



BOSCH & VAN RIJN

Experts in duurzame energie en ruimte

Passantenrisico VKA

Windpark Battenoord

Opdrachtgever



Passantenrisico VKA

Windpark Battenoord

22 februari 2017

Auteurs

Drs. Ing. Jeroen Dooper
Hans Kerkvliet MSc.

Bosch & Van Rijn
Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht

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

© Bosch & Van Rijn 2017

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



Inhoudsopgave

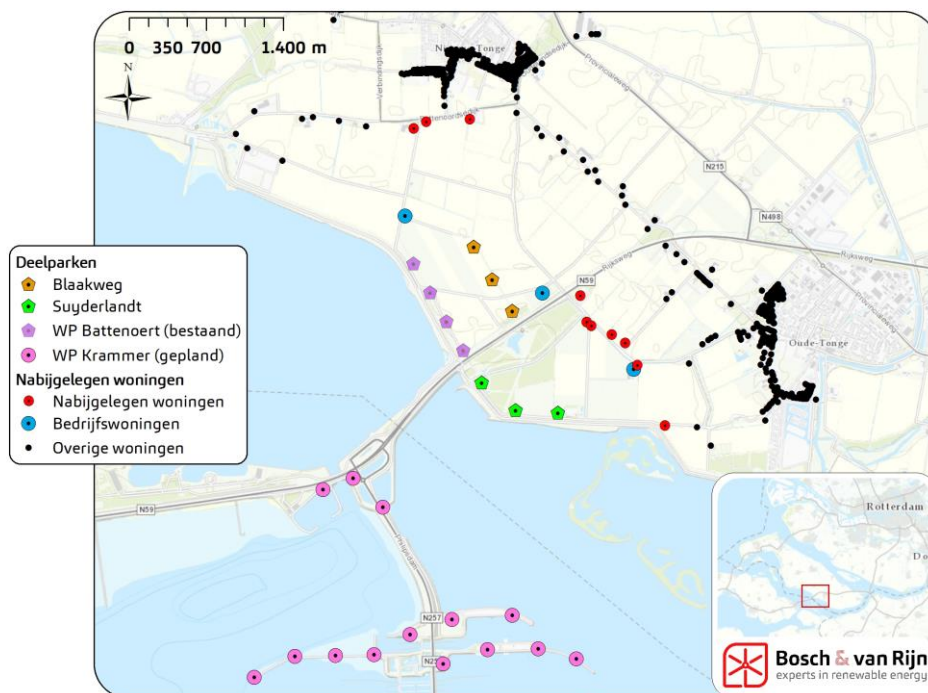
Inhoudsopgave.....	2
1 Inleiding.....	3
1.1 Plangebied	3
1.2 Voorkeursalternatief	3
1.3 Leeswijzer	4
2 Beoordelingskader Infrastructuur.....	5
2.1 Toetsingskader	5
3 Risico's windturbines.....	6
3.1 Risico's van windturbine	6
3.2 Situatie	6
3.3 Trefkansberekening	7
4 Conclusie	10
Bijlage A. Berekening werpafstand.....	11
Bijlage B. Werpafstanden windturbines	13



1 Inleiding

1.1 Plangebied

De initiatiefnemers Eneco en Deltawind zijn voornemens om in het zoekgebied Battenoord een windpark realiseren. In onderstaand figuur is het mogelijk om het voorkeursalternatief te vinden.



Figuur 1: Plangebied windpark Battenoord.

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 voren. De bovengrens wordt in de komende paragrafen onderzocht. Dit vanwege het feit dat wanneer de bovengrens voldoet aan de normen, dit automatisch ook geldt voor de ondergrens.

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

	Ashoogte (±)	Rotordiameter (±)	Vermogen (±)	
Voorkeursalternatief			per wtbs	totaal
Bovengrens - G132 – 6 wtbs	84m	132m	5,0 MW	30,0 MW
Ondergrens - V110 – 6 wtbs	95m	110m	2,0 MW	12,0 MW



Aan de hand van de uitgevoerde risicoanalyse is beoordeeld welk risico de geplande windturbines vormen voor personen die de windturbine passeren.

Door middel van een kwantitatieve analyse is de individuele passantenrisico en trefkans voor wegen berekend ten gevolge van het plaatsen van de windturbines.

1.3

Leeswijzer

Dit rapport bevat de risicoanalyse van het voorkeursalternatief ten opzichte van infrastructuur. In hoofdstuk 2 zal eerst worden ingegaan op de beoordelingskader waarna in hoofdstuk 3 de risico's van windturbines worden besproken. In hoofdstuk 4 wordt de trefkans berekend en het rapport sluit af met een conclusie.



2 Beoordelingskader Infrastructuur

2.1 Toetsingskader

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 verschillenden maten te kiezen voor het maatschappelijk risico. In het externe-veiligheidsbeleid voor stationaire installaties of vervoersactiviteiten wordt uitgegaan van groepsrisicocurven of FN-curven. Groepsrisicocurves hebben alleen betekenis voor 'kleine-kans-groot-gevolg'-ongevallen met slachtofferaantallen groter dan 10 per ongeval. Uit studies ref. [2, 4, 5, 6] blijkt dat bij windturbineparken in de nabijheid van rijkswegen altijd ruimschoots aan de groepsrisiconorm wordt voldaan."



3 Risico's windturbines

3.1 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 ⁻⁵ (meter)	10 ⁻⁶ (meter)	Nom. toerental (meter)	Overtoeren (meter)
G132-5.0	84	66	152	152	428

3.2 Situatie

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 spoorwege zal de kans berekend worden dat een persoon wordt geraakt door een afgebroken wiel, mast en/of gondel.

Uit onderstaande figuur blijkt dat er overdraai over infrastructuur plaatsvindt door drie turbines. De drie oostelijke windturbines draaien over op de Zuiderlandse(zee)dijk.

Tevens blijkt uit onderstaande figuur dat er voldoende afstand is tussen spoor- en vaarwegen en de windturbines. Hierdoor is voor spoor- en vaarwegen geen kwantitatief onderzoek nodig.



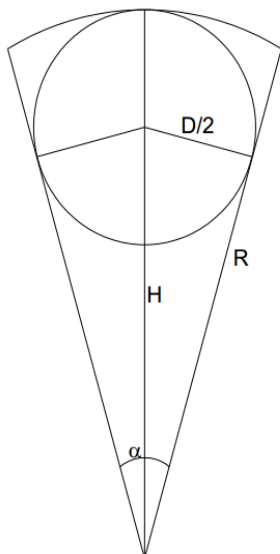
Figuur 2 – Overdraai windturbines

3.3

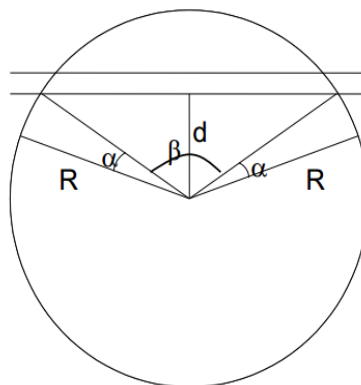
Trefkansberekening

Rekenmethode mastbreuk

De kans dat de weg wordt getroffen door een onderdeel van een omvallende windturbine wordt gelijk verondersteld aan de kans dat een gedeelte van onderstaand cirkelsegment (Figuur 3) in aanraking komt met leidingstrook, hetgeen is geïllustreerd in Figuur 4 (HRW 2014).



Figuur 3: Windturbine als cirkelsegment.



Figuur 4: Turbine in aanraking met weg.



De trefkans wordt berekend voor 1 turbinelocaties (Suyderlandt 1), waarbij de assumptie wordt gemaakt dat de trefkans voor deze turbinelocatie representatief is voor de andere twee windturbines.

De trefkans is als volgt:

Turbine nummers	Afstand tot weg (m)	Valhoek graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans weg
Suyderlandt-1	50,10	300	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,08 \cdot 10^{-04}$

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

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

v_o = snelheid van de passant (m/s)

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

Afstand tot weg (m)	Hoek (β) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans weg	Verblijfstijd passant	Trefkans per passage
50,10	300	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,08 \cdot 10^{-04}$	$6,79 \cdot 10^{-09}$	$7,33 \cdot 10^{-13}$

Trefkans per passant voor windturbine Suyderlandt 1, 2 en 3 is: $7,33 \cdot 10^{-13}$

Rekenmethode wiekbreuk

De kans dat een persoon wordt geraakt als gevolg van een afgebroken wiek wordt als volgt berekend. In deze berekening wordt uitgegaan van de turbine die het dichtstbij de weg is gepositioneerd, waarbij wordt aangenomen dat deze trefkans ook geldt voor de andere windturbines.

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

$$\begin{aligned} A_c &= \text{kritiek oppervlakte wiek} &= & 219,8 \text{ m}^2 \\ p_{zwpt} &= \text{trefkans zwaartepunt wiek} &= & 1,52 \cdot 10^{-08} \end{aligned}$$

$$P = 5,01 \cdot 10^{-06}$$

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

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

Trefkans passant is: $1,14 \cdot 10^{-13}$ per passage.



Rekenmethode gondelafworp

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

Hierdoor is de kans dat een passant getroffen wordt hetzelfde voor alle turbinelocaties en kan berekend worden op de onderstaande manier.

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

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

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

Conclusie passantenrisico

De totale raakkans per passage voor Suyderlandt 1 (en ook 2 en 3) is:

Mastbreuk:	$7,33 \cdot 10^{-13}$ per passage.
Wiekbreuk:	$1,14 \cdot 10^{-13}$ per passage.
Gondelafworp:	$2,72 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Totaal: $1,12 \cdot 10^{-12}$ per passage.

Om tot een totale trefkans te komen worden de bovenstaande trefkansen voor de 3 windturbines bij elkaar opgeteld. Hierdoor wordt rekening gehouden met een passant die van de hele weg gebruikt maakt. Dit resulteert in een worst-case benadering.

Dit toegepast leidt tot een totale trefkans van: $3,36 \cdot 10^{-12}$ per passage.



4 Conclusie

De trefkans als gevolg van een falende windturbine is:

- $3,36 \cdot 10^{-12}$ per passage

Aan het IPR wordt voldaan zolang één passant niet meer dan 297.885 keer per jaar de turbine passeert. Dit komt overeen met 816 passages per dag, gedurende een heel jaar, door een en dezelfde persoon. Het is niet realistisch dat het IPR overschreden wordt. Tevens wordt er aan het MR ($2 \cdot 10^{-3}$ doden per jaar) voldaan zolang er niet meer dan 595.770.032 passanten per jaar de windturbines passeren. Dit zijn 1.632.246 passanten per dag. Gelet op de aard van de weg is het niet realistisch dat het MR wordt overschreden.



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]

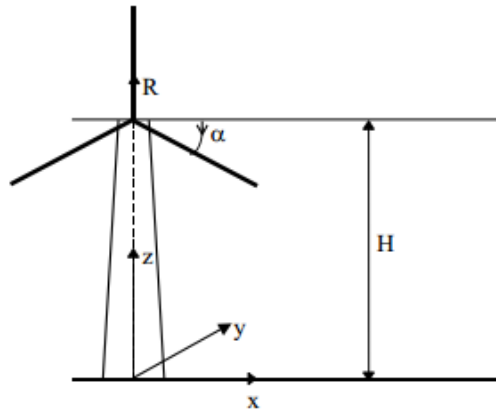
Ω : toerental van de rotor [rad/s]

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

α : azimuthhoek [rad]

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

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



Figuur 1: Overzicht parameters in ballistisch model

De bewegingsvergelijking voor het zwaartepunt is nu

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

Met de beginvoorwaarden

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

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

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



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

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

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

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

2.1.2 Verdelingsfuncties

De kansverdelingsfunctie f_{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

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

geldt nu

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

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

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

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



Bijlage B. Werpafstanden windturbines

Gamesa G132 op 84 meter ashoogte

BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering

BEDIENINGSPANEEL

Databestand:
Gamesa_G132_84 .txt

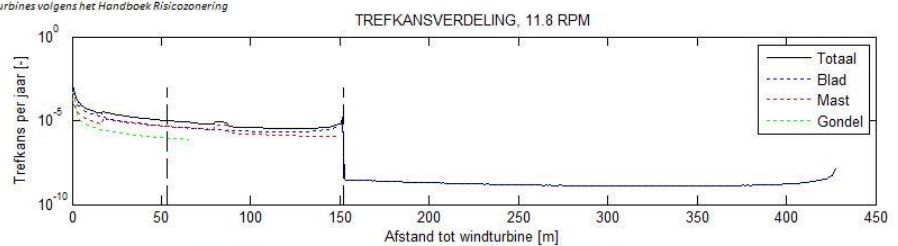
Rekenmodel:
☒ Ballistisch
☐ Luchtkrach...

☐ Gebruik mastverstevig...

Bereken p_{zwpt} op:
 m
 m

Bereken

Copyright: Bosch & Van Rijn, 2014



PARAMETERS

Rotordiameter	132 m
Ashoogte	84 m
Wielengte	64.5 m
Toerental	11.8 RPM
Mastdiameter	5 m
Lengte gondel	15 m
Hoogte gondel	5 m
Zwaartepunt rotorblad	23.76 m
Solidity	0.05 -
Kritiek bladoppervlak	219.8 m ²
Massa blad	- kg
Windsnelheid	- m/s

RESULTATEN

Risicocontouren	
10-5	53 m
10-6	152 m
Werpafstanden	
Gegeven	152 m
Overtoeren	428 m
p _{zwpt}	
Afstand	237 m
Waard	4.8603e-12
Afstand	238 m
Waard	4.6537e-12