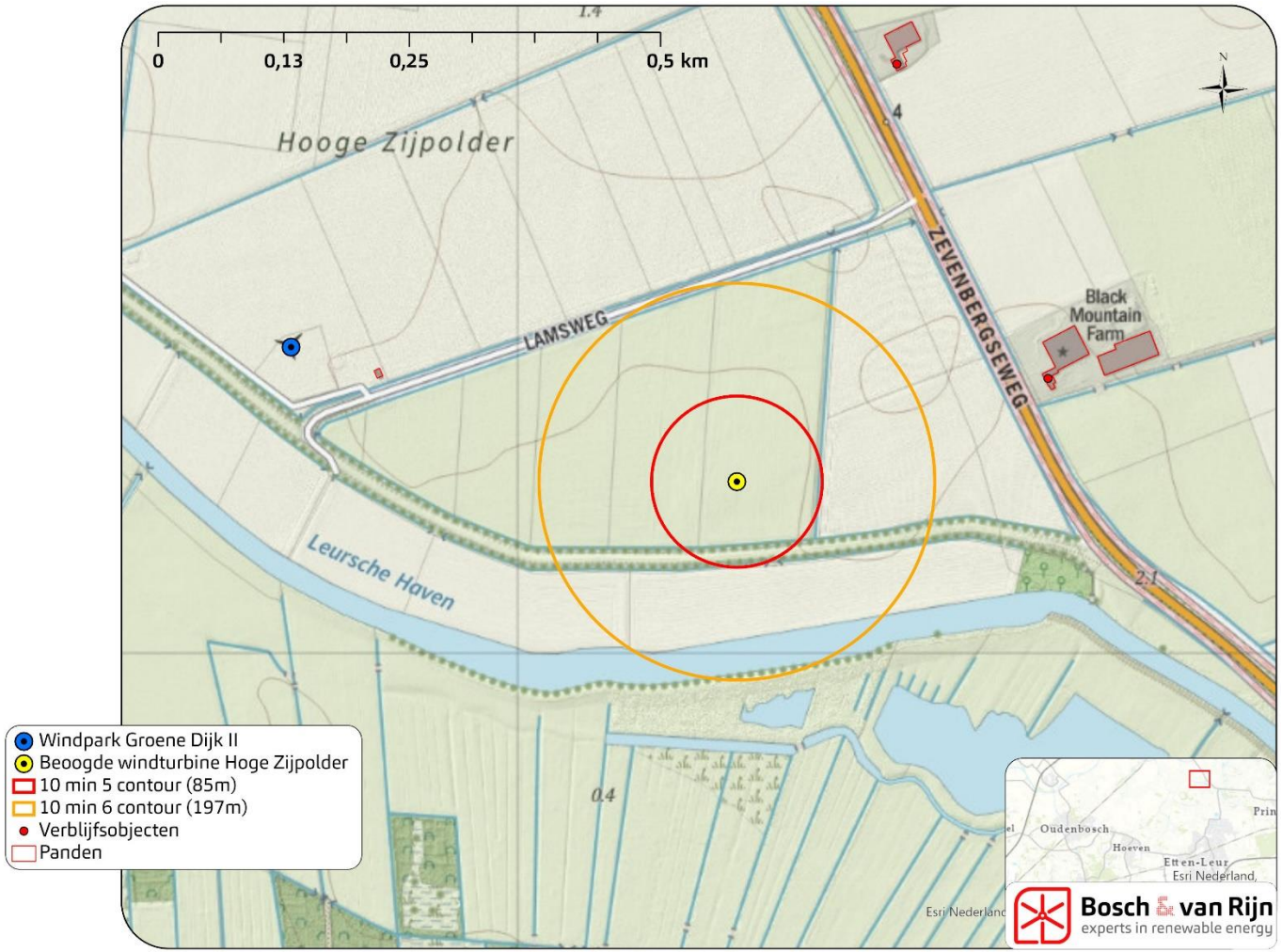
De voorziene windturbine zal buiten de beschermingszones van de regionale waterkering worden geplaatst. Dientengevolge hoeft geen watervergunning te worden aangevraagd en hoeven de externe veiligheidseffecten op de regionale waterkering niet getoetst te worden.

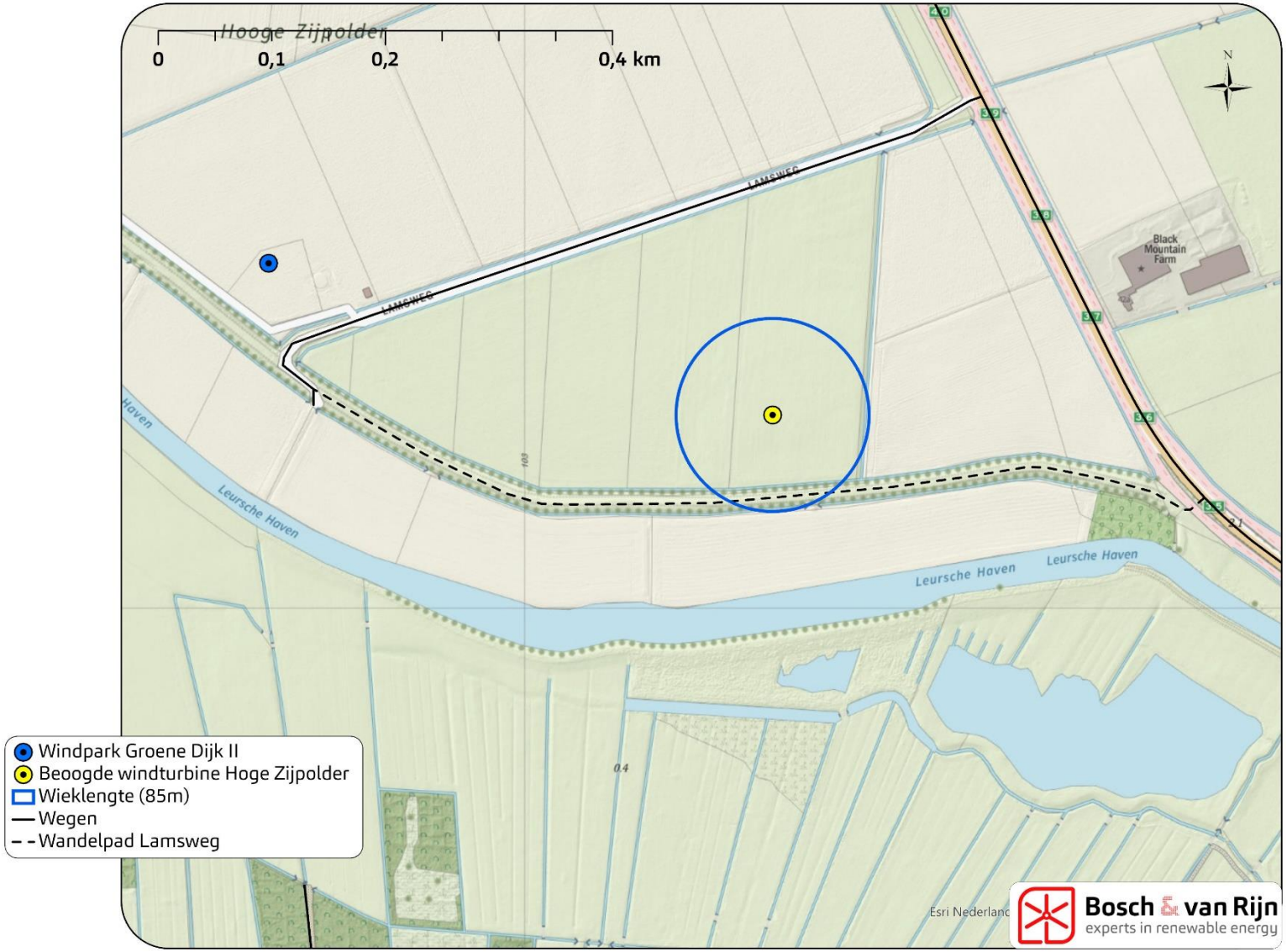
Hoofdstuk 6 Bijlagen

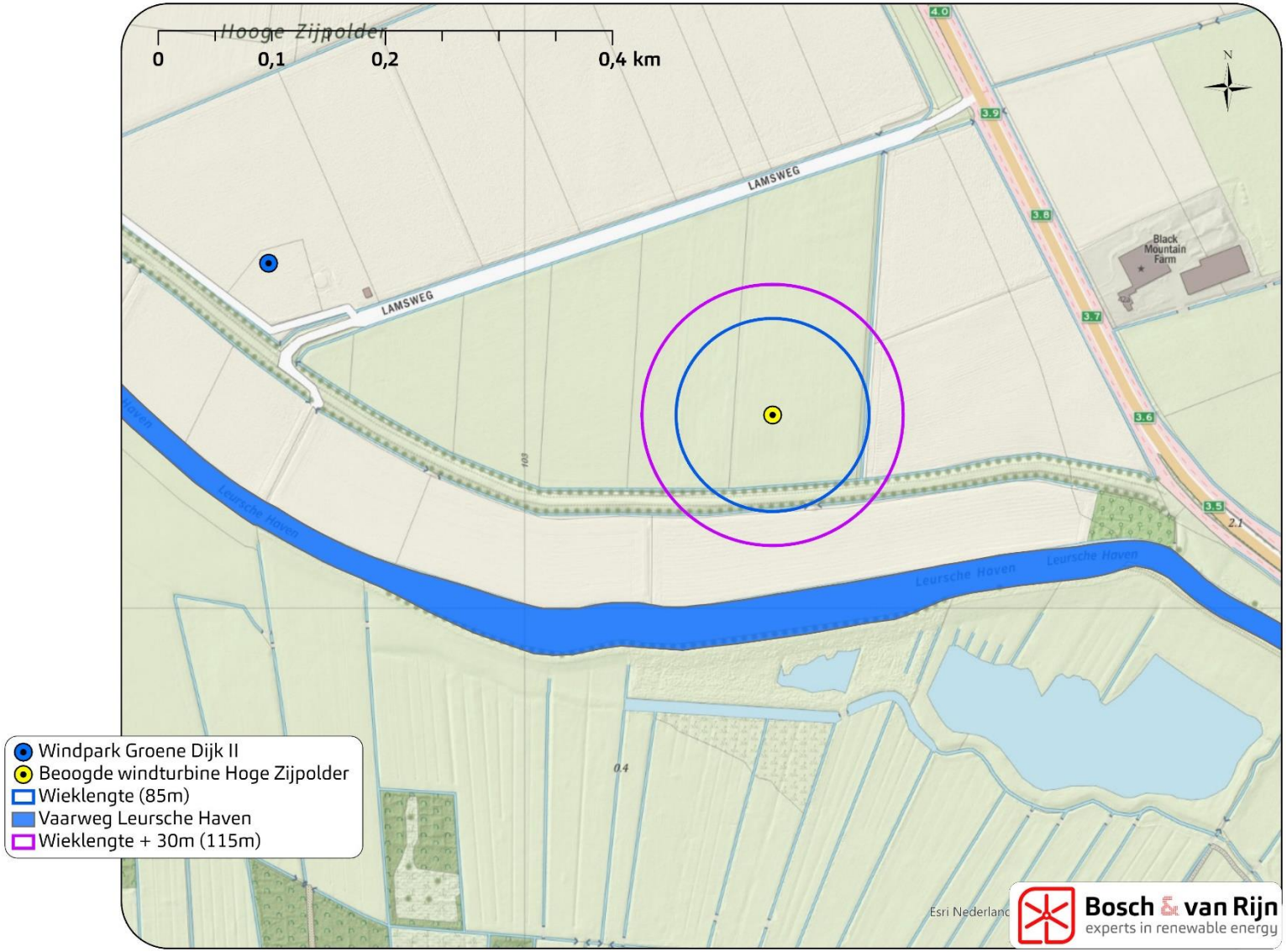
Bijlage A Onderzochte opstelling

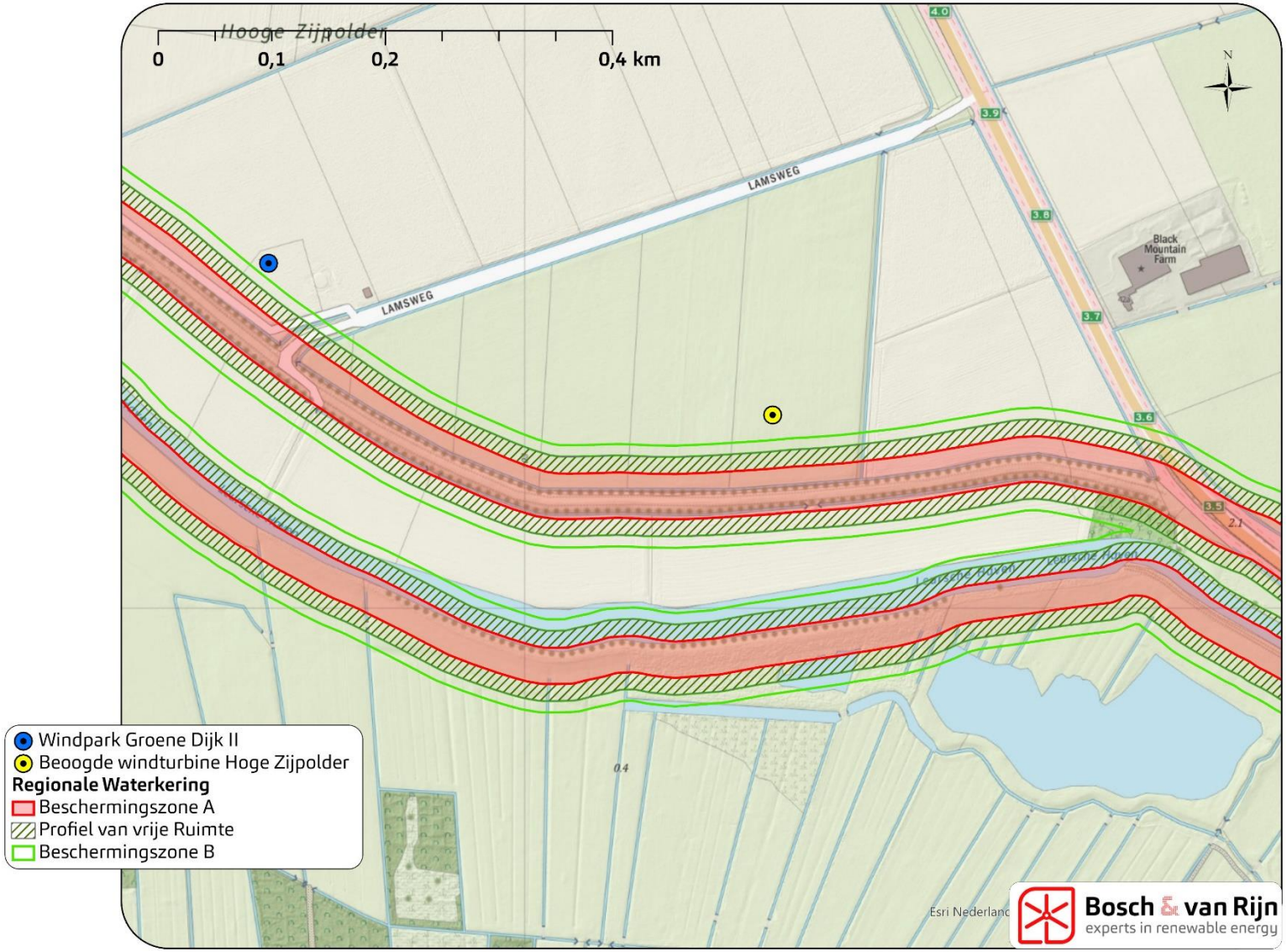


Bijlage B Risicocontouren en werpafstanden




Hooge Zijpolder
0
0,1
0,2
0,4 km
N
LAMSWEG
LAMSWEG
Black Mountain Farm
Leursche Haven
Leursche Haven
Leursche Haven
Leursche Haven
Windpark Groene Dijk II
Beoogde windturbine Hoge Zijpolder
Wieklengte (85m)
Wegen
Wandelpad Lamsweg
Esri Nederland
Bosch & van Rijn
experts in renewable energy


Hooge Zijpolder
0
0,1
0,2
0,4 km
N
LAMSWEG
LAMSWEG
Black Mountain Farm
Leursche Haven
Leursche Haven
Leursche Haven
Windpark Groene Dijk II
Beoogde windturbine Hoge Zijpolder
Wieklengte (85m)
Vaarweg Leursche Haven
Wieklengte + 30m (115m)
Esri Nederland
Bosch & van Rijn
experts in renewable energy


Hooge Zijpolder
0
0,1
0,2
0,4 km
N
LAMSWEG
LAMSWEG
Black Mountain Farm
4.0
3.9
3.8
3.7
3.6
3.5
2.1
0.4
Windpark Groene Dijk II
Beoogde windturbine Hoge Zijpolder
Regionale Waterkering
Beschermingszone A
Profiel van vrije Ruimte
Beschermingszone B
Esri Nederland
Bosch & van Rijn
experts in renewable energy

Bijlage C Berekening werpafstand

Uit: Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV - Windturbines (versie oktober 2020)

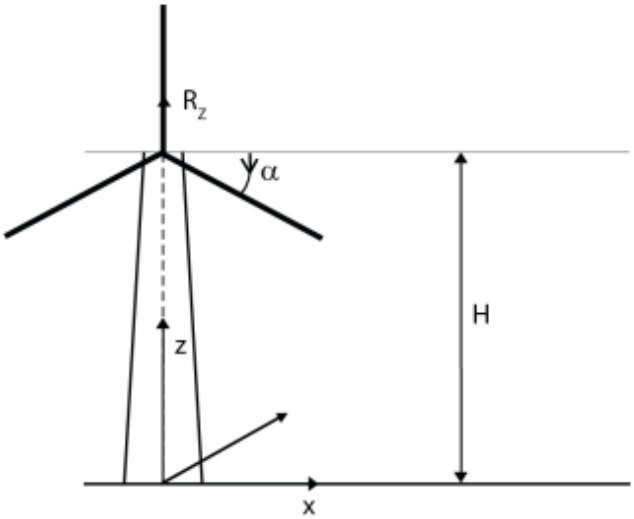
2.3.1 Ballistisch model zonder luchtkrachten

2.3.1.1 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]
a: azimuthoek [rad]
g: valversnelling (= 9,81 m/s^2).

Het gehanteerde assenstelsel en de draairichting wordt aangegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1: Overzicht parameters in ballistisch model.

De bewegingsvergelijking voor het zwaartepunt is nu:

$$\ddot{x}(t) = 0, \ddot{y}(t) = 0, \ddot{z}(t) = -g \qquad (2.5)$$

Met de beginvoorwaarden:

$$\begin{aligned} x(0) &= R_Z \cos\alpha\,, y(0) = 0, z(0) = H - R_z \sin\alpha, \\ \dot{x}(0) &= -\Omega R_z \sin\alpha\,, \dot{y}(0) = 0, \dot{z}(0) = -\Omega R_z \cos\alpha \end{aligned} \qquad (2.6)$$

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

$$\begin{aligned} x(t) &= R_z \cos\alpha - \Omega R_z t \sin\alpha \\ y(t) &= 0 \\ z(t) &= H - R_z \sin\alpha - \Omega R_z t \cos\alpha - \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \tag{2.7}$$

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

$$t_l = -\frac{\Omega R_z \cos\alpha}{g} + \sqrt{\frac{2}{g}\left(H - R_z \sin\alpha + \frac{\Omega^2 R_z^2 \cos^2\alpha}{2g}\right)} \tag{2.8}$$

Substitutie van (2.8) in (2.7) geeft voor een bepaald toerental de afgelegde afstand, *r*, als functie van de azimuthoek ten tijde van bladbreuk, ofwel:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = x = h(\alpha;\Omega) \tag{2.9}$$

De werpafstand *r* wordt voor een zeer groot aantal azimuthoeken van het rotorvlak (equidistant verdeeld) berekend. Vervolgens wordt het aantal gebeurtenissen waarbij het zwaartepunt binnen dezelfde eenheid van een meter afstand van de windturbine, bijvoorbeeld tussen 50 en 51 meter, terechtkomt opgeteld, het zogenaamde "binnen". Verder wordt verondersteld dat de positie van de windturbine, ten opzichte van het noorden, bij het optreden van bladbreuk indifferent is. Door vervolgens het aantal gebeurtenissen van bladbreuk in een "bin" van één meter te delen door het oppervlak van de bin, wordt de trefkans per m^2 bepaald.

2.3.1.2 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 d*r* op een afstand *r* van de turbine terechtkomt, is gegeven door:

$$\begin{aligned} f_R(r;\Omega)\mathrm{d}r &= P\{r < R < r + dr\} \\ &= P\{h^{-1}(r;\Omega) < \alpha < h^{-1}(r + \mathrm{d}r;\Omega)\} \\ &= F_A\left(h^{-1}(r + \mathrm{d}r;\Omega)\right) - F_A(h^{-1}(r;\Omega)) \end{aligned} \tag{2.10}$$

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:

$$f_{\mathrm{A}}(r) = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\alpha} F_{\mathrm{A}}(\alpha) = \frac{1}{2\pi}, 0 \leq \alpha \leq 2\pi \tag{2.11}$$

Geldt nu:

$$f_R(r;\Omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r} h^{-1}(r;\Omega) \tag{2.12}$$

Opmerking: *Om de gevolgde aanpak te demonstreren is bij bovenstaande afleiding verondersteld dat de functie h(α;Ω) 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:

$$f_{\mathrm{ZWPT}}(x, y; \Omega) = f_{\mathrm{ZWPT}}(r; \Omega) = \frac{1}{2\pi r} f_{\mathrm{R}}(r; \Omega) \tag{2.13}$$

Bijlage D Definities (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;

Bijlage E Resultaten berekening risicoafstanden in BladeThrow

BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering

BEDIENINGSPANEEL

Databestand:

REF WTB 170 115 .txt

Rekenmodel

- (•) Ballistisch
- ( ) Luchtkrach...

[ ] Gebruik mastverstevig...

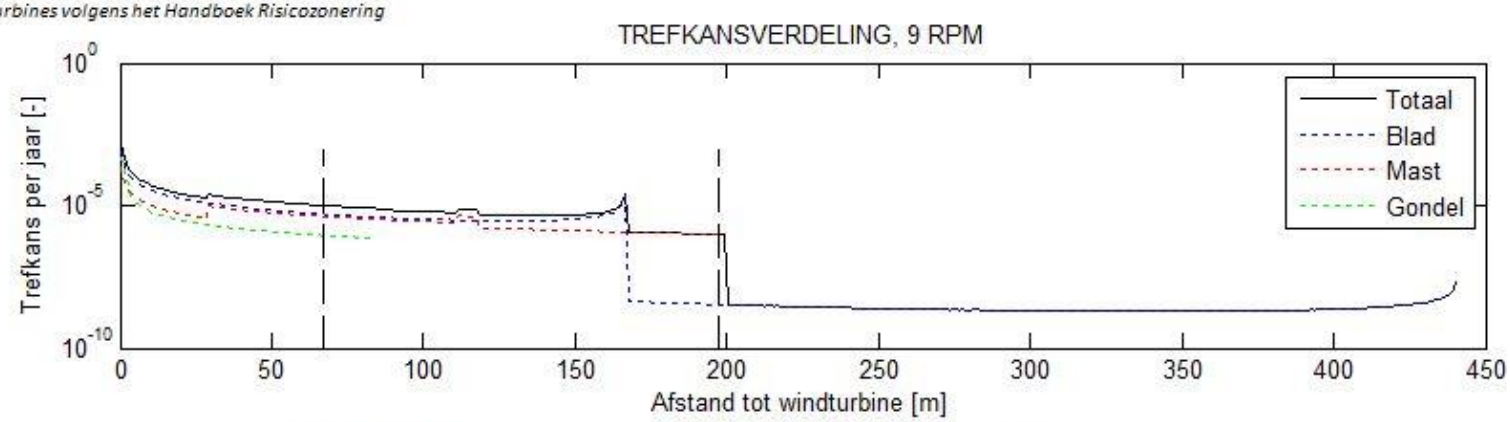
Bereken p_zwpt op:

0 m

0 m

Bereken

Copyright Bosch & Van Rijn, 2014



PARAMETERS

Rotordiameter	170	m
Ashoogte	115	m
Wieklengte	82.76	m
Toerental	9	RPM
Mastdiameter	5	m
Lengte gondel	15	m
Hoogte gondel	5	m
Zwaartepunt rotorblac	30.6	m
Solidity	0.05	-
Kritiek bladoppervlak	347.46	m^2
Massa blad	-	kg
Windsnelheid	-	m/s

RESULTATEN

Risicocontouren		
10-5	67	m
10-6	197	m
Werpafstanden		
Gegeven	167	m
Overtoeren	441	m
p_zwpt		
Afstand	237	m
Waard	5.1407e-12	
Afstand	238	m
Waard	5.0259e-12	

Bijlage F Shortlist doorgerekende windturbinetypes

Fabrikant	Type	Rotordiameter (m)	Ashoogte (m)	Tiphoogte (m)	10-5 contour (m)	10-6 contour (m)	Werpafstand bij nominaal toerental (m)	Werpafstand bij overtoeren (m)
Siemens Gamesa	SG 5.8-170	170	115	200	85	197	128	316
Nordex	N163	163	118,5	200	81,5	190	127	313
Vestas	V162	162	119	200	81	189	166	435
Enercon	E-160 EP5	160	120	200	80	187	132	324
GE	GE2.75-120	120	140	200	60	150	150	372
Siemens Gamesa	SWT4.3-120	120	140	200	60	156	156	391
Referentie	-	**170**	**115**	**200**	**85**	**197**	**167**	**441**

Bosch & van Rijn
experts in duurzame energie

Franz-Lisztplantsoen 220
3533 JG Utrecht
www.boschenvanrijn.nl