



**BOSCH & VAN RIJN**

Experts in duurzame energie en ruimte

# Risicoanalyse

Windpark Oostflakkee

VKA/Vergunning

# Risicoanalyse

## Windpark Oostflakkee

1 november 2016

### Auteurs

Drs. Ing. Jeroen Dooper  
Hans Kerkvliet MSc.

Bosch & Van Rijn  
Groenmarktstraat 56  
3521 AV Utrecht

Tel: 030-677 6466  
Mail: [info@boschenvanrijn.nl](mailto:info@boschenvanrijn.nl)  
Web: [www.boschenvanrijn.nl](http://www.boschenvanrijn.nl)

### © Bosch & Van Rijn 2016

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

---

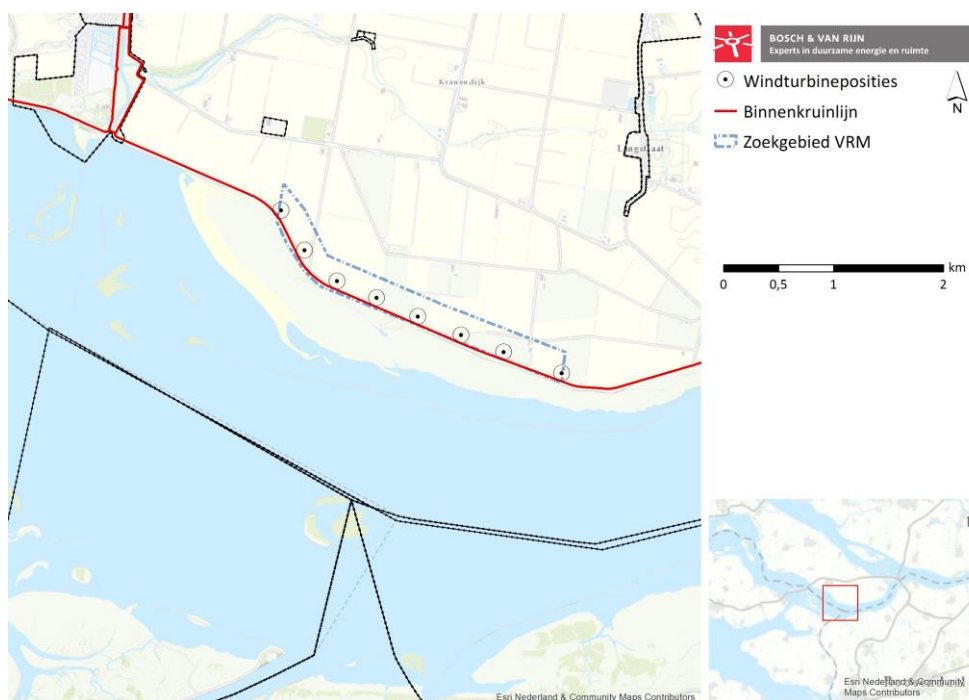
<b>Inhoudsopgave .....</b>	<b>2</b>
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>3</b>
1.1 Plangebied	3
1.2 Voorkeursalternatief	3
1.3 Leeswijzer	4
<b>2 Risico's windturbines .....</b>	<b>5</b>
2.1 Risico's van windturbine	5
<b>3 Beoordelingskader .....</b>	<b>6</b>
3.1 Waterkering	6
3.2 Gebouwen	6
3.3 Risicovolle installaties	6
3.4 Buisleidingen	7
3.5 Hoogspanningsleidingen	7
3.6 Infrastructuur	8
<b>4 Risicoanalyse .....</b>	<b>9</b>
4.1 Waterkering	9
4.1.1 Trefkansberekeningen	10
4.1.2 Trefkans Waterkering	13
4.2 Gebouwen	14
4.2.1 Bovengrens	14
4.2.2 Ondergrens	15
4.3 Risicovolle installaties	15
4.3.1 Bovengrens	16
4.3.2 Ondergrens	16
4.4 Buisleidingen	17
4.4.1 Bovengrens	17
4.4.2 Ondergrens	17
4.5 Hoogspanningsinfrastructuur	18
4.5.1 Bovengrens	18
4.5.2 Ondergrens	19
4.6 Infrastructuur	20
<b>5 Conclusie .....</b>	<b>21</b>
5.1 Waterkering	21
5.2 Gebouwen	21
5.3 Risicovolle inrichtingen (BEVI-inrichtingen)	21
5.4 Buisleidingen	21
5.5 Hoogspanningsinfrastructuur	21
5.6 Infrastructuur	22
<b>Bijlage A. Berekening werpafstand .....</b>	<b>23</b>
<b>Bijlage B. Werpafstanden windturbines .....</b>	<b>25</b>
<b>Bijlage C. Turbine opstelling .....</b>	<b>26</b>
<b>Bijlage D. Risicocontouren en werpafstanden .....</b>	<b>28</b>
<b>Bijlage E. (Beperkt) kwetsbare objecten .....</b>	<b>35</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Plangebied

Windpark Oostflakkee BV is voornemens om in het zoekgebied Anna Wilhelminapolder een windpark realiseren, zie onderstaand figuur voor het voorkeursalternatief (Bijlage C).



Figuur 1: Plangebied windpark Oostflakkee.

## 1.2 Voorkeursalternatief

Ten behoeve van de bestemmingsplanwijziging en de benodigde uitvoeringsbesluiten wordt een combi-MER opgesteld. Uit het MER komt een voorkeursalternatief op bandbreedten naar boven die in de komende paragrafen wordt onderzocht:

Tabel 1 - Beschrijving van de afmetingen en vermogensklassen van het voorkeursalternatief

	Ashoogte (±)	Rotordiameter (±)	Vermogen (±)	
<b>Voorkeursalternatief</b>			<b>per wtb</b>	<b>totaal</b>
Bovengrens - G132 – 8 wtbs	83,5m	132m	5,0 MW	40,0 MW
Ondergrens - N117 – 8 wtbs	91m	117m	3,0 MW	24,0 MW



### **1.3 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 de verschillende locaties. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies waarin de berekende waarden worden getoetst aan het in hoofdstuk 3 beschreven toetsingskader.



## 2 Risico's windturbines

### 2.1 Risico's van windturbine

De risico's van een windturbine worden gevormd door 3 typen falen:

1. het afbreken van (een gedeelte van) een windturbineblad;
2. het omvallen van een windturbine door mastbreuk;
3. 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. Hier 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 wielengte.

Op basis van generieke faalfrequenties (bijlage A, HRW 2014), het kogelbaanmodel (zie bijlage 1. Bron: bijlage C, HRW 2014) en de parameters van de specifieke windturbintypes zijn de werpafstanden en risicocontouren berekend. In Bijlage A staat de gehanteerde formules gegeven en Bijlage B bevat per windturbintype een printscreen van de resultaten. Hieruit volgen de volgende afstanden:

Wtb type	Ashoogte (meter)	Risicocontouren		Max. werpafstand	
		10 <sup>-5</sup> (meter)	10 <sup>-6</sup> (meter)	Nom. toerental (meter)	Overtoeren (meter)
N117	91	58,5	145	145	395
G132	132	66	152	152	428

De windturbines kunnen een risico verhogend effect hebben op nabijgelegen gebouwen, installaties en infrastructuur. In onderstaand document wordt ingegaan op de volgende onderwerpen:

- Waterkering
- Gebouwen
- Risicovolle installaties
- Buisleidingen
- Hoogspanningsinfrastructuur
- Infrastructuur



## 3 Beoordelingskader

---

### 3.1 Waterkering

Voor Windpark Oostflakkee is in navolging van de Waterwet een Watervergunning benodigd, omdat de windturbinelocaties boven de beschermingszone van de waterkering gepland zijn. Het bevoegd gezag in dezen is Waterschap Hollandse Delta.

Aan de hand van de uitgevoerde risicoanalyse is beoordeeld welk risico de geplande windturbines vormen voor de waterkerende functie van de aanwezige primaire waterkering, indien er sprake is van het falen van een windturbine of windturbineonderdeel.

Door middel van een kwantitatieve analyse is de trefkans voor de dijk berekend ten gevolge van het plaatsen van de windturbines.

De nabijgelegen waterkering maakt onderdeel uit van de dijkkring 25: Goeree-Overflakkee<sup>1</sup>. Voor deze dijk geldt een veiligheidsnorm van 1/4000 jaar<sup>2</sup>.

### 3.2 Gebouwen

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

- 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<sup>-6</sup> per jaar**.
- 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<sup>-5</sup> per jaar**.

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

Op de 10<sup>-6</sup> 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<sup>-5</sup> contour is deze kans één keer in de honderdduizend jaar.

### 3.3 Risicovolle installaties

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

---

<sup>1</sup> Waterwet, Bijlage I 'Dijkringen en primaire waterkeringen als bedoeld in artikel 1.3, eerste lid.

<sup>2</sup> Waterwet, Bijlage !!



het Handboek Risicozonering Windturbines<sup>3</sup> 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:

- *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.*

### 3.4 Buisleidingen

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.*

### 3.5 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.

---

<sup>3</sup> Handboek Risicozonering Windturbines, 2014.





### 3.6 Infrastructuur

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 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**

*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-grootgevolg'-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."*





Onderstaande tabel bevat voor het voorkeursalternatief de afstand tussen de windturbines en de binnenkruinlijn.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Voorkeursalternatief	62	80	75	78	69	71	69	71

#### 4.1.1

##### *Trefkansberekeningen*

###### ***Kritische strook***

Als kritische strook is een 20 meter brede strook ten opzichte van de kruin van de waterkering aangenomen (10 meter aan beide zijde t.o.v. de kruin-as). De ratio achter de 20 meter is dat hiermee ten minste het functionele deel van de kruin wordt opgevangen.

###### ***Restprofiel***

Indien er sprake is van een restprofiel, betekent het dat het aanwezige restprofiel nog een bepaalde waterstand kan keren. Er is in dat geval sprake van een zogenaamde responstijd tot herstel, zolang er voor of tijdens dit herstel geen waterstand optreedt tot boven het niveau van het restprofiel. Er is dus sprake van een gebeurtenis (deelkans) welke gelijktijdig met het falen van een windturbine of windturbineonderdeel dient op te treden. Dit betreft de kans dat op het moment van falen van een windturbine of windturbineonderdeel er ook, voor of tijdens het herstellen, een waterstand optreedt welke hoger is dan het aanwezige restprofiel kan keren. Het is aannemelijk dat indien één van de faalscenario's optreedt er sprake is van een restprofiel, welke nog een bepaalde waterstand kan keren.

Als aanname is genomen dat het aanwezige restprofiel niet meer een waterstand kan keren, welke optreedt in het geval van een "lichte storm". De kans op optreden van een "lichte storm" is aangenomen op 5 keer per jaar. Voor de stormduur wordt uitgegaan van 35 uur. Hedendaagse windturbines worden door middel van een SCADA systeem 24 uur per dag gemonitord. Gangbaar is dat een windturbine zich in ieder geval één keer per 24 uur meldt. Een detectietijd van 24 uur is daarom aannemelijk. De hersteltijd voor de ontstane schade aan de waterkering is geschat op 5 dagen (5x24 = 120 uur).

De kans dat er een "lichte storm" optreedt tijdens de hersteltijd is:

**P(niet te keren storm tijdens herstel) = 5 lichte stormen per jaar x (35 uur / 8760 uur per jaar) + 5 lichte stormen per jaar x (24 uur / 8760 uur per jaar) + 5 lichte stormen per jaar x (120 uur / 8760 uur per jaar) = 0,1 per jaar.**

###### ***Trefsector***

Ten behoeve van de risicoanalyse is per windturbinelocatie en faalscenario de trefsector bepaald. De trefsector betreft het gebied waar een falende windturbine of windturbineonderdeel kan neerkomen en daarbij een schade kan veroorzaken, welke een mogelijk risico vormt voor de waterkerende functie van de waterkering. Het afbreken van een windturbineblad vormt een risico binnen de straal van de maximale werpafstand. 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 wiel lengte. Hiermee resulteren de scenario's wiekbreuk, mastbreuk en gondelafval in een risicoverhoging op de waterkering.



### **Wiekbreuk**

De schade die een neerkomend rotorblad veroorzaakt is onder meer sterk afhankelijk van de wijze van neerkomen. Afhankelijk van de impacthoek kan een blad versplinteren en/of afketsen. De meest significante schade wordt veroorzaakt als de flens (verbinding tussen het rotorblad en de rotor) van een rotorblad onder een bepaalde hoek inslaat (uitgaande van de worst case afworp bij een overtoeren situatie). De overige situaties zorgen voor een lagere impactschade. De worst case hoek van inslag met het verticaal is kleiner dan **45 graden**. De ratio achter deze 45 graden is dat bij een zanddijk met een kleibekleding, theoretisch bij een hoek van inwendige wrijving van 30 graden voor het zand en een hoek van inval met de verticaal van 30 graden er geen indringing zou zijn en er horizontale afschuiving plaatsvindt. Er zou dus uit kunnen worden gegaan van 30 graden. Echter zou deze aanname voor de deklaag een niet-conservatieve aanname zijn. Daarom wordt als aanname aangehouden, dat bij een hoek van inslag met het verticaal groter dan 45 graden er een geringe indringing optreedt. Het rotorblad zal met een grotere impactoppervlakte inslaan en zal dan afketsen en/of vervormen en/of deels verbrijzelen, waardoor er een grotere energie opname zal optreden en de impactschade kleiner is.

Voorgaande geeft een: **P(flens naar beneden) =  $2 \times 45^\circ / 360^\circ = 0,25$**

Het scenario wiekbreuk resulteert in een trefkans binnen de maximale werpafstand bij overtoeren. Op basis van generieke faalfrequenties (bijlage A, Handboek Risicozonering Windturbines (HRW), 2014), het kogelbaanmodel (zie bijlage 1. Bron: bijlage C, HRW 2014) en de windturbine specifieke kenmerken) is de maximale werpafstand bij nominaal toerental en overtoeren berekend (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**)

Om de trefkans van de kritische strook te berekenen wordt uitgegaan van het percentuele oppervlakte van de kritische strook binnen de werpafstand bij overtoeren. Dit percentage wordt vermenigvuldigd met de kans dat de windturbine inslaat met een hoek van 45 graden of minder en met de kans dat het restprofiel overstroomt. De uitkomst van deze berekening wordt weer vermenigvuldigd met de kans op wiekbreuk waarbij er een specificatie wordt gemaakt voor de kans op wiekbreuk binnen de werpafstand bij nominaal toerental en overtoeren. Voor het oppervlakte binnen de werpafstand wordt er een kans op wiekbreuk gehanteerd van  $8,4 \times 10^{-4}$  en voor het oppervlakte binnen de werpafstand bij overtoeren wordt er een kans op wiekbreuk gehanteerd van  $5,0 \times 10^{-6}$ .

Doordat er verschillen zitten in de afstand van de windturbines tot de dijk is de trefkans berekend voor drie verschillende afstanden (62 meter, 69 meter en 80 meter). Deze afstanden zijn representatief voor de opstelling, maar ook tevens conservatief.

Voor de ondergrens geldt dat het toepassen van bovenstaande methodiek resulteert in de volgende trefkansen voor de dijk als gevolg van wiekbreuk:

Afstand 62 meter (WT 1):	$1,10 \times 10^{-6}$ per jaar per windturbine
Afstand 69 meter (WT 3 t/m 8):	$1,07 \times 10^{-6}$ per jaar per windturbine
Afstand 80 meter (WT 2):	$1,01 \times 10^{-6}$ per jaar per windturbine

Voor de bovengrens geldt dat het toepassen van bovenstaande methodiek resulteert in de volgende trefkansen voor de dijk als gevolg van wiekbreuk:

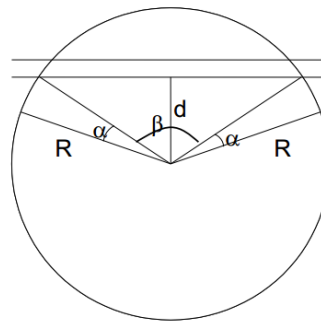
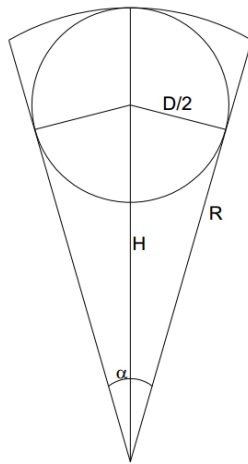
Afstand 62 meter (WT 1):	$9,65 \times 10^{-7}$ per jaar per windturbine
Afstand 69 meter (WT 3 t/m 8):	$9,42 \times 10^{-7}$ per jaar per windturbine



Afstand 80 meter (WT 2):  $9,00 \cdot 10^{-7}$  per jaar per windturbine

### **Mastbreuk**

De reikwijdte van mastbreuk wordt bepaald door de masthoogte en de stand van de turbinebladen op het moment dat de grond wordt geraakt. De kans dat de kritische strook wordt getroffen door een onderdeel van een omvallende windturbine wordt tegelijk verondersteld aan de kans dat een gedeelte van onderstaand cirkelsegment (Figuur 2) in aanraking komt met de kritische strook, hetgeen is geïllustreerd in figuur 3 (Handboek Risicozonering Windturbines, 2014).



**Figuur 4: Windturbine gemodelleerd als cirkelsegment.**

**Figuur 3: Turbine in aanraking met leidingstrook.**

Voor de ondergrens worden voor drie verschillende afstanden de trefkans als gevolg door mastbreuk berekend. De kans dat de kritische strook wordt geraakt wanneer het scenario mastbreuk zich voordoet bij de ondergrens is:

Afstand 62 meter (WT 1):	49% (176 graden / 360 graden)
Afstand 69 meter (WT 3 t/m 8):	47% (170 graden / 360 graden)
Afstand 80 meter (WT 2):	45% (160 graden / 360 graden)

De kans dat het scenario zich voordoet en de kritische strook wordt geraakt is:

Afstand 62 meter (WT 1):	$49\% \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} = 6,37 \cdot 10^{-5}$ /jaar/windturbine
Afstand 69 meter (WT 3 t/m 8):	$47\% \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} = 6,11 \cdot 10^{-5}$ /jaar/windturbine
Afstand 80 meter (WT 2):	$45\% \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} = 5,85 \cdot 10^{-5}$ /jaar/windturbine

Rekening houdend met het restprofiel (0,1) komt de kans op falen van de dijk als gevolg van mastbreuk op:

Afstand 62 meter (WT 1):	$6,37 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1 = 6,37 \cdot 10^{-6}$ /jaar/windturbine
Afstand 69 meter (WT 3 t/m 8):	$6,11 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1 = 6,11 \cdot 10^{-6}$ /jaar/windturbine
Afstand 80 meter (WT 2):	$5,85 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1 = 5,85 \cdot 10^{-6}$ /jaar/windturbine

Voor de bovengrens worden ook voor drie verschillende afstanden de trefkans als gevolg door mastbreuk berekend. De kans dat de kritische strook wordt geraakt wanneer het scenario mastbreuk zich voordoet bij de bovengrens is:



Afstand 62 meter (WT 1):	51% (182 graden / 360 graden)
Afstand 69 meter (WT 3 t/m 8):	49% (176 graden / 360 graden)
Afstand 80 meter (WT 2):	46% (166 graden / 360 graden)

De kans dat het scenario zich voordoet en de kritische strook wordt geraakt is:

Afstand 62 meter (WT 1):	$49\% * 1,3 * 10^{-4} = 6,58 * 10^{-5}$ /jaar/windturbine
Afstand 69 meter (WT 3 t/m 8):	$49\% * 1,3 * 10^{-4} = 6,36 * 10^{-5}$ /jaar/windturbine
Afstand 80 meter (WT 2):	$46\% * 1,3 * 10^{-4} = 6,01 * 10^{-5}$ /jaar/windturbine

Rekening houdend met het restprofiel (0,1) komt de kans op falen van de dijk als gevolg van mastbreuk op:

Afstand 62 meter (WT 1):	$6,58 * 10^{-5} * 0,1 = 6,58 * 10^{-6}$ /jaar/windturbine
Afstand 69 meter (WT 3 t/m 8):	$6,36 * 10^{-5} * 0,1 = 6,36 * 10^{-6}$ /jaar/windturbine
Afstand 80 meter (WT 2):	$6,01 * 10^{-5} * 0,1 = 6,01 * 10^{-6}$ /jaar/windturbine

### ***Gondelafworp***

Voor het berekenen van de faalkans 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 dijk gelijk aan de kans dat het scenario zich voordoet:  $4,0 * 10^{-5}$ . Indien er rekening wordt gehouden met het restprofiel (0,1) komt de kans op falen van de dijk als gevolg van gondelafworp op  $4,0 * 10^{-6}$ .

Bij de ondergrens kan het scenario Gondelafworp optreden bij 1 van de 8 windturbines.

Bij de bovengrens kan het scenario Gondelafworp optreden bij 6 van de 8 windturbines.

#### **4.1.2 Trefkans Waterkering**

Uit de bovenstaande berekeningen blijkt de volgende trefkans waarbij de waterkerende functie faalt als gevolg van de falende windturbine:

Bovengrens (G132):  $8,20 * 10^{-5}$  per jaar ( $7,50 * 10^{-6}$  (wiekbreuk) +  $5,10 * 10^{-5}$  (mastbreuk) +  $2,40 * 10^{-5}$  (gondelafworp)).  
Ondergrens (N117):  $6,14 * 10^{-5}$  per jaar ( $8,53 * 10^{-6}$  (wiekbreuk) +  $4,89 * 10^{-5}$  (mastbreuk) +  $4,00 * 10^{-6}$  (gondelafworp)).





## 4.2 Gebouwen

De berekende  $10^{-5}$  en  $10^{-6}$  contouren zijn weergegeven op de kaart. Voor de locatie is nagegaan of kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten aanwezig zijn. Voor de gebouwen binnen de  $10^{-6}$  is nagegaan of sprake is van een kwetsbaar object op basis van luchtfoto's en [www.risicokaart.nl](http://www.risicokaart.nl). In Bijlage D zijn de risicocontouren en werpafstanden van de boven- en ondergrens te vinden.

### 4.2.1 Bovengrens



**Figuur 5 – Risicocontouren rond de windturbines Bovengrens**

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



#### 4.2.2 Ondergrens



**Figuur 6 – Risicocontouren rond de windturbines Ondergrens**

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

#### 4.3 Risicovolle installaties

De berekende maximale werpafstanden (bij overtoeren zijn ingetekend op de kaart en per locatie is nagegaan of er zich risicovolle installaties binnen deze maximale werpafstanden bevinden.





#### 4.3.1 Bovengrens



**Figuur 7 – Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties Bovengrens**

Uit bovenstaande figuur is te concluderen dat geen risicovolle installaties zich bevinden binnen de werpafstand bij overtoeren.

#### 4.3.2 Ondergrens

Uit onderstaande figuur is te concluderen dat geen risicovolle installaties zich bevinden binnen de werpafstand bij overtoeren.



**Figuur 8 – Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties Ondergrens**



## 4.4 Buisleidingen

De berekende maximale werpafstanden (bij nominaal toerental en overtoeren) zijn ingetekend op de kaart en voor de locatie is nagegaan of binnen de werpafstand bij nominaal toerental buisleidingen aanwezig zijn.

### 4.4.1 Bovengrens

Uit onderstaande figuur is te concluderen dat geen buisleidingen zich bevinden binnen de werpafstand bij nominaal toerental.



Figuur 9 – maximale werpafstand bij nominaal toerental en overtoeren van de windturbines en buisleidingen Bovengrens.

### 4.4.2 Ondergrens

Uit onderstaande figuur is te concluderen dat geen buisleidingen zich bevinden binnen de werpafstand bij nominaal toerental.



**Figuur 10 – Maximale werpafstanden bij nominaal toerental en onvtoeren van de windturbines en buisleidingen Ondergrens.**

## 4.5 Hoogspanningsinfrastructuur

Voor de locatie is gekeken of zich hoogspanningsinfrastructuur in de buurt van de windturbines bevindt. Indien dit het geval is wordt er gekeken of er wordt voldaan aan de afstandseis van TenneT (Maximale werpafstand bij nominaal toerental)

### 4.5.1 Bovengrens

Uit onderstaande figuur is te concluderen dat geen hoogspanningsleiding is gelegen binnen de maximale werpafstand bij nominaal toerental. Er zijn derhalve geen aandachtspunten.





**Figuur 11 – Maximale werpafstand bij nominaal toerental en overtoeren van de windturbines en hoogspanningsleidingen.**

#### 4.5.2

#### Ondergrens



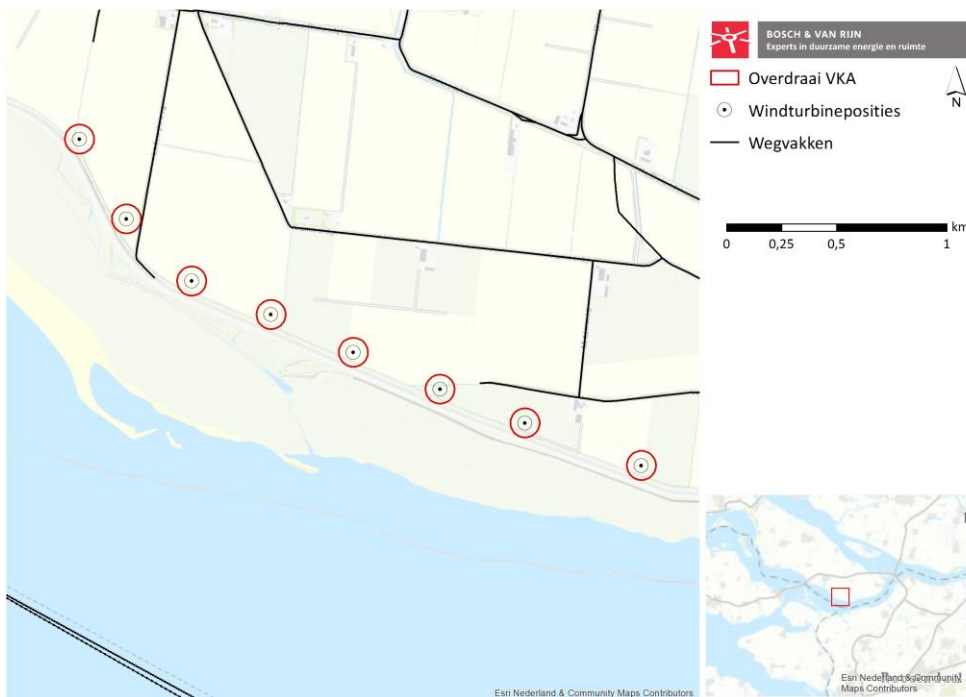
**Figuur 12 – Maximale werpafstand bij nominaal toerental en overtoeren van de windturbines en hoogspanningsleidingen.**

Uit bovenstaande figuur is te concluderen dat geen hoogspanningsinfrastructuur is gelegen binnen de maximale werpafstand bij nominaal toerental. Er zijn derhalve geen aandachtspunten.



## 4.6 Infrastructuur

Voor de locatie is er nagegaan of een windturbine over een openbare weg draait en of voldoende afstand wordt gehanteerd ten opzichte van vaar- en spoorwegen. Wanneer een windturbine overdraait of wanneer niet wordt voldaan aan de afstandseis voor vaar- en spoorwegen zal de kans berekend worden dat een persoon wordt geraakt door een afgebroken wijk, mast en/of gondel. Eerst is alleen de bovengrens geanalyseerd, gezien het feit dat wanneer er wordt voldaan aan de richtlijnen door de bovengrens, dit automatisch ook geldt voor de ondergrens.



**Figuur 13 – Overdraai windturbines**

Uit bovenstaande figuur blijkt dat er *geen* overdraai over (openbare) infrastructuur plaatsvindt door de turbines. Tevens blijkt uit onderstaande figuur dat er voldoende afstand is tussen spoor- en vaarwegen en de windturbines. Hierdoor is voor alle drie de aspecten geen kwantitatief onderzoek nodig, aangezien er wordt voldaan aan de richtlijnen.



## 5 Conclusie

---

### 5.1 Waterkering

Op basis van de trefkansberekeningen uit paragraaf 4.1 blijkt dat de waterkerende functie van de primaire waterkering kan falen als gevolg van de falende windturbine.

Voor de bovengrens van de bandbreedte (Gamese G132) is de kans dat de waterkerende functie van de primaire waterkering faalt als gevolg van de falende windturbine  $8,20 \cdot 10^{-5}$  per jaar ( $7,50 \cdot 10^{-6} + 5,10 \cdot 10^{-5} + 2,40 \cdot 10^{-5}$ ).

Voor de ondergrens van de bandbreedte is de kans dat de waterkerende functie van de primaire waterkering faalt als gevolg van de falende windturbine  $6,14 \cdot 10^{-5}$  per jaar ( $8,53 \cdot 10^{-6} + 4,89 \cdot 10^{-5} + 4,00 \cdot 10^{-6}$ ).

### 5.2 Gebouwen

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

### 5.3 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 risicobeoordeling, toelaatbaar. Op grond van het Handboek Risicozonering Windturbines wordt een richtwaarde of toetsingswaarde gehanteerd van 10%.

Doordat er zich geen risicovolle installaties zich bevinden binnen de invloedssfeer van de windturbines leidt de plaatsing van de windturbines niet tot een toename van de initiële faalkans van deze installaties.

### 5.4 Buisleidingen

De buisleiding van Gasunie en leiding 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.

### 5.5 Hoogspanningsinfrastructuur

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



## 5.6 Infrastructuur

Uit de analyse uit paragraaf 4.6 blijkt dat de windturbines niet overdraaien op open wegen, vaar- en/of spoorwegen. Hiermee wordt er voldaan aan de beleidsregels "*Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen – Beoordeling van veiligheidsrisico's*" en "*Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over Rijkswaterstaatwerken*".



## Bijlage A. 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]

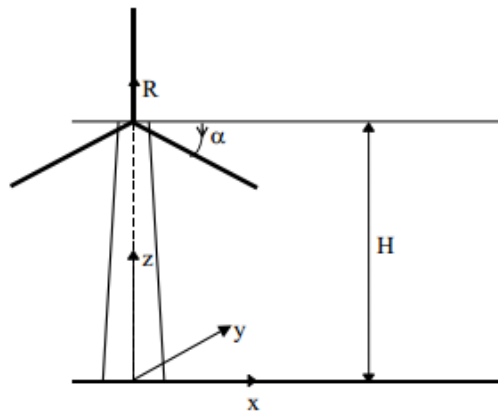
$\Omega$  : toerental van de rotor [rad/s]

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

$\alpha$  : azimuthhoek [rad]

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

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



Figuur 1: Overzicht parameters in ballistisch model

De bewegingsvergelijking voor het zwaartepunt is nu

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

Met de beginvoorwaarden

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

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

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





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

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

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

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

### 2.1.2 Verdelingsfuncties

De kansverdelingsfunctie  $f_{ZWP}$  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 azimuthhoek 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 azimuthhoek waarbij bladbreuk optreedt. Met de aanname dat de azimuthhoek 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 gevolgdde aanpak te demonstreren is bij bovenstaande afleiding verondersteld dat de functie  $h(\alpha; \Omega)$  inverteerbaar is. In het geval van bladbreuk zal dit niet zo zijn, want in het algemeen zal het zwaartepunt vanuit twee verschillende azimuthhoeken op een bepaalde plek terecht kunnen komen, via de hoge baan of via de lage baan. Bij de numerieke uitwerking zal hiermee rekening moeten worden gehouden.

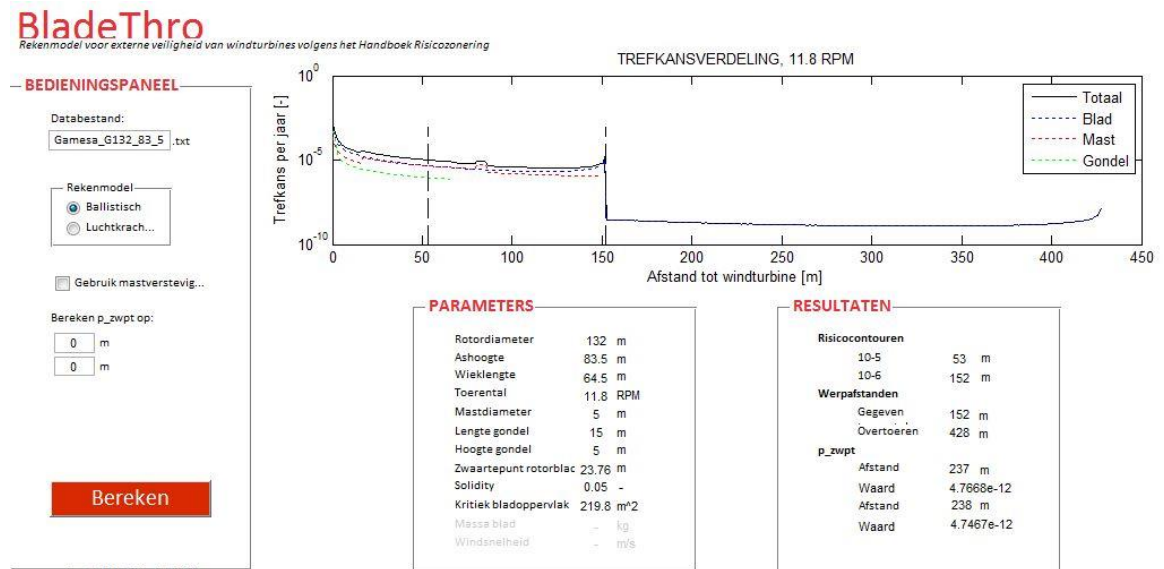
De kansverdelingsfunctie van de positie waar het zwaartepunt van het blad zal inslaan is nu

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

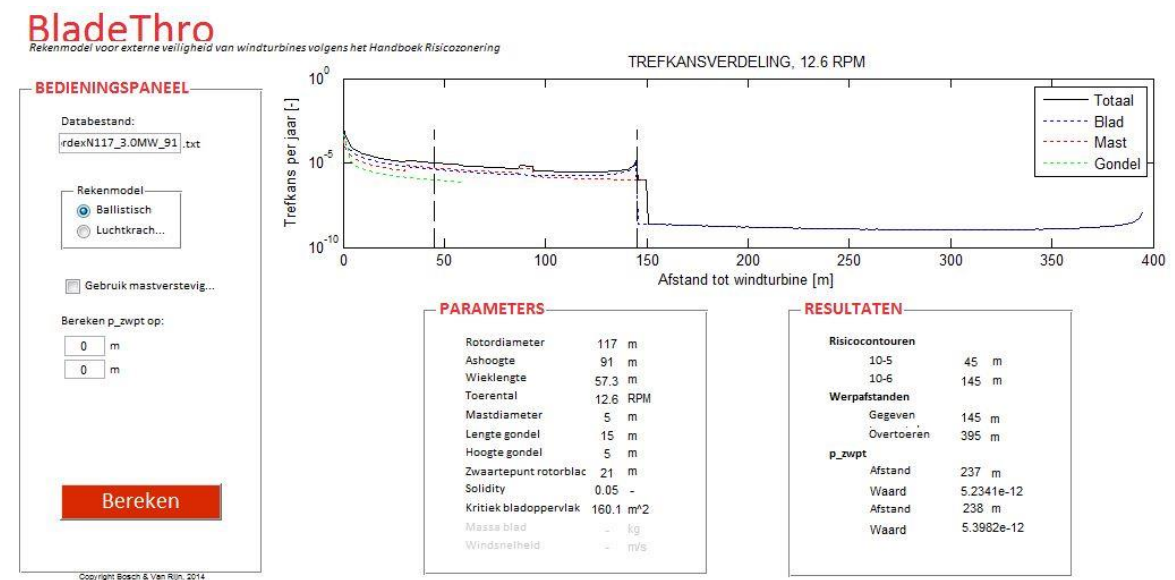


## Bijlage B. Werpafstanden windturbines

### Gamesa G132 op 83,5 meter ashoogte



### Nordex N117-3MW op 91 meter ashoogte








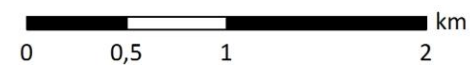
## Bijlage C. Turbine opstelling

---



 **BOSCH & VAN RIJN**  
Experts in duurzame energie en ruimte

-  Windturbineposities
-  Binnenkruinlijn
-  Zoekgebied VRM



Esri Nederland & Community Maps Contributors

Esri Nederland & Community  
Maps Contributors

**Figuur 14 – Beoogde opstelling Windpark Oostflakkee**



## Bijlage D. Risicocontouren en werpafstanden

---





**BOSCH & VAN RIJN**  
Experts in duurzame energie en ruimte

- Windturbineposities
- 10 min 5 Bovengrens
- 10 min 6 Bovengrens



Esri Nederland & Community Maps Contributors

Esri Nederland & Community  
Maps Contributors

**Figuur 15 – Risicocontouren Bovengrens**



BOSCH & VAN RIJN  
Experts in duurzame energie en ruimte

- Windturbineposities
- 10 min 5 Ondergrens
- 10 min 6 Ondergrens



0 0,5 1 km



Figuur 16 – Risicocontouren Ondergrens

Esri Nederland & Community Maps Contributors

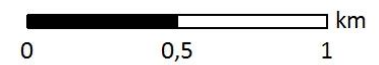
Esri Nederland & Community  
Maps Contributors





 **BOSCH & VAN RIJN**  
Experts in duurzame energie en ruimte

-  Windturbineposities
-  Werpafstand nominaal toerental Bovengrens
-  Bovengrens Werpafstand bij overtoeren



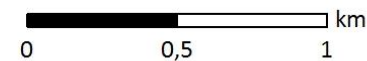
Figuur 17 – Werpafstand bij nominaal toerental en overtoeren Bovengrens





**BOSCH & VAN RIJN**  
Experts in duurzame energie en ruimte

- Windturbineposities
- Werpafstand bij nominaal toerental
- Werpafstand bij overtoeren Ondergrens

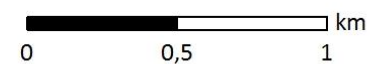


Figuur 18 – Werpafstand bij nominaal toerental en overtoeren Ondergrens



BOSCH & VAN RIJN  
Experts in duurzame energie en ruimte

- Windturbineposities
- ▲ Risicovolle installaties
- Bovengrens Werpafstand bij overtoeren



Esri Nederland & Community  
Maps Contributors

Figuur 19 – Werpafstand bij overtoeren en risicovolle installaties Bovengrens





**BOSCH & VAN RIJN**  
Experts in duurzame energie en ruimte

- Windturbineposities
- Werpafstand bij nominaal toerental
- Werpafstand bij overtoeren Ondergrens



0 0,5 1 km



Esri Nederland & Community  
Maps Contributors

**Figuur 20 – Werpafstand bij overtoeren en risicovolle installaties Ondergrens**



## 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<sup>2</sup> per object, of
  - 2. complexen waarin meer dan 5 winkels zijn gevestigd en waarvan het gezamenlijk bruto vloeroppervlak meer dan 1000 m<sup>2</sup> bedraagt en winkels met een totaal bruto vloeroppervlak van meer dan 2000 m<sup>2</sup> 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) kampeerterrains 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;

