

BIJLAGE 20



718026
31 oktober 2018

**ANALYSE PR CONTOUREN
WINDPARK ELZENBURG – DE
GEER**

Gemeente Oss

V2.0



Duurzame oplossingen in
energie, klimaat en milieu

Postbus 579
7550 AN Hengelo
Telefoon (074) 248 99 40

Documenttitel	Analyse PR contouren Windpark Elzenburg – De Geer
Soort document	V2.0
Datum	31 oktober 2018
Projectnummer	718026
Opdrachtgever	Gemeente Oss
Auteur	B. Vogelaar, Pondera Consult
Vrijgave	D. Oude Lansink, Pondera Consult

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
1.1	Generieke versus specifieke berekeningen	1
2	Windturbine eigenschappen	2
3	Faalscenario's	3
3.1	Berekening mastfalen	3
3.2	Berekening gondelfalen	5
3.3	Berekening bladworp bij nominaal en overtoeren situaties	6
4	Rekenresultaten	8
4.1	Nordex N131 op 144 meter	8
4.2	Enercon E-126 EP4 op 145 meter	9
4.3	GE-3.2-130 op 145 meter	10
4.4	Siemens SWT-3.3-130 op 145 meter	11
4.5	Vestas V126-3.3 op 145 meter	12
4.6	Vestas V136-3.45 op 144 meter	13
4.7	Overige windturbines	14
5	Resultaten en kaartweergave	15
5.1	Conclusie	15
Bijlage 1		
	Data herkomst gegevens windturbines	
Bijlage 2		
	Afkorting en symbolen lijst	

1 INLEIDING

Gemeente Oss heeft voor de ontwikkeling van twee windturbines van Windpark Elzenburg - De Geer gevraagd naar een nader onderzoek naar de ligging van de plaatsgebonden risicocontouren van windturbines binnen de dimensies van windturbines die geplaatst kunnen worden bij Windpark Elzenburg - De Geer. Deze analyse beschrijft de specifieke berekeningen en uitkomsten van een kwantitatieve risico analyse van verschillende windturbintypes die toegepast kunnen worden voor Windpark Elzenburg - De Geer. De te onderzoeken windturbines passen binnen de aangegeven maximale dimensies van:

- Maximale rotordiameter = 136 meter;
- Maximale tiphoogte = 210 meter;
- Maximale ashoogte = 145 meter.

In het Milieueffectrapport en bestemmingsplan "Windmolenpark Elzenburg – De Geer" is een minimale afstand aangehouden van de windturbines tot aan de bestemmingen 'Bedrijf' van het bedrijventerrein Elzenburg-De Geer" van 182 meter. De maximale $PR10^{-06}$ contour van de windturbines mag dus 182 meter bedragen¹. Dit rapport maakt inzichtelijk of de $PR10^{-06}$ contour bij toepassing van reële windturbines, passend binnen de maximale dimensies, binnen deze afstand van 182 meter blijft.

1.1 Generieke versus specifieke berekeningen

De berekeningen worden uitgevoerd met behulp van de meest recente versie van bijlage C van het Handboek Risicozonering Windturbines 2014 (HRW v3.1)² waarin beschreven staat hoe de plaatsgebonden risico's van windturbines berekend kunnen worden per faalscenario. De uitkomsten van deze specifieke berekeningen zijn minder worst-case ten opzichte van bijlage B van het Handboek en leiden daarmee ook tot exacte afstanden voor de plaatsgebonden risicocontouren als de generieke waarden die beschreven staan in paragraaf 3.3.3 van de hoofdtekst van het HRW.

Het HRW geeft zelf aan dat:

Kader 1.1 Tekst over generieke gegevens uit het HRW (pagina 22)

"Het uitvoeren van een kwantitatieve risicoanalyse volgens de methode die in de bijlage van dit Handboek is beschreven kan arbeidsintensief zijn. Over het algemeen kan met een eenvoudige aanpak en conservatieve uitgangspunten worden aangetoond dat de veiligheidscriteria niet worden overschreden. Daarom zijn in bijlage B "Generieke Gegevens", generieke conclusies afgeleid voor wat betreft trefkansen van personen en objecten."

In deze analyse worden de specifieke berekeningen gebruikt om de ligging van de plaatsgebonden risicocontouren te berekenen.

¹ Deze 182 meter is bepaald door de afronding naar boven van de $PR10^{-06}$ van de worst-case windturbine, zoals deze in het Milieueffectrapport voor Windmolenpark Elzenburg-De Geer is onderzocht. Dit is Nordex N131 met een $PR10^{-6}$ van 181 meter.

² Vanaf dit punt in deze rapportage wordt naar het handboek verwezen als HRW.

2 WINDTURBINE EIGENSCHAPPEN

De benodigde windturbine eigenschappen worden bepaald aan de hand van documentatie van de verschillende windturbintypes die aangeleverd wordt door de fabrikanten of kan worden gevonden in algemene databases over windturbine eigenschappen. Er komen op een hoog tempo nieuwe windturbintypes op de markt waardoor het kan zijn dat sommige specifieke gegevens nog niet bekend zijn van een specifiek windturbintype. Indien gegevens benodigd voor de analyse ontbreken wordt gebruik gemaakt van gegevens van vergelijkbare windturbintypes en/of wordt een worst-case inschatting gemaakt van de eigenschap. In onderstaande tabel staan de verschillende eigenschappen genoteerd. De gebruikte databronnen staan vermeld in bijlage 1. Onderstaand schema geeft een overzicht van reële windturbines die passend zijn binnen de aangegeven dimensies.

Tabel 2.1 Gebruikte gegevens van windturbines

Windturbintype	Nordex N131	Enercon E-126 EP4	GE 3.2-130	Siemens SWT-3.3-130	Vestas V126-3.3	Vestas V136-3.45
Ashoogte	144	145	145	145	145	142
Rotordiameter	131	127	130	130	126	136
Maximale mastbreedte	4,3	13,22	8,11	4,5	6	6
Nominaal toerental (rpm)	12,1	11,6	12,1	12,2	12,8	11,7
Maximale bladbreedte	3,94	4,75	4	4,2	4	4,11
Bladlengte	65,5	63,5	65	65	63	68
Afstand van Zwaartekracht op blad tot hubcentrum	22,9	21,17	21,67	21,67	21	22,67
Lengte gondel	12,22	18,3	12,73	9,33	17,14	17,14
Breedte gondel	4,3	8,8	4,2	4,15	3,9	3,9
Hoogte gondel	5,2	9,3	3,6	6,3	6,77	6,77

* Gewichten in ton en afstanden in meters

Naast bovenstaande zes windturbines die specifiek zijn onderzocht zijn overige beschikbare windturbines ook beschouwd in de bepaling van hun werpafstand bij nominaal toerental, dit om te kunnen analyseren of de afstand van 182 meter geschikt is als maximale maat voor de generieke bepaling van de PR10⁻⁰⁶ contour van windturbines binnen de aangegeven dimensies.

3 FAALSCENARIO'S

Om de plaatsgebonden risico's te berekenen worden de volgende faalscenario's van windturbines beschouwd conform het HRW:

- Gondelfalen; faalfrequentie: 4×10^{-5} per jaar
 - De gondel en rotor vallen langs de mastoren naar beneden.
- Mastfalen; faalfrequentie: $1,3 \times 10^{-4}$ per jaar
 - De mast breekt af bij de voet en valt in zijn geheel om inclusief rotor en gondel.
- Bladworp bij nominaal toerental; faalfrequentie: $8,4 \times 10^{-4}$ per jaar
 - Een blad breekt in zijn geheel af zonder verlies van energie tijdens een toerental behorend bij nominaal vermogen en wordt geworpen.
- Bladworp bij overtoeren; faalfrequentie: 5×10^{-6} per jaar
 - Een blad breekt in zijn geheel af zonder verlies van energie tijdens een overtoeren situatie bij een 2x zo hoog toerental als behorend bij nominaal vermogen en wordt geworpen.

In onderstaande paragrafen wordt kort per faalscenario toegelicht welke berekeningen zijn uitgevoerd. De gebruikte symbolen zijn terug te vinden in bijlage 2.

3.1 Berekening mastfalen

Voor de berekening van mastfalen is gebruik gemaakt van de formules in hoofdstuk 5.1 van bijlage C van het HRW. Hierbij wordt conservatief verondersteld dat de breedte van de mast lineair afneemt van de voet tot aan ashoogte van de maximale mastbreedte tot aan de minimale mastbreedte.

0 meter tot halve mastbreedte

Voor de eerste meters vanaf het hart van de windturbine tot aan een halve torenbreedte wordt uitgegaan van een risico van 100% van de faalfrequentie van mastfalen.

Voor $r \leq 0,5 \times d$

$$P_m = P_{mb} \times 100\%$$

Halve mastbreedte tot aan tiplaaagte

De kans dat een vierkante meter wordt geraakt is gelijk aan de breedte van de mast op de te raken afstand gedeeld door de mogelijke valrichtingen.

Voor $(0,5 \times d) < r \leq (H - \frac{D}{2})$

$$P_{to} = P_{mb} \times \frac{d_r}{2 \times \pi \times r}$$

Tiplaaagte tot aan onderkant gondel

Op deze valafstand kan een vierkante meter geraakt worden door de mast en door de aanwezigheid van de drie vallende rotorbladen.

Voor $(H - \frac{D}{2}) < r \leq (H - \frac{G}{2})$

$$P_{tl} = P_{mb} \times \frac{d_r}{2 \times \pi \times r} + P_{mb} \times \frac{D}{2 \times \pi \times r} \times \frac{Opp_{blad}}{Opp_{rotor}}$$

Onderkant gondel tot bovenkant gondel

Op deze valafstand kan een vierkante meter geraakt worden door de gondel en door de aanwezigheid van de drie vallende rotorbladen.

Voor $\left(H - \frac{G}{2}\right) < r \leq \left(H + \frac{G}{2}\right)$

$$P_g = P_{mb} \times \frac{B_{gondel}}{2 \times \pi \times r} + P_{mb} \times \frac{D}{2 \times \pi \times r} \times \frac{Opp_{blad}}{Opp_{rotor}}$$

Bovenkant gondel tot tiphoogte

Op deze valafstand kan een vierkante meter geraakt worden door de aanwezigheid van de drie vallende rotorbladen³.

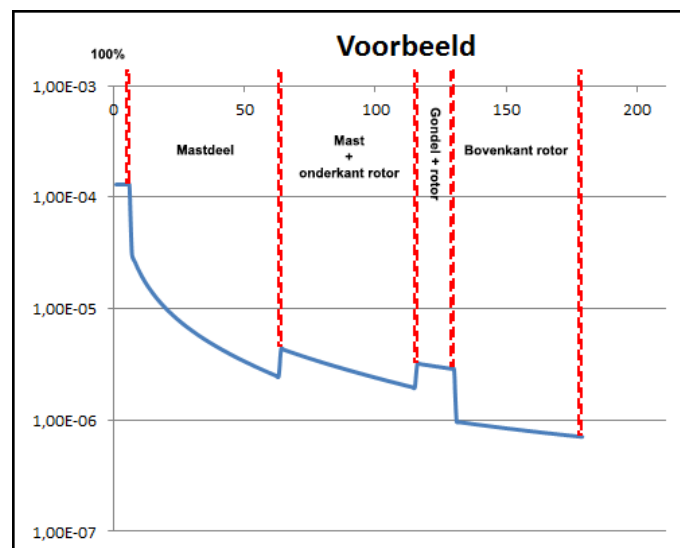
Voor $\left(H + \frac{G}{2}\right) < r \leq (Tiphoogte)$

$$P_{tip} = P_{mb} \times \frac{D}{2 \times \pi \times r} \times \frac{Opp_{blad}}{Opp_{rotor}}$$

Weergave van scenario mastfalen

Bovenstaande berekeningen resulteert in de volgende plaatsgebonden risico verdeling voor het scenario mastfalen.

Figuur 3.1 Weergave van berekening mastfaal risico



³ Voor de berekening wordt uitgegaan van het worst-case risico van aanwezigheid van alle drie de bladen ongeacht de stand van de wieken.

3.2 Berekening gondelfalen

In hoofdstuk 6.1 van bijlage C van het HRW staat omschreven hoe het scenario gondelfalen dient te worden berekend. Dit sluit aan bij de beschrijving voor mastfalen in paragraaf 3.1 waarbij nu de valafstand als 0 meter wordt gezien.

0 meter tot maximale gondelbreedte of hoogte

Voor de eerste meters vanaf het hart van de windturbine tot aan een de gondelbreedte of hoogte wordt uitgegaan van een risico van 100% van de faalfrequentie van gondelfalen.

Voor $r \leq B_{gondel}$

$$P_{gon} = P_{gf} \times 100\%$$

Gondelhoogte tot aan halve rotordiameter

Op deze valafstand kan een vierkante meter geraakt worden door de aanwezigheid van de drie vallende rotorbladen.

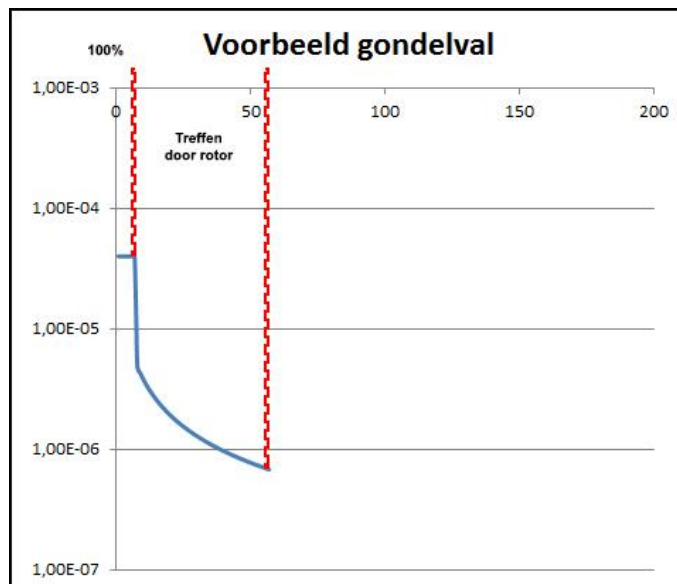
Voor $B_{gondel} < r \leq \left(\frac{D}{2}\right)$

$$P_{gon,r} = P_{gf} \times \frac{D}{2 \times \pi \times r} \times \frac{Opp_{blad}}{Opp_{rotor}}$$

Weergave van scenario gondelfalen

Bovenstaande berekeningen resulteert in de volgende plaatsgebonden risico verdeling voor het scenario gondelfalen.

Figuur 3.2 Weergave van berekening gondelfaal risico



3.3 Berekening bladworp bij nominaal en overtoeren situaties

Voor bladworp wordt in eerste instantie de trefkansverdeling bepaald van het zwaartepunt van het blad op één vierkante meter met behulp van een kogelbaanmodel zonder luchtkrachten. Op basis van deze informatie wordt vervolgens berekend wat de kans is dat een persoon geraakt kan worden door een deel van het blad indien het zwaartepunt op maximaal $2/3^e$ afstand van de persoon valt. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat het zwaartepunt van het blad op circa $1/3^e$ van de bladlengte is gelegen.

De kansverdelingsfunctie van de positie waar het zwaartepunt van het blad zal inslaan is berekend met de formules 2.1.1 tot 2.1.9 uit hoofdstuk 2.1 van bijlage C van het HRW.

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

Vervolgens wordt met behulp van formule 3.1.1 uit hoofdstuk 3.1 van het HRW de trefkans van een persoon uitgerekend.

$$p_p(x^*y^*) = 1,5 \times A_c \times p_{ZWPT}(x^*y^*)$$

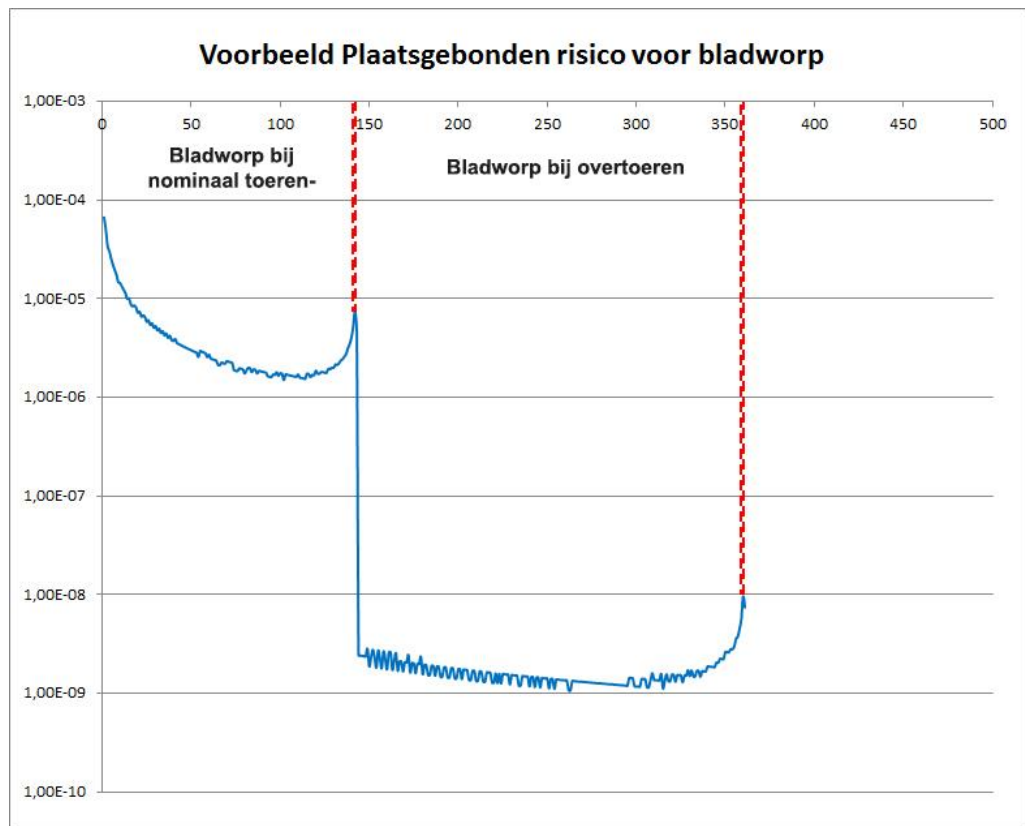
Waarbij A_c is bepaald met formule 3.1.8.

$$A_c = \pi \left(\frac{d}{2} + \frac{c}{2} \right)^2 + \int_{\frac{d+c}{2}}^{\frac{d}{2}+L_1} 2\varphi(r)dr + \int_{\frac{d+c}{2}}^{\frac{d}{2}+L_2} 2\varphi(r)dr$$

Weergave van scenario bladworp bij nominaal toerental en overtoeren

Bovenstaande berekeningen resulteert in de volgende plaatsgebonden risico verdeling voor het scenario bladworp bij nominaal toerental. Het resultaat van het scenario bladworp bij overtoeren is een vergelijkbare grafiek alleen dan berekend met een toerental van 2x nominaal.

Figuur 3.3 Weergave van berekening bladworp bij nominaal toerental en overtoeren



De cumulatieve plaatsgebonden risicocontouren zijn per windturbine weergegeven in onderstaande paragrafen.

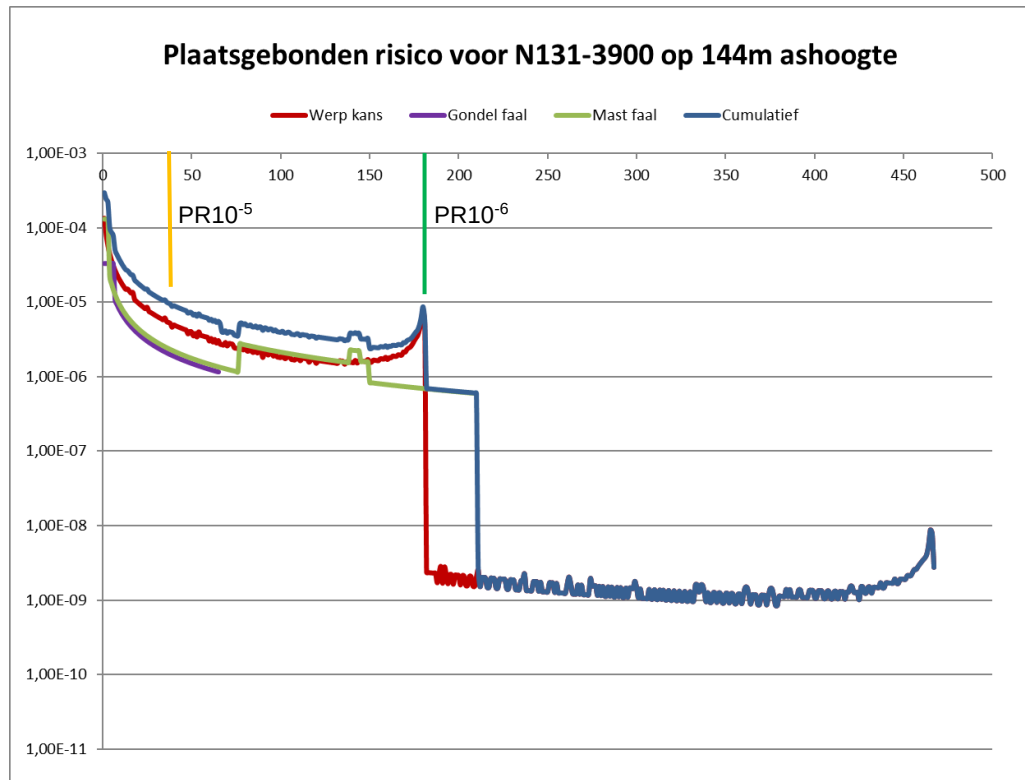
4 REKENRESULTATEN

4.1 Nordex N131 op 144 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 36 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 181 meter.

Figuur 4.1 Plaatsgebonden risico voor Nordex N131 op 144 meter

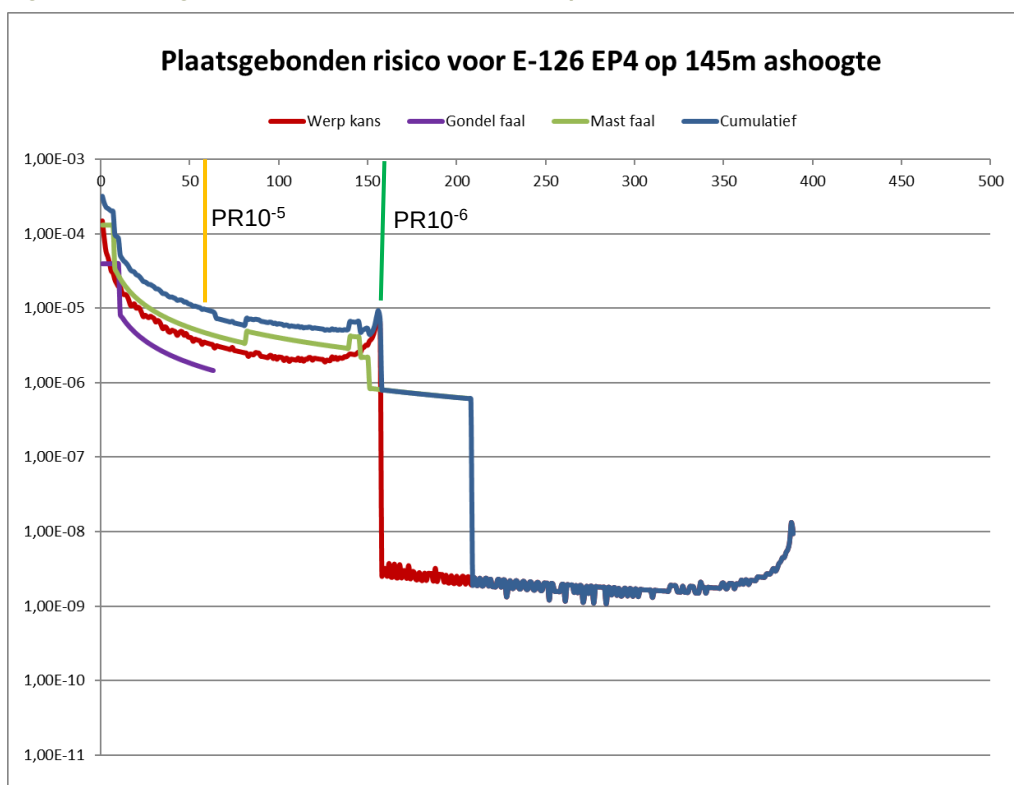


4.2 Enercon E-126 EP4 op 145 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 57 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 158 meter.

Figuur 4.2 Plaatsgebonden risico voor Enercon E-126 op 145 meter



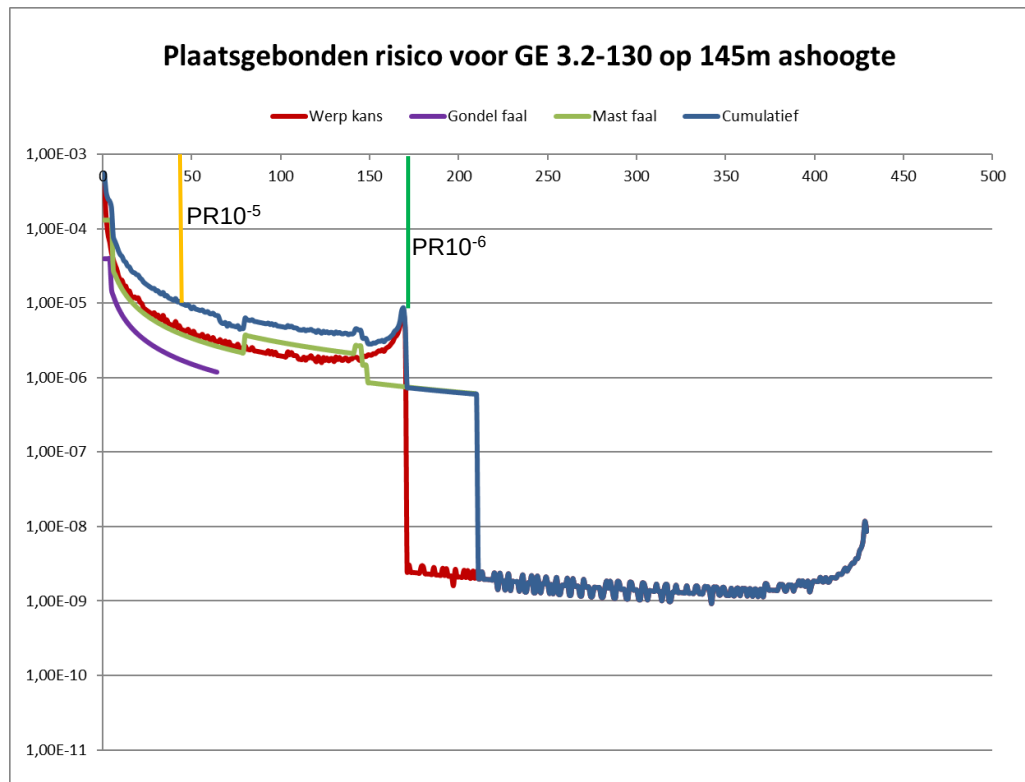
*Opmerking: De gondel van een Enercon E-126 EP4 is afwijkend groot in vergelijking met overige windturbines en zorgt daarmee voor een vergrote ligging van de $PR10^{-05}$ contour.

4.3 GE-3.2-130 op 145 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 44 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 171 meter.

Figuur 4.3 Plaatsgebonden risico voor GE 3.2-130 op 145 meter

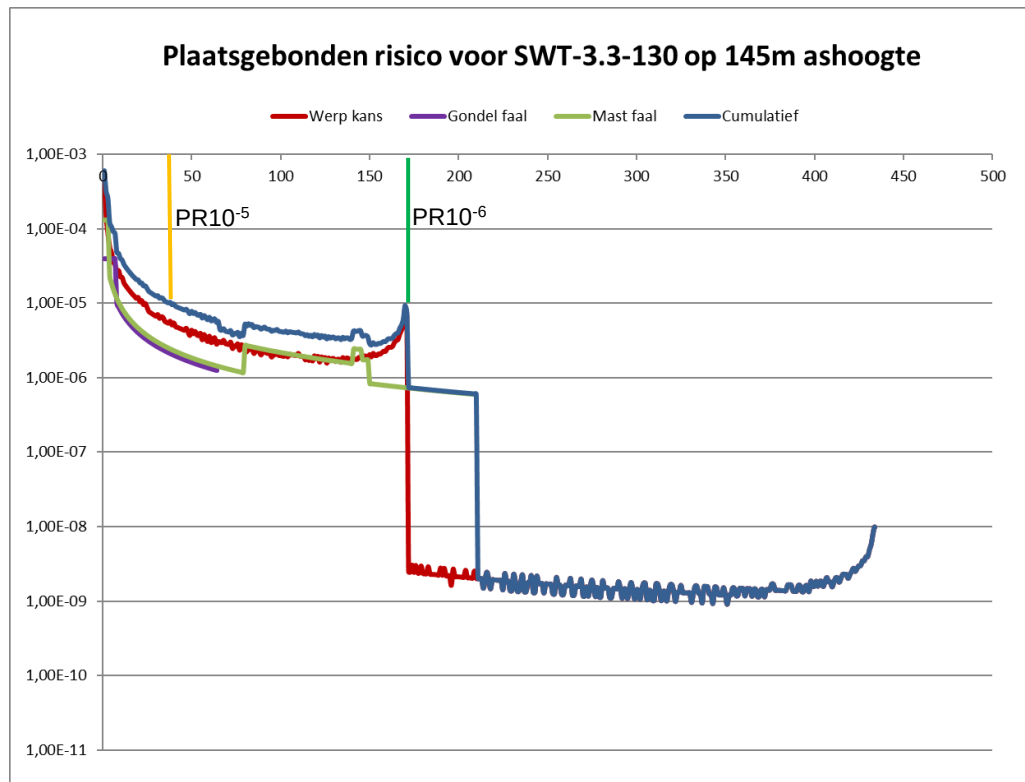


4.4 Siemens SWT-3.3-130 op 145 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 39 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 171 meter.

Figuur 4.4 Plaatsgebonden risico voor Siemens SWT-3.3-130 op 145 meter

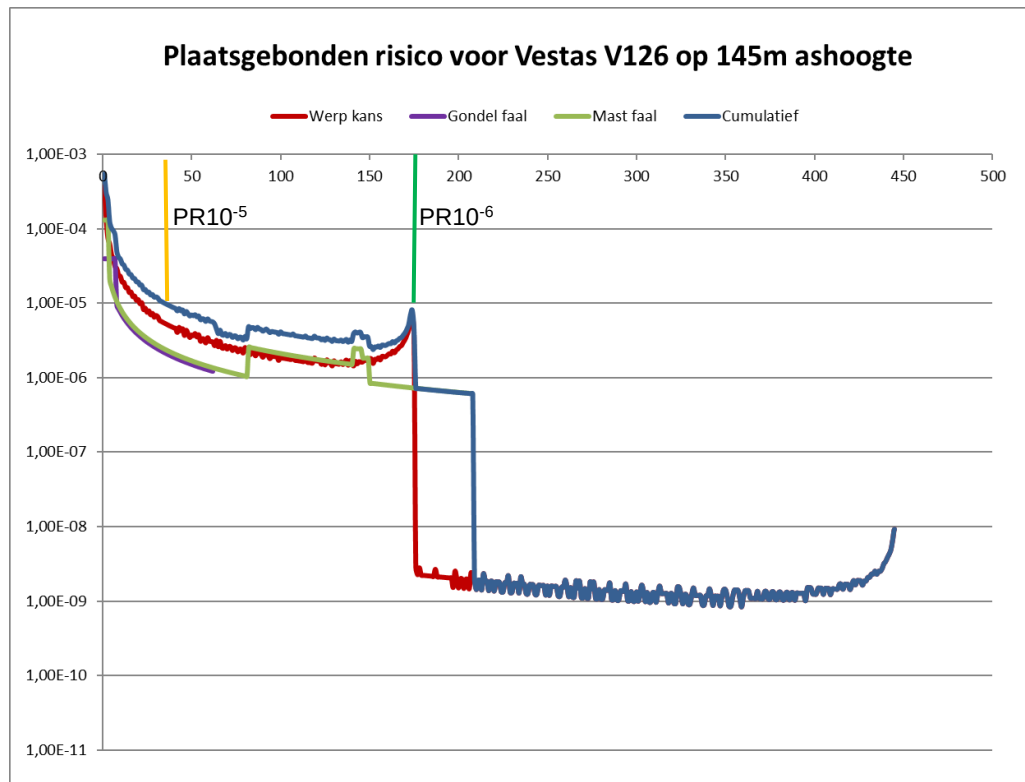


4.5 Vestas V126-3.3 op 145 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 34 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 175 meter.

Figuur 4.5 Plaatsgebonden risico voor Vestas V126-3.3 op 145 meter

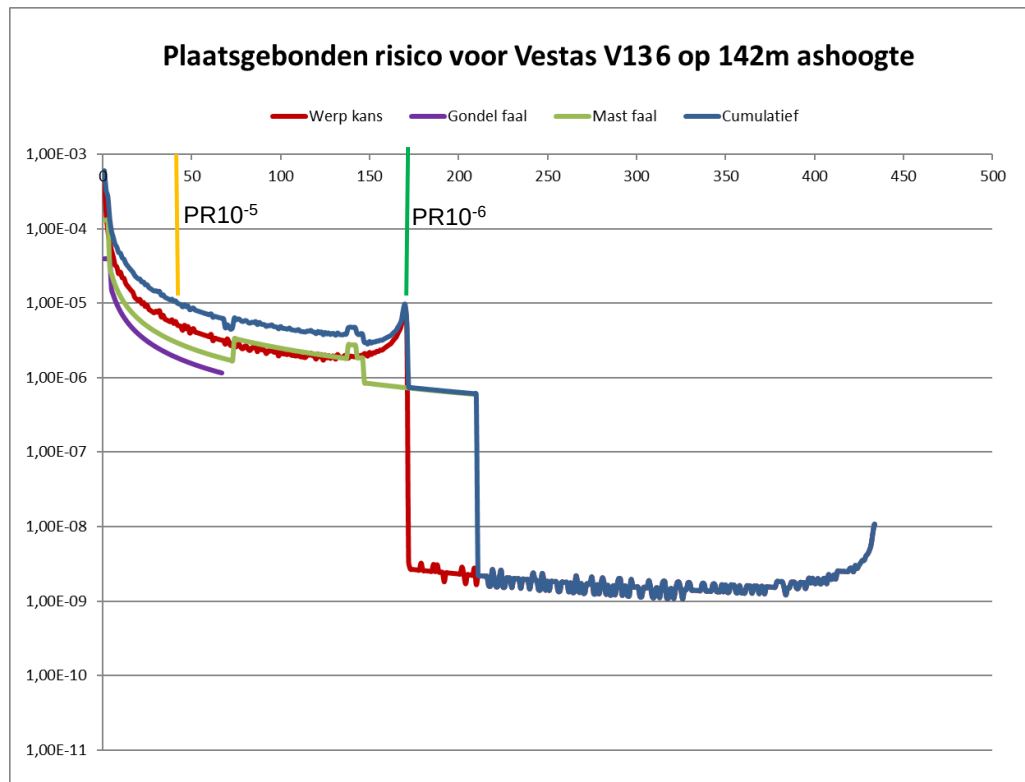


4.6 Vestas V136-3.45 op 144 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 42 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 171 meter.

Figuur 4.6 Plaatsgebonden risico voor Vestas V136-3.3 op 142 meter



4.7 Overige windturbines

Uit bovenstaande analyses is te zien dat buiten de werpafstand bij nominaal toerental (werpkans in grafieken) het plaatsgebonden risico (PR) niet boven de 10^{-06} uit komt door de faalscenario's mastfalen en bladworp bij overtoeren. Hiervan uitgaande kunnen we voor overige windturbines onderzoeken welke werpafstanden deze behalen om daarmee uit te kunnen sluiten dat de $PR10^{-06}$ contour van deze windturbines groter wordt dan de werpafstand bij nominaal toerental. De werpafstanden bij nominale toerental van een groter aantal windturbines op de reguliere ashoogten van deze windturbinetypes is onderstaand als lijst bijgevoegd. Dit is geen uitputtende lijst van alle beschikbare windturbinetypen en instelling maar geeft inzicht of een maximale $PR10^{-06}$ contour op een afstand van 182 meter een haalbare optie is bij bekende windturbinetypes en bijbehorende dimensies.

Figuur 4.7 Algemeen overzicht windturbines werpafstanden bij nominaal toerental windturbines

Turbintype	Fabrikant	Max vermogen	Max Ashoogte	Alt. Ashoogten	Rotordiameter	max Tiphoogte	Nominaal toerental	Werpafstand nominaal
V136-4.2	Vestas	4,2	162	82 105 112	136	230	10,4	157
V136-3.45	Vestas	3,45	142	82 112 132	136	210	11,7	171
N131/3000	Nordex	3	144	99 114 134	131	209,5	10,3	142
N131/3300	Nordex	3,3	164	134	131	229,5	10,9	159
N131/3600	Nordex	3,6	120	84 106 112	131	185,5	11,9	156
N131/3900	Nordex	3,9	134	84 114 120	131	199,5	12,6	175
GE 3.2-130	GE	3,2	155	85 110 134	130	220	12,1	174
SWT-3.3-130	Siemens	3,3	135	85 115	130	200	12,2	167
SWT-3.3-130 LN	Siemens	3,3	135	85	130	200	11,4	154
SWT-DD-130	Siemens	4,2	135	85 115	130	200	12,5	172
SG 2.7-129	Siemens /	2,75	87		129	151,5	12,5	146
E-126 EP8	Enercon	7,5	135		127	198,5	12	159
E-126 EP4-4.0	Enercon	4	135	86 99 116	127	198,5	12,4	165
E-126 EP4-4.2	Enercon	4,2	159	135 144	127	222,5	11,6	163
V126-3.0	Vestas	3,6	147	87 117 137	126	210	12,1	164
V126-3.45 LTq	Vestas	3,45	137	87 117	126	200	13,4	181
V126-3.45 HTq	Vestas	3,45	145	87 117 137	126	208	11,8	159
V126-3.3	Vestas	3,3	137	117 128	126	200	12,8	171
3.2M122	Senvion	3,2	139	89 119	122	200	11,2	142
GE 2.75-120	GE	2,75	139	85 98,3 110 120	120	199	13	165
SWT-4.0-120	Siemens	4	89,5		120	149,5	14	155
SWT-DD-120	Siemens	4,3	85		120	145	13,7	148
SWT-2.5-120	Siemens	2,5	85,1		120	145,1	13,1	140
SWT-2.3-120	Siemens	2,3	92	80	120	152	13	142
Vensys-120	Vensys	3	140	90 98,3 115	120	200	12,8	163
N117/2400	Nordex	2,4	141	91 120	117	199,5	11,8	144
V117-4.2	Vestas	4,2	91,5	84	117	150	13,6	145
V117-3.6	Vestas	3,6	116,5	80 91,5	117	175	14	164
V117-3.45	Vestas	3,45	116,5	80 91,5	117	175	13,8	161
V117-3.3	Vestas	3,3	116,5	91,5	117	175	13,1	151
N117/3600	Nordex	3,6	141	91 106 120	117	199,5	12,6	155
E-115 EP2	Enercon	3,2	149,1	92,1 122,1 135,5	115,7	206,95	13,1	164
E-115 TES	Enercon	3	149	92 135,4	115,7	206,85	12,8	160
E-115	Enercon	3	149	92 135,4	115,7	206,85	12,4	154
E-112	Enercon	4,5	124		114	181	13	149
3.4M114	Senvion	3,4	143	93 123	114	200	12,1	145
SWT-3.2-113	Siemens	3,2	115	79,5 835 88 92,5 99,5	113	171,5	15	170
SWT-2.3-113	Siemens	2,3	142,5	92,5 99,5 122,5	113	199	13	155
Vensys 112	Vensys	3	140	93,5	112	196	13,6	161
V112-3.6	Vestas	3,6	94	69	112	150	14	144
V112-3.45	Vestas	3,45	119	69 84 94	112	175	13,8	154
V112-3.3	Vestas	3,3	140	84 94 119	112	196	13,1	154
V112-3.075	Vestas	3,075	119	84 94 96 119	112	175	12,8	141

5 RESULTATEN EN KAARTWEERGAVE

Samengevat zijn de resultaten van de berekeningen als volgt:

Tabel 5.1 Overzicht berekende afstanden

Contour	Nordex N131	Enercon E-126 EP4	GE- 3.2-130	Siemens SWT-3.3-130	Vestas V126-3.3	Vestas V136-3.45	Overige turbines*
PR 10-5	37	57	44	39	34	42	ca. 60m
PR 10-6	181	158	171	171	175	171	181
½e RD	65,5	63,5	65	65	63	68	68
Tiphoogte	210	208,5	210	210	208	210	210

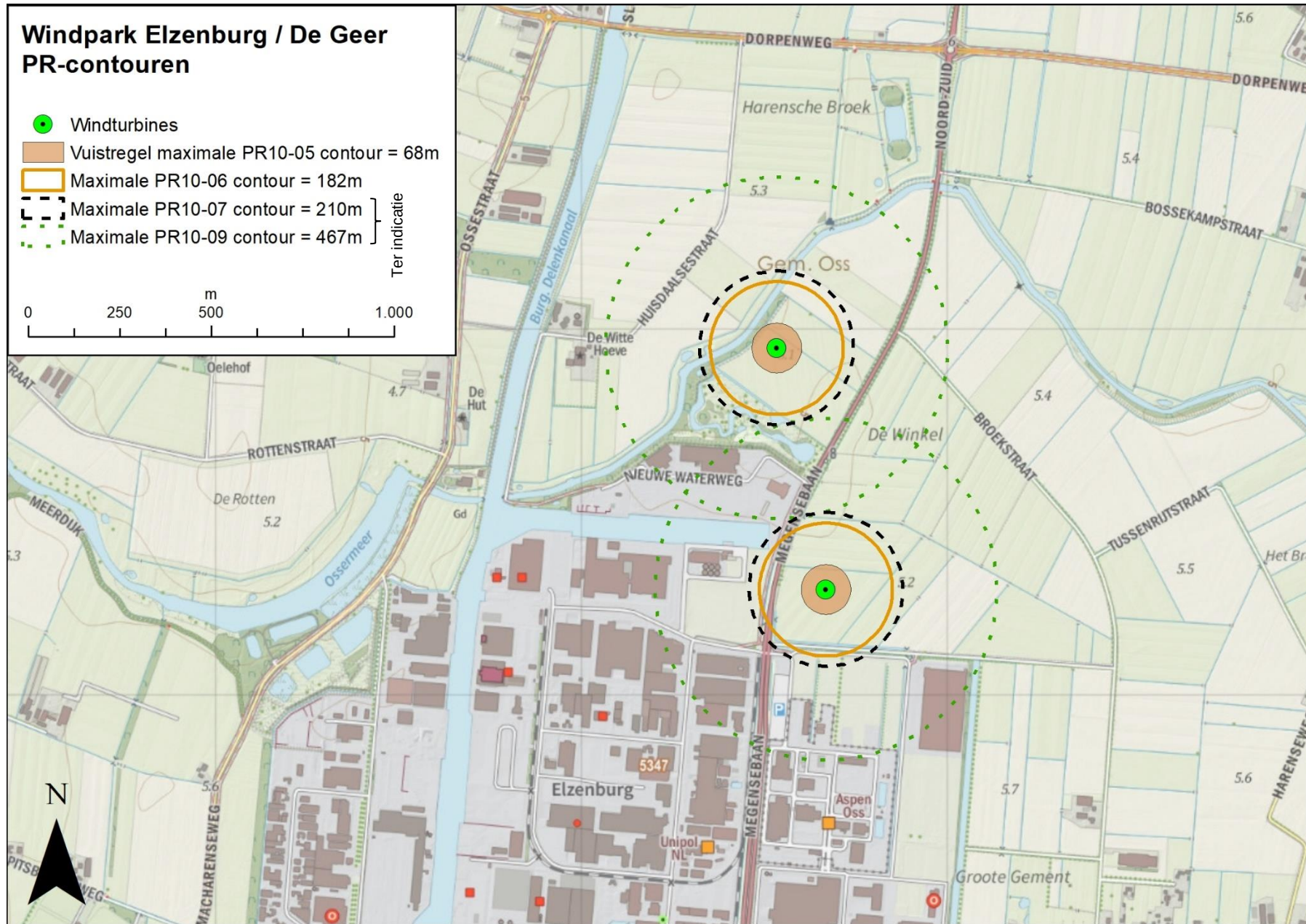
* De waarde weergegeven voor overige turbines is een inschatting op basis van een werpafstand analyse en bevat geen volledige plaatsgebonden risicoanalyse.

5.1 Conclusie

Uit de nadere berekening van windturbines beschikbaar binnen de aangegeven maximale dimensies van Windpark Elzenburg – De Geer blijkt dat de specifieke plaatsgebonden risicocontouren met een risico van $PR10^{-5}$ liggen op een afstand van 34 tot 57 meter van de onderzochte windturbines. De specifieke plaatsgebonden risicocontouren met een risico van $PR10^{-6}$ liggen op een afstand van 158 tot 181 meter van de onderzochte windturbines.

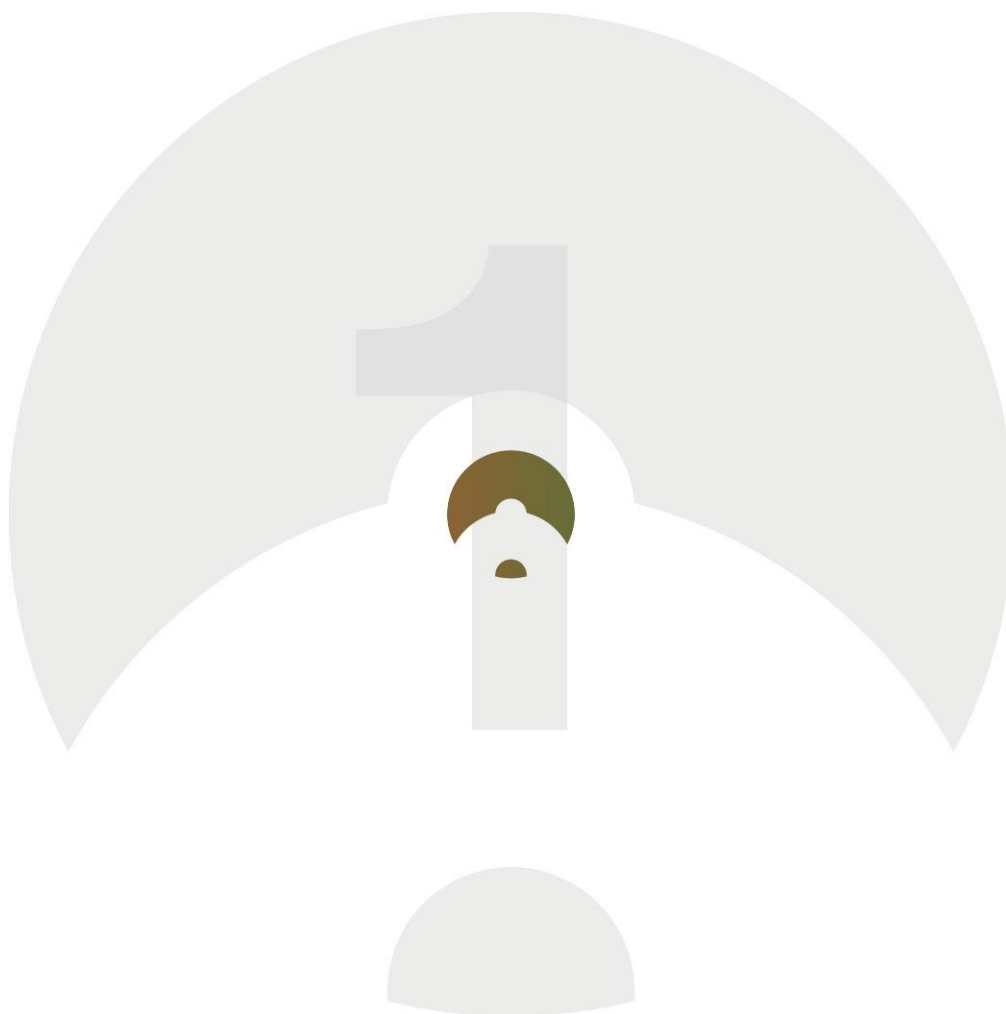
Uit de analyse blijkt ook dat alle beschikbare windturbines binnen de aangegeven dimensies een maximale $PR10^{-6}$ contour hebben van kleiner dan 182 meter.

Uitvoering van mitigerende maatregelen, zoals sectormanagement en faalfrequentie reducerende maatregelen (bijvoorbeeld over-dimensionering van de sterkte van de windturbinemast), kunnen de betrokken risicocontouren verkleinen.



BIJLAGE 1

DATA HERKOMST GEGEVENS WINDTURBINES



Algemeen

- Datagegevens verkregen uit Windpro Windturbine Generator Catalogue, geraadpleegd op 28-08-2018.

Nordex N131

- Gegevens verkregen uit: “* MER Windmolenpark Elzenburg - te Geer te Oss – EV” - Conform rapportage Antea (14-03-2017)

Enercon E-126 EP4

- Gegevens verkregen uit Enercon data sheet “Datenblatt_E-126EP4” from http://eplatform-4mw.de/downloads/Datenblatt_E-126EP4_en.pdf geraadpleegd op 28 08 2018

GE 3.2-130

- Gegevens vertrouwelijk, niet vrijgegeven door GE

Siemens SWT-3.3-130

- Gegevens verkregen uit Data sheet “Wind turbine SWT-3.3-130 Technical specifications” from Siemens.com/wind uit 2016

Vestas V126

- Gegevens verkregen uit documentatie “General Specification V126-3.3 MW 50/60 Hz” van Vestas uit 12-11-2014.

Vestas V136

- Gegevens verkregen van website van vestas bij Technical Specifications via: https://www.vestas.com/en/products/turbines/v136-3_45_mw#!technical-specifications geraadpleegd op 28-08-2018

BIJLAGE 2

AFKORTINGEN EN SYMBOLEN LIJST



Symbolenlijst

Symbool	Beschrijving
r	Afstand tot hart windturbine (ook wel r_i)
d	Maximale mastbreedte [meter]
P_m	Trefkans /m binnen in mast [# / jaar]
P_{mb}	Kans op mastbreuk per jaar (faalfrequentie)
H	Ashoogte [meter]
D	Rotordiameter [meter]
P_{to}	Trefkans /m van mast tot tiplaagte
d_r	Mastbreedte op hoogte r
G	Maximum gondelhoogte / breedte
P_{tl}	Trefkans /m van tiplaagte tot onderkant gondel
Opp_{blad}	Fysieke oppervlakte van drie bladen
Opp_{rotor}	Oppervlakte van de gehele rotor
B_{gondel}	Maximale dimensie van de gondel
P_g	Trefkans /m van gondellaagte tot gondelhoogte
P_{tip}	Trefkans /m van gondelhoogte tot tiphoogte
P_{gon}	Trefkans /m tot gondelvalafstand
P_{gf}	Kans op gondelfalen per jaar (faalfrequentie)
$P_{gon,r}$	Trefkans /m vanaf gondelvalafstand tot ½e rotor
f_{ZWPT}	Trefkans van zwaartepunt van blad per m ²
x, y	Meter ² op afstand x (horizontaal) en afstand y (verticaal)
Ω	Toerental windturbine
f_R	Kans op inslag ZWPT op afstand r
P_p	Trefkans van persoon die permanent aanwezig is op locatie
A_c	Kritiek oppervlakte van blad (t.o.v. persoon)
x^*y^*	Specifieke positie binnen effectzone
d_p	Breedte van persoon
c	Breedte van de mast
φ	Landingshoek van een windturbineblad
PR	Plaatsgebonden Risico
$PR = 10^{-5}$	Maximale contour waarbuiten het PR-risico kleiner is als ééns in 100.000 jaar
$PR = 10^{-6}$	Maximale contour waarbuiten het PR-risico kleiner is als ééns in 1.000.000 jaar

718026
31 oktober 2018

**ANALYSE PR CONTOUREN
WINDPARK ELZENBURG – DE
GEER**

Raedthuys Windenergie B.V.

V2.0



Duurzame oplossingen in
energie, klimaat en milieu

Postbus 579
7550 AN Hengelo
Telefoon (074) 248 99 40

Documenttitel	Analyse PR contouren Windpark Elzenburg – De Geer
Soort document	V2.0
Datum	31 oktober 2018
Projectnummer	718026
Opdrachtgever	Raedthuys Windenergie B.V.
Auteur	B. Vogelaar, Pondera Consult
Vrijgave	D. Oude Lansink, Pondera Consult

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
1.1	Generieke versus specifieke berekeningen	1
2	Windturbine eigenschappen	2
3	Faalscenario's	3
3.1	Berekening mastfalen	3
3.2	Berekening gondelfalen	5
3.3	Berekening bladworp bij nominaal en overtoeren situaties	6
4	Rekenresultaten	8
4.1	Nordex N131 op 144 meter	8
4.2	Enercon E-126 EP4 op 145 meter	9
4.3	GE-3.2-130 op 145 meter	10
4.4	Siemens SWT-3.3-130 op 145 meter	11
4.5	Vestas V126-3.3 op 145 meter	12
4.6	Vestas V136-3.45 op 144 meter	13
4.7	Overige windturbines	14
5	Resultaten en kaartweergave	15
5.1	Conclusie	15
Bijlage 1		
	Data herkomst gegevens windturbines	
Bijlage 2		
	Afkortingen en symbolen lijst	

1 INLEIDING

Raedthuys Windenergie B.V. heeft voor de ontwikkeling van twee windturbines van Windpark Elzenburg - De Geer gevraagd naar een nader onderzoek naar de ligging van de plaatsgebonden risicocontouren van windturbines binnen de dimensies van windturbines die geplaatst kunnen worden bij Windpark Elzenburg - De Geer. Deze analyse beschrijft de specifieke berekeningen en uitkomsten van een kwantitatieve risico analyse van verschillende windturbintypes die toegepast kunnen worden voor Windpark Elzenburg - De Geer. De te onderzoeken windturbines passen binnen de aangegeven maximale dimensies van:

- Maximale rotordiameter = 136 meter;
- Maximale tiphoogte = 210 meter;
- Maximale ashoogte = 145 meter.

In het Milieueffectrapport en bestemmingsplan "Windmolenpark Elzenburg – De Geer" is een minimale afstand aangehouden van de windturbines tot aan de bestemmingen 'Bedrijf' van het bedrijventerrein Elzenburg-De Geer" van 182 meter. De maximale $PR10^{-06}$ contour van de windturbines mag dus 182 meter bedragen¹. Dit rapport maakt inzichtelijk of de $PR10^{-06}$ contour bij toepassing van reële windturbines, passend binnen de maximale dimensies, binnen deze afstand van 182 meter blijft.

1.1 Generieke versus specifieke berekeningen

De berekeningen worden uitgevoerd met behulp van de meest recente versie van bijlage C van het Handboek Risicozonering Windturbines 2014 (HRW v3.1)² waarin beschreven staat hoe de plaatsgebonden risico's van windturbines berekend kunnen worden per faalscenario. De uitkomsten van deze specifieke berekeningen zijn minder worst-case ten opzichte van bijlage B van het Handboek en leiden daarmee ook tot exacte afstanden voor de plaatsgebonden risicocontouren als de generieke waarden die beschreven staan in paragraaf 3.3.3 van de hoofdtekst van het HRW.

Het HRW geeft zelf aan dat:

Kader 1.1 Tekst over generieke gegevens uit het HRW (pagina 22)

"Het uitvoeren van een kwantitatieve risicoanalyse volgens de methode die in de bijlage van dit Handboek is beschreven kan arbeidsintensief zijn. Over het algemeen kan met een eenvoudige aanpak en conservatieve uitgangspunten worden aangetoond dat de veiligheidscriteria niet worden overschreden. Daarom zijn in bijlage B "Generieke Gegevens", generieke conclusies afgeleid voor wat betreft trefkansen van personen en objecten."

In deze analyse worden de specifieke berekeningen gebruikt om de ligging van de plaatsgebonden risicocontouren te berekenen.

¹ Deze 182 meter is bepaald door de afronding naar boven van de $PR10^{-06}$ van de worst-case windturbine, zoals deze in het Milieueffectrapport voor Windmolenpark Elzenburg-De Geer is onderzocht. Dit is Nordex N131 met een $PR10^{-6}$ van 181 meter.

² Vanaf dit punt in deze rapportage wordt naar het handboek verwezen als HRW.

2 WINDTURBINE EIGENSCHAPPEN

De benodigde windturbine eigenschappen worden bepaald aan de hand van documentatie van de verschillende windturbintypes die aangeleverd wordt door de fabrikanten of kan worden gevonden in algemene databases over windturbine eigenschappen. Er komen op een hoog tempo nieuwe windturbintypes op de markt waardoor het kan zijn dat sommige specifieke gegevens nog niet bekend zijn van een specifiek windturbintype. Indien gegevens benodigd voor de analyse ontbreken wordt gebruik gemaakt van gegevens van vergelijkbare windturbintypes en/of wordt een worst-case inschatting gemaakt van de eigenschap. In onderstaande tabel staan de verschillende eigenschappen genoteerd. De gebruikte databronnen staan vermeld in bijlage 1. Onderstaand schema geeft een overzicht van reële windturbines die passend zijn binnen de aangegeven dimensies.

Tabel 2.1 Gebruikte gegevens van windturbines

Windturbintype	Nordex N131	Enercon E-126 EP4	GE 3.2-130	Siemens SWT-3.3-130	Vestas V126-3.3	Vestas V136-3.45
Ashoogte	144	145	145	145	145	142
Rotordiameter	131	127	130	130	126	136
Maximale mastbreedte	4,3	13,22	8,11	4,5	6	6
Nominaal toerental (rpm)	12,1	11,6	12,1	12,2	12,8	11,7
Maximale bladbreedte	3,94	4,75	4	4,2	4	4,11
Bladlengte	65,5	63,5	65	65	63	68
Afstand van Zwaartekracht op blad tot hubcentrum	22,9	21,17	21,67	21,67	21	22,67
Lengte gondel	12,22	18,3	12,73	9,33	17,14	17,14
Breedte gondel	4,3	8,8	4,2	4,15	3,9	3,9
Hoogte gondel	5,2	9,3	3,6	6,3	6,77	6,77

* Gewichten in ton en afstanden in meters

Naast bovenstaande zes windturbines die specifiek zijn onderzocht zijn overige beschikbare windturbines ook beschouwd in de bepaling van hun werpafstand bij nominaal toerental, dit om te kunnen analyseren of de afstand van 182 meter geschikt is als maximale maat voor de generieke bepaling van de PR10⁻⁰⁶ contour van windturbines binnen de aangegeven dimensies.

3 FAALSCENARIO'S

Om de plaatsgebonden risico's te berekenen worden de volgende faalscenario's van windturbines beschouwd conform het HRW:

- Gondelfalen; faalfrequentie: 4×10^{-5} per jaar
 - De gondel en rotor vallen langs de mastoren naar beneden.
- Mastfalen; faalfrequentie: $1,3 \times 10^{-4}$ per jaar
 - De mast breekt af bij de voet en valt in zijn geheel om inclusief rotor en gondel.
- Bladworp bij nominaal toerental; faalfrequentie: $8,4 \times 10^{-4}$ per jaar
 - Een blad breekt in zijn geheel af zonder verlies van energie tijdens een toerental behorend bij nominaal vermogen en wordt geworpen.
- Bladworp bij overtoeren; faalfrequentie: 5×10^{-6} per jaar
 - Een blad breekt in zijn geheel af zonder verlies van energie tijdens een overtoeren situatie bij een 2x zo hoog toerental als behorend bij nominaal vermogen en wordt geworpen.

In onderstaande paragrafen wordt kort per faalscenario toegelicht welke berekeningen zijn uitgevoerd. De gebruikte symbolen zijn terug te vinden in bijlage 2.

3.1 Berekening mastfalen

Voor de berekening van mastfalen is gebruik gemaakt van de formules in hoofdstuk 5.1 van bijlage C van het HRW. Hierbij wordt conservatief verondersteld dat de breedte van de mast lineair afneemt van de voet tot aan ashoogte van de maximale mastbreedte tot aan de minimale mastbreedte.

0 meter tot halve mastbreedte

Voor de eerste meters vanaf het hart van de windturbine tot aan een halve torenbreedte wordt uitgegaan van een risico van 100% van de faalfrequentie van mastfalen.

Voor $r \leq 0,5 \times d$

$$P_m = P_{mb} \times 100\%$$

Halve mastbreedte tot aan tiplaagte

De kans dat een vierkante meter wordt geraakt is gelijk aan de breedte van de mast op de te raken afstand gedeeld door de mogelijke valrichtingen.

Voor $(0,5 \times d) < r \leq (H - \frac{D}{2})$

$$P_{to} = P_{mb} \times \frac{d_r}{2 \times \pi \times r}$$

Tiplaagte tot aan onderkant gondel

Op deze valafstand kan een vierkante meter geraakt worden door de mast en door de aanwezigheid van de drie vallende rotorbladen.

Voor $(H - \frac{D}{2}) < r \leq (H - \frac{G}{2})$

$$P_{tl} = P_{mb} \times \frac{d_r}{2 \times \pi \times r} + P_{mb} \times \frac{D}{2 \times \pi \times r} \times \frac{Opp_{blad}}{Opp_{rotor}}$$

Onderkant gondel tot bovenkant gondel

Op deze valafstand kan een vierkante meter geraakt worden door de gondel en door de aanwezigheid van de drie vallende rotorbladen.

Voor $\left(H - \frac{G}{2}\right) < r \leq \left(H + \frac{G}{2}\right)$

$$P_g = P_{mb} \times \frac{B_{gondel}}{2 \times \pi \times r} + P_{mb} \times \frac{D}{2 \times \pi \times r} \times \frac{Opp_{blad}}{Opp_{rotor}}$$

Bovenkant gondel tot tiphoogte

Op deze valafstand kan een vierkante meter geraakt worden door de aanwezigheid van de drie vallende rotorbladen³.

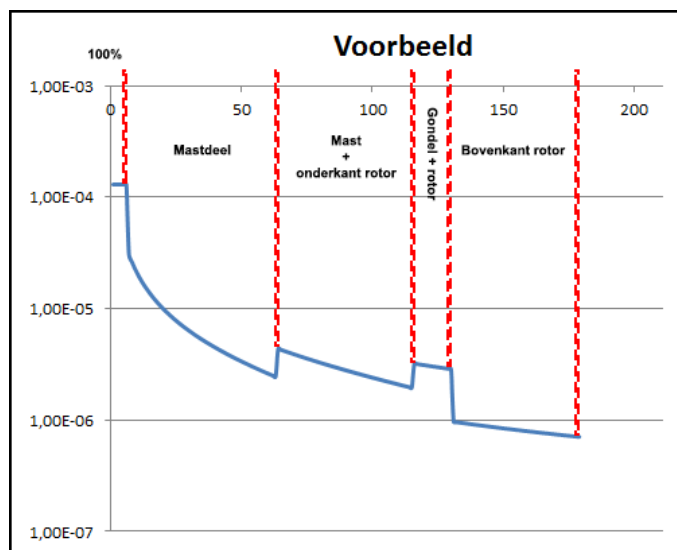
Voor $\left(H + \frac{G}{2}\right) < r \leq (Tiphoogte)$

$$P_{tip} = P_{mb} \times \frac{D}{2 \times \pi \times r} \times \frac{Opp_{blad}}{Opp_{rotor}}$$

Weergave van scenario mastfalen

Bovenstaande berekeningen resulteert in de volgende plaatsgebonden risico verdeling voor het scenario mastfalen.

Figuur 3.1 Weergave van berekening mastfaal risico



³ Voor de berekening wordt uitgegaan van het worst-case risico van aanwezigheid van alle drie de bladen ongeacht de stand van de wieken.

3.2 Berekening gondelfalen

In hoofdstuk 6.1 van bijlage C van het HRW staat omschreven hoe het scenario gondelfalen dient te worden berekend. Dit sluit aan bij de beschrijving voor mastfalen in paragraaf 3.1 waarbij nu de valafstand als 0 meter wordt gezien.

0 meter tot maximale gondelbreedte of hoogte

Voor de eerste meters vanaf het hart van de windturbine tot aan een de gondelbreedte of hoogte wordt uitgegaan van een risico van 100% van de faalfrequentie van gondelfalen.

Voor $r \leq B_{gondel}$

$$P_{gon} = P_{gf} \times 100\%$$

Gondelhoogte tot aan halve rotordiameter

Op deze valafstand kan een vierkante meter geraakt worden door de aanwezigheid van de drie vallende rotorbladen.

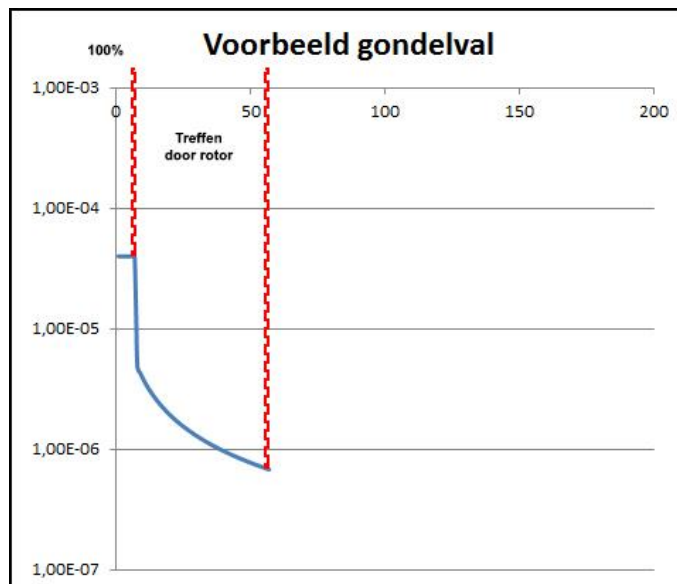
Voor $B_{gondel} < r \leq (\frac{D}{2})$

$$P_{gon,r} = P_{gf} \times \frac{D}{2 \times \pi \times r} \times \frac{Opp_{blad}}{Opp_{rotor}}$$

Weergave van scenario gondelfalen

Bovenstaande berekeningen resulteert in de volgende plaatsgebonden risico verdeling voor het scenario gondelfalen.

Figuur 3.2 Weergave van berekening gondelfaal risico



3.3 Berekening bladworp bij nominaal en overtoeren situaties

Voor bladworp wordt in eerste instantie de trefkansverdeling bepaald van het zwaartepunt van het blad op één vierkante meter met behulp van een kogelbaanmodel zonder luchtkrachten. Op basis van deze informatie wordt vervolgens berekend wat de kans is dat een persoon geraakt kan worden door een deel van het blad indien het zwaartepunt op maximaal 2/3^e afstand van de persoon valt. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat het zwaartepunt van het blad op circa 1/3^e van de bladlengte is gelegen.

De kansverdelingsfunctie van de positie waar het zwaartepunt van het blad zal inslaan is berekend met de formules 2.1.1 tot 2.1.9 uit hoofdstuk 2.1 van bijlage C van het HRW.

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

Vervolgens wordt met behulp van formule 3.1.1 uit hoofdstuk 3.1 van het HRW de trefkans van een persoon uitgerekend.

$$p_p(x^*y^*) = 1,5 \times A_c \times p_{ZWPT}(x^*y^*)$$

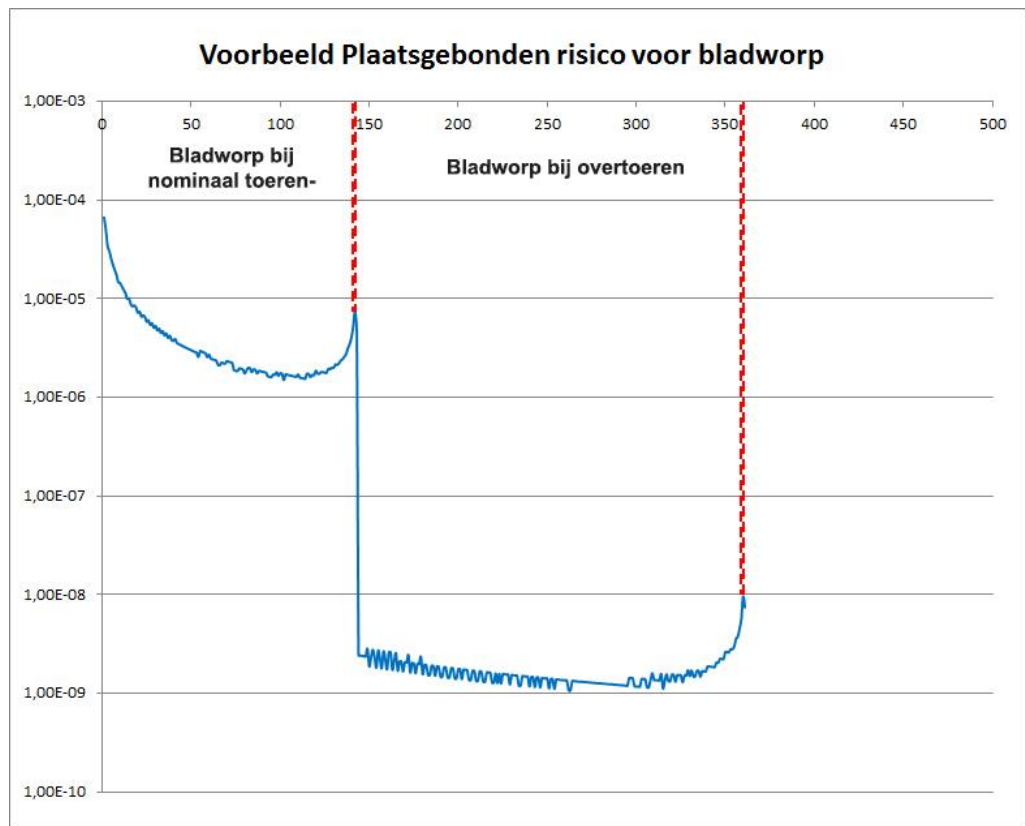
Waarbij A_c is bepaald met formule 3.1.8.

$$A_c = \pi \left(\frac{d}{2} + \frac{c}{2} \right)^2 + \int_{\frac{d+c}{2}}^{\frac{d}{2}+L_1} 2\varphi(r)dr + \int_{\frac{d+c}{2}}^{\frac{d}{2}+L_2} 2\varphi(r)dr$$

Weergave van scenario bladworp bij nominaal toerental en overtoeren

Bovenstaande berekeningen resulteert in de volgende plaatsgebonden risico verdeling voor het scenario bladworp bij nominaal toerental. Het resultaat van het scenario bladworp bij overtoeren is een vergelijkbare grafiek alleen dan berekend met een toerental van 2x nominaal.

Figuur 3.3 Weergave van berekening bladworp bij nominaal toerental en overtoeren



De cumulatieve plaatsgebonden risicocontouren zijn per windturbine weergegeven in onderstaande paragrafen.

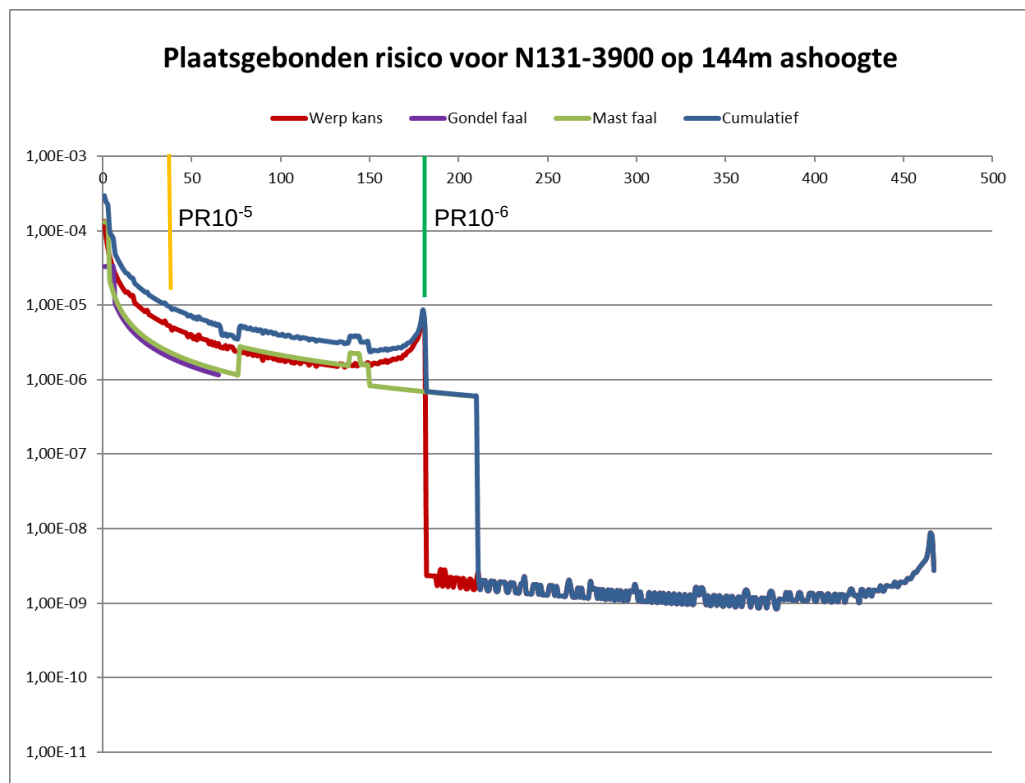
4 REKENRESULTATEN

4.1 Nordex N131 op 144 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 36 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 181 meter.

Figuur 4.1 Plaatsgebonden risico voor Nordex N131 op 144 meter

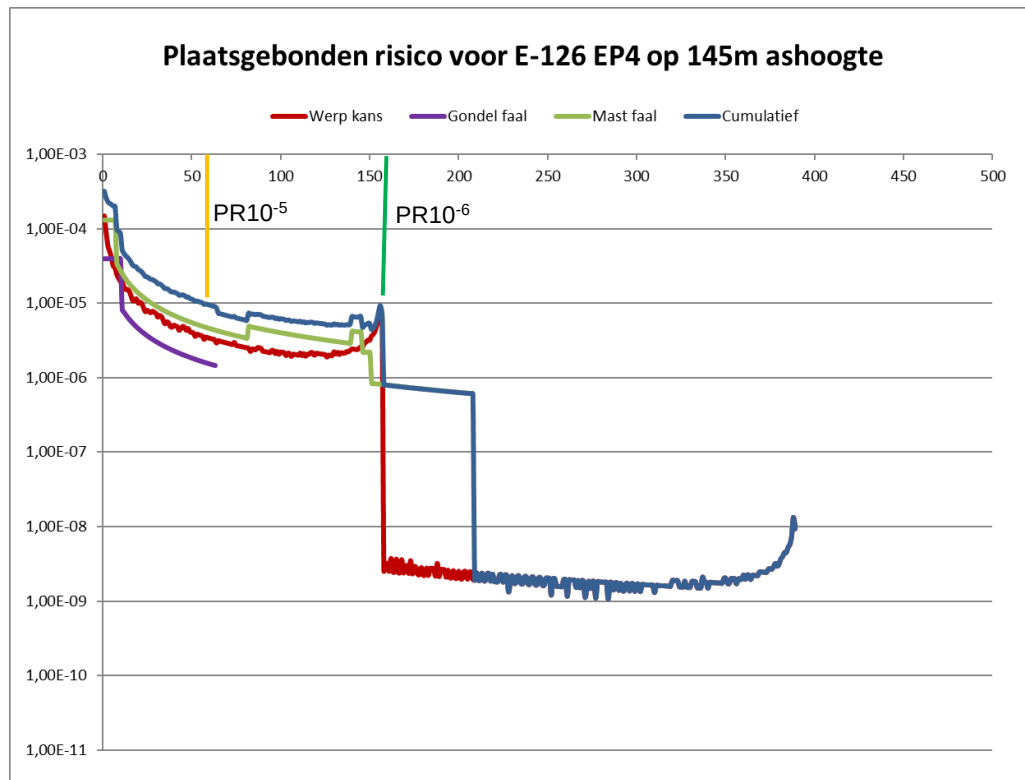


4.2 Enercon E-126 EP4 op 145 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 57 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 158 meter.

Figuur 4.2 Plaatsgebonden risico voor Enercon E-126 op 145 meter



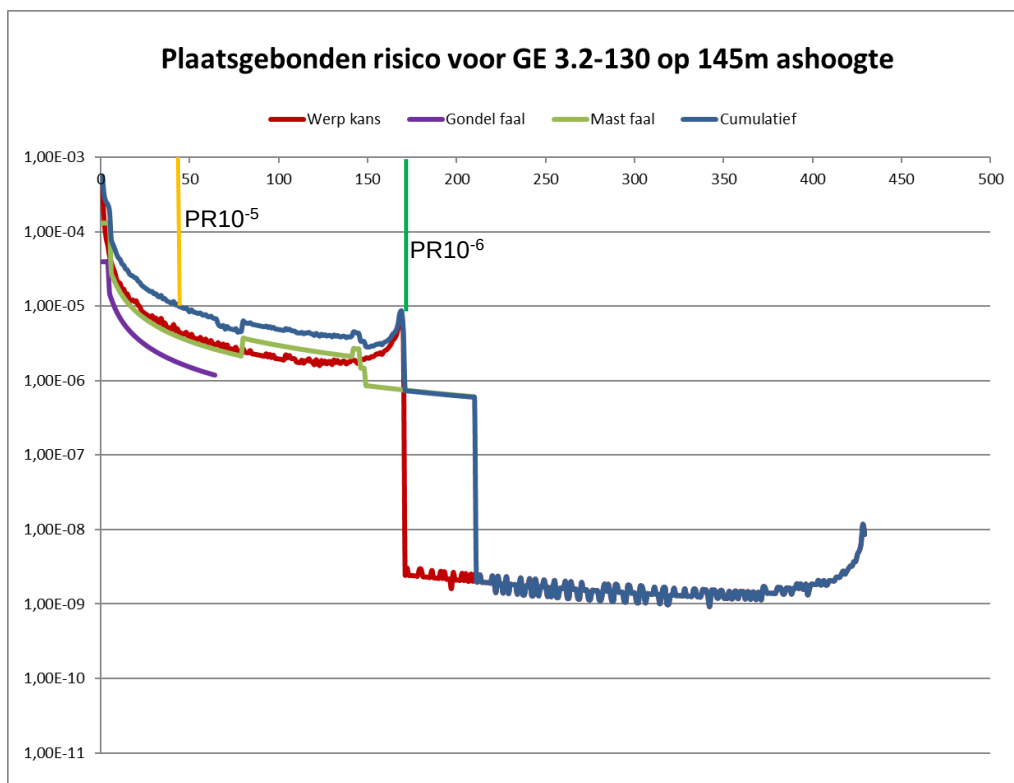
*Opmerking: De gondel van een Enercon E-126 EP4 is afwijkend groot in vergelijking met overige windturbines en zorgt daarmee voor een vergrote ligging van de $PR10^{-05}$ contour.

4.3 GE-3.2-130 op 145 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 44 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 171 meter.

Figuur 4.3 Plaatsgebonden risico voor GE 3.2-130 op 145 meter

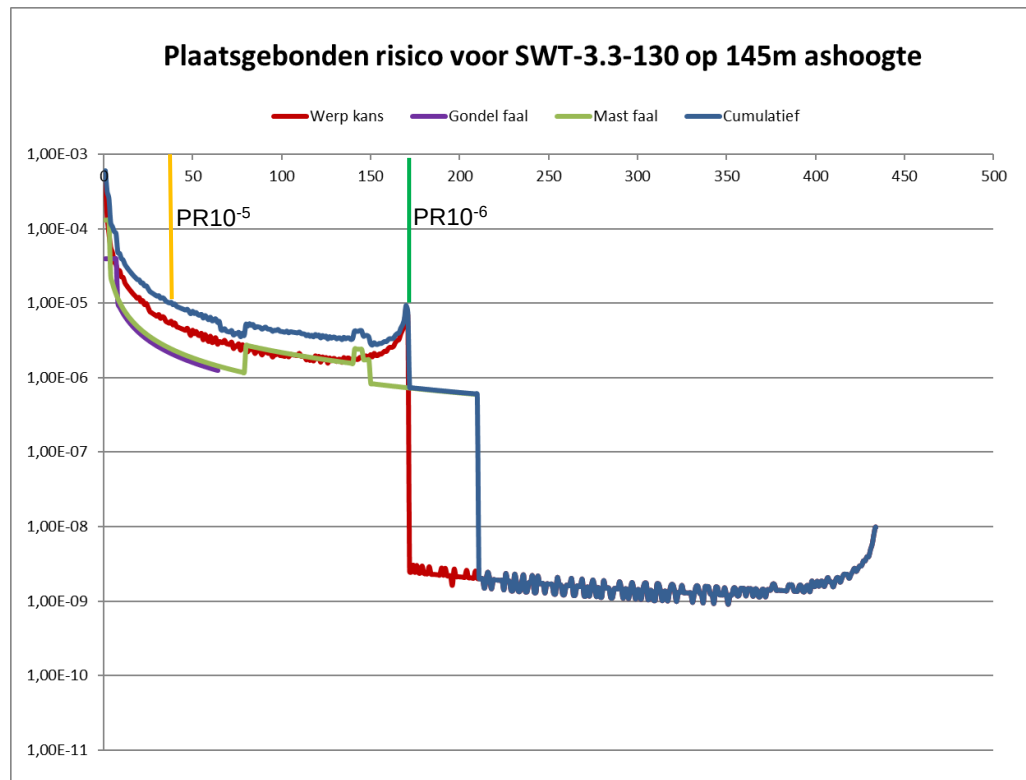


4.4 Siemens SWT-3.3-130 op 145 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 39 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 171 meter.

Figuur 4.4 Plaatsgebonden risico voor Siemens SWT-3.3-130 op 145 meter

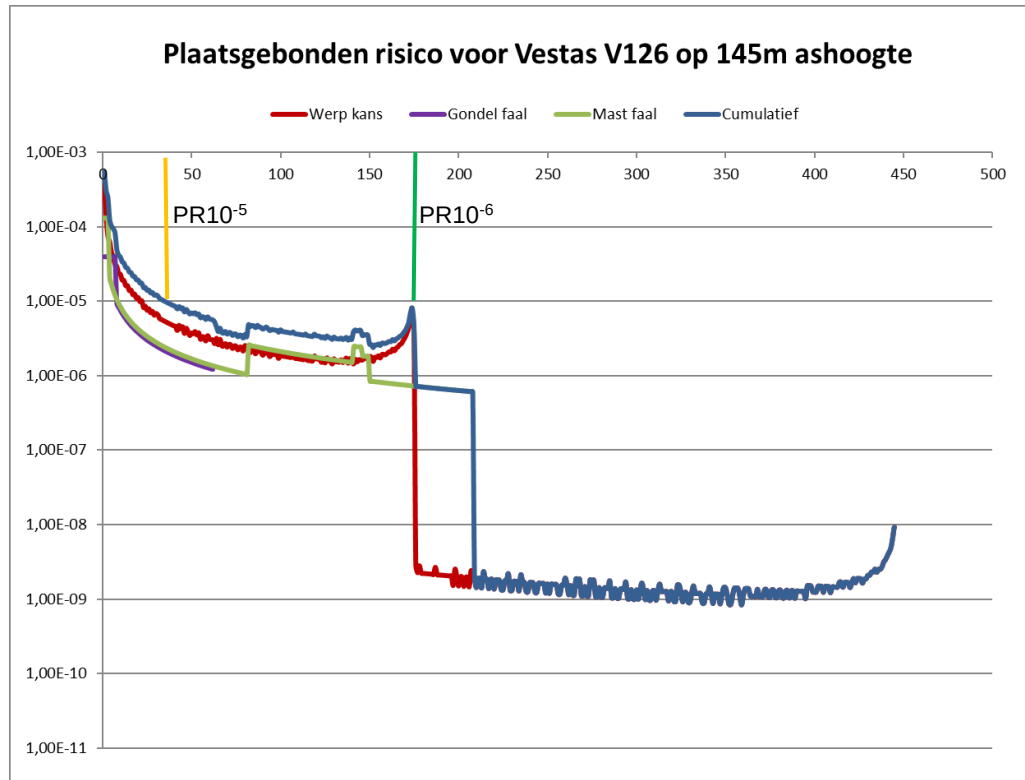


4.5 Vestas V126-3.3 op 145 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 34 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 175 meter.

Figuur 4.5 Plaatsgebonden risico voor Vestas V126-3.3 op 145 meter

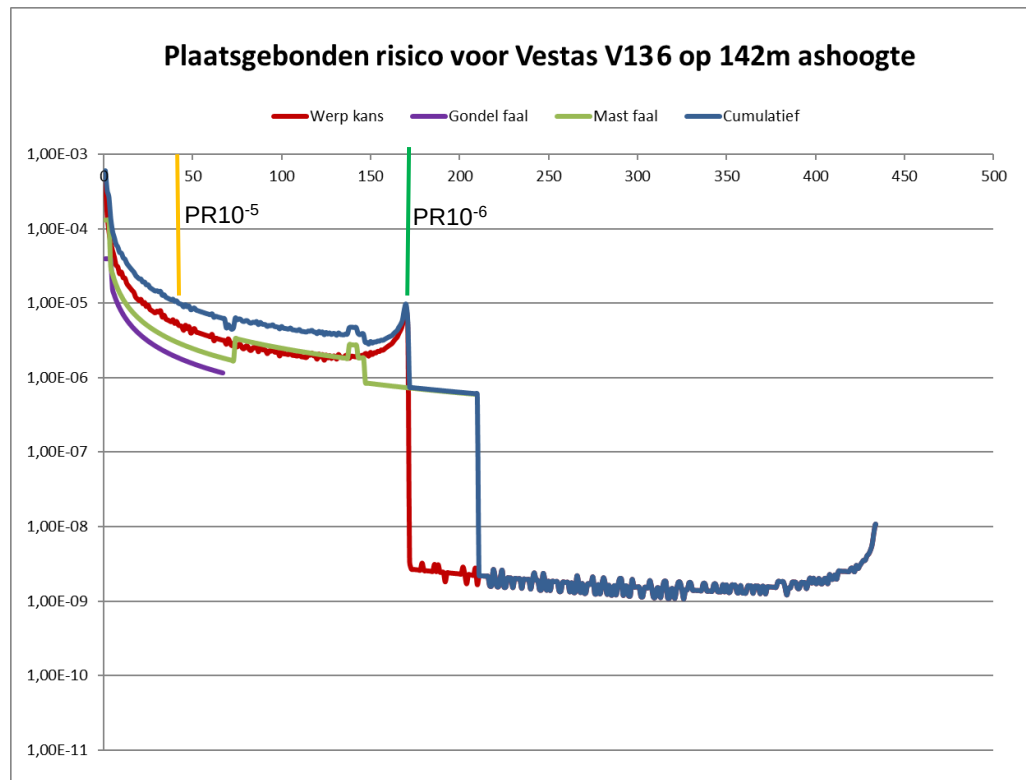


4.6 Vestas V136-3.45 op 144 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 42 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 171 meter.

Figuur 4.6 Plaatsgebonden risico voor Vestas V136-3.3 op 142 meter



4.7 Overige windturbines

Uit bovenstaande analyses is te zien dat buiten de werpafstand bij nominaal toerental (werpkans in grafieken) het plaatsgebonden risico (PR) niet boven de 10^{-06} uit komt door de faalscenario's mastfalen en bladworp bij overtoeren. Hiervan uitgaande kunnen we voor overige windturbines onderzoeken welke werpafstanden deze behalen om daarmee uit te kunnen sluiten dat de $PR10^{-06}$ contour van deze windturbines groter wordt dan de werpafstand bij nominaal toerental. De werpafstanden bij nominale toerental van een groter aantal windturbines op de reguliere ashoogten van deze windturbintypes is onderstaand als lijst bijgevoegd. Dit is geen uitputtende lijst van alle beschikbare windturbintypen en instelling maar geeft inzicht of een maximale $PR10^{-06}$ contour op een afstand van 182 meter een haalbare optie is bij bekende windturbintypes en bijbehorende dimensies.

Figuur 4.7 Algemeen overzicht windturbines werpafstanden bij nominaal toerental windturbines

Turbintype	Fabrikant	Max vermogen	Max Ashoogte	Alt. Ashoogten	Rotordiameter	max Tiphoogte	Nominaal toerental	Werpafstand nominaal
V136-4.2	Vestas	4,2	162	82 105 112	136	230	10,4	157
V136-3.45	Vestas	3,45	142	82 112 132	136	210	11,7	171
N131/3000	Nordex	3	144	99 114 134	131	209,5	10,3	142
N131/3300	Nordex	3,3	164	134	131	229,5	10,9	159
N131/3600	Nordex	3,6	120	84 106 112	131	185,5	11,9	156
N131/3900	Nordex	3,9	134	84 114 120	131	199,5	12,6	175
GE 3.2-130	GE	3,2	155	85 110 134	130	220	12,1	174
SWT-3.3-130	Siemens	3,3	135	85 115	130	200	12,2	167
SWT-3.3-130 LN	Siemens	3,3	135	85	130	200	11,4	154
SWT-DD-130	Siemens	4,2	135	85 115	130	200	12,5	172
SG 2.7-129	Siemens /	2,75	87		129	151,5	12,5	146
E-126 EP8	Enercon	7,5	135		127	198,5	12	159
E-126 EP4-4.0	Enercon	4	135	86 99 116	127	198,5	12,4	165
E-126 EP4-4.2	Enercon	4,2	159	135 144	127	222,5	11,6	163
V126-3.0	Vestas	3,6	147	87 117 137	126	210	12,1	164
V126-3.45 LTq	Vestas	3,45	137	87 117	126	200	13,4	181
V126-3.45 HTq	Vestas	3,45	145	87 117 137	126	208	11,8	159
V126-3.3	Vestas	3,3	137	117 128	126	200	12,8	171
3.2M122	Senvion	3,2	139	89 119	122	200	11,2	142
GE 2.75-120	GE	2,75	139	85 98,3 110 120	120	199	13	165
SWT-4.0-120	Siemens	4	89,5		120	149,5	14	155
SWT-DD-120	Siemens	4,3	85		120	145	13,7	148
SWT-2.5-120	Siemens	2,5	85,1		120	145,1	13,1	140
SWT-2.3-120	Siemens	2,3	92	80	120	152	13	142
Vensys-120	Vensys	3	140	90 98,3 115	120	200	12,8	163
N117/2400	Nordex	2,4	141	91 120	117	199,5	11,8	144
V117-4.2	Vestas	4,2	91,5	84	117	150	13,6	145
V117-3.6	Vestas	3,6	116,5	80 91,5	117	175	14	164
V117-3.45	Vestas	3,45	116,5	80 91,5	117	175	13,8	161
V117-3.3	Vestas	3,3	116,5	91,5	117	175	13,1	151
N117/3600	Nordex	3,6	141	91 106 120	117	199,5	12,6	155
E-115 EP2	Enercon	3,2	149,1	92,1 122,1 135,5	115,7	206,95	13,1	164
E-115 TES	Enercon	3	149	92 135,4	115,7	206,85	12,8	160
E-115	Enercon	3	149	92 135,4	115,7	206,85	12,4	154
E-112	Enercon	4,5	124		114	181	13	149
3.4M114	Senvion	3,4	143	93 123	114	200	12,1	145
SWT-3.2-113	Siemens	3,2	115	79,5 835 88 92,5 99,5	113	171,5	15	170
SWT-2.3-113	Siemens	2,3	142,5	92,5 99,5 122,5	113	199	13	155
Vensys 112	Vensys	3	140	93,5	112	196	13,6	161
V112-3.6	Vestas	3,6	94	69	112	150	14	144
V112-3.45	Vestas	3,45	119	69 84 94	112	175	13,8	154
V112-3.3	Vestas	3,3	140	84 94 119	112	196	13,1	154
V112-3.075	Vestas	3,075	119	84 94 96 119	112	175	12,8	141

5 RESULTATEN EN KAARTWEERGAVE

Samengevat zijn de resultaten van de berekeningen als volgt:

Tabel 5.1 Overzicht berekende afstanden

Contour	Nordex N131	Enercon E-126 EP4	GE- 3.2-130	Siemens SWT-3.3-130	Vestas V126-3.3	Vestas V136-3.45	Overige turbines*
PR 10-5	37	57	44	39	34	42	ca. 60m
PR 10-6	181	158	171	171	175	171	181
½e RD	65,5	63,5	65	65	63	68	68
Tiphoogte	210	208,5	210	210	208	210	210

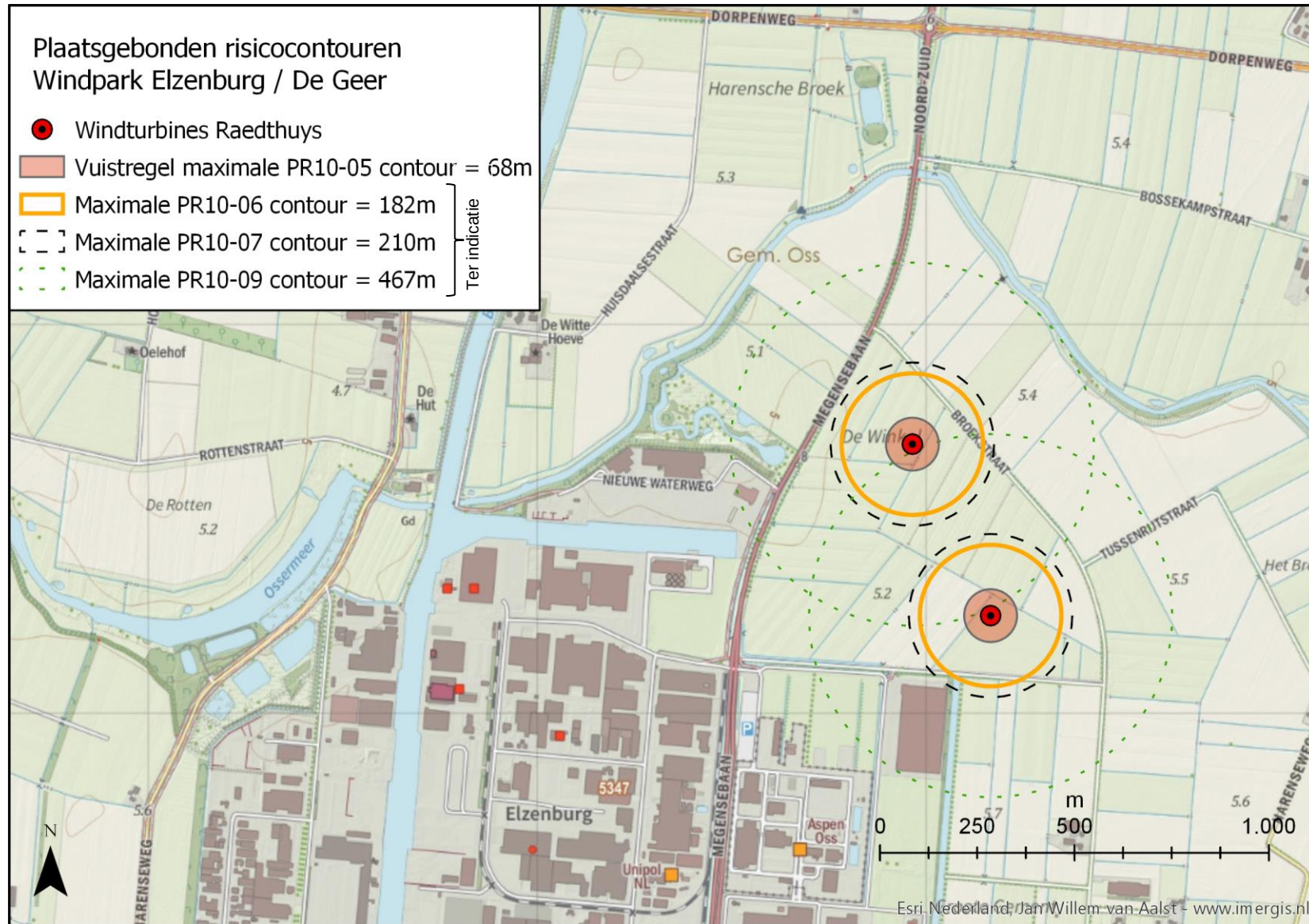
* De waarde weergegeven voor overige turbines is een inschatting op basis van een werpafstand analyse en bevat geen volledige plaatsgebonden risicoanalyse.

5.1 Conclusie

Uit de nadere berekening van windturbines beschikbaar binnen de aangegeven maximale dimensies van Windpark Elzenburg – De Geer blijkt dat de specifieke plaatsgebonden risicocontouren met een risico van $PR10^{-5}$ liggen op een afstand van 34 tot 57 meter van de onderzochte windturbines. De specifieke plaatsgebonden risicocontouren met een risico van $PR10^{-6}$ liggen op een afstand van 158 tot 181 meter van de onderzochte windturbines.

Uit de analyse blijkt ook dat alle beschikbare windturbines binnen de aangegeven dimensies een maximale $PR10^{-6}$ contour hebben van kleiner dan 182 meter.

Uitvoering van mitigerende maatregelen, zoals sectormanagement en faalfrequentie reducerende maatregelen (bijvoorbeeld over-dimensionering van de sterkte van de windturbinemast), kunnen de betrokken risicocontouren verkleinen.



BIJLAGE 1

DATA HERKOMST GEGEVENS WINDTURBINES



Algemeen

- Datagegevens verkregen uit Windpro Windturbine Generator Catalogue, geraadpleegd op 28-08-2018.

Nordex N131

- Gegevens verkregen uit: “* MER Windmolenpark Elzenburg - te Geer te Oss – EV” - Conform rapportage Antea (14-03-2017)

Enercon E-126 EP4

- Gegevens verkregen uit Enercon data sheet “Datenblatt_E-126EP4” from http://eplatform-4mw.de/downloads/Datenblatt_E-126EP4_en.pdf geraadpleegd op 28 08 2018

GE 3.2-130

- Gegevens vertrouwelijk, niet vrijgegeven door GE

Siemens SWT-3.3-130

- Gegevens verkregen uit Data sheet “Wind turbine SWT-3.3-130 Technical specifications” from Siemens.com/wind uit 2016

Vestas V126

- Gegevens verkregen uit documentatie “General Specification V126-3.3 MW 50/60 Hz” van Vestas uit 12-11-2014.

Vestas V136

- Gegevens verkregen van website van vestas bij Technical Specifications via: https://www.vestas.com/en/products/turbines/v136-3_45_mw#!technical-specifications geraadpleegd op 28-08-2018

BIJLAGE 2

AFKORTINGEN EN SYMBOLEN LIJST



Symbolenlijst

Symbool	Beschrijving
r	Afstand tot hart windturbine (ook wel r_i)
d	Maximale mastbreedte [meter]
P_m	Trefkans /m binnen in mast [# / jaar]
P_{mb}	Kans op mastbreuk per jaar (faalfrequentie)
H	Ashoogte [meter]
D	Rotordiameter [meter]
P_{to}	Trefkans /m van mast tot tiplaagte
d_r	Mastbreedte op hoogte r
G	Maximum gondelhoogte / breedte
P_{tl}	Trefkans /m van tiplaagte tot onderkant gondel
Opp_{blad}	Fysieke oppervlakte van drie bladen
Opp_{rotor}	Oppervlakte van de gehele rotor
B_{gondel}	Maximale dimensie van de gondel
P_g	Trefkans /m van gondellaagte tot gondelhoogte
P_{tip}	Trefkans /m van gondelhoogte tot tiphoogte
P_{gon}	Trefkans /m tot gondelvalafstand
P_{gf}	Kans op gondelfalen per jaar (faalfrequentie)
$P_{gon,r}$	Trefkans /m vanaf gondelvalafstand tot 1/2e rotor
f_{ZWPT}	Trefkans van zwaartepunt van blad per m2
x, y	Meter2 op afstand x (horizontaal) en afstand y (verticaal)
Ω	Toerental windturbine
f_R	Kans op inslag ZWPT op afstand r
P_p	Trefkans van persoon die permanent aanwezig is op locatie
A_c	Kritiek oppervlakte van blad (t.o.v. persoon)
x^*y^*	Specifieke positie binnen effectzone
d_p	Breedte van persoon
c	Breedte van de mast
φ	Landingshoek van een windturbineblad
PR	Plaatsgebonden Risico
$PR = 10^{-5}$	Maximale contour waarbuiten het PR-risico kleiner is als ééns in 100.000 jaar
$PR = 10^{-6}$	Maximale contour waarbuiten het PR-risico kleiner is als ééns in 1.000.000 jaar