

**Memo aan:**

Jurian Lier, TenneT TSO

**Memo Nr:** 10006442-PMT/POL 17-1263**Van:** DNV GL - Energy**Datum:** 19 Okt. 2017**Door:** Ed Tap, DNV GL

Erwin Platenkamp, DNV GL

**Kopie aan:**

Ronald Lommers, DNV GL

Dit document is een geactualiseerde versie van het document met dezelfde naam uit 2014 "74101611-PMT/POL 14-2695", dd 21 oktober 2014.

**Titel**

Kwantitatieve Risicoanalyse (QRA) windturbines op Wintrack 4x380 te Eemshaven

---

## 1 ACHTERGROND

Op het hoogspanningsstation EOS (Eemshaven Oudeschip) te Eemshaven wordt een vier-circuit 380 kV verbinding aangesloten. Deze NW380-verbinding is opgebouwd middels Wintrack masten. In de nabijheid van de nieuwe verbinding staat een bestaande windturbine (nabij EOS; in de rode cirkel in Figuur 1) en er zijn vijf windturbines gepland in de nabijheid van de nieuwe verbinding. De geplande windturbines maken onderdeel uit van windpark Oostpolder (bevoegd gezag; provincie Groningen).

DNV GL is door TenneT gevraagd om het additionele risico ten gevolge van de windturbines op genoemde hoogspanningsverbinding te berekenen. In onderstaande Figuur 1 is een overzicht van de situatie opgenomen.



**Figuur 1: bestaende (rood omcirkeld) en geplande (groen) WTG's nabij NW380**

De risicoanalyse wordt uitgevoerd voor de twee-circuit en de vier-circuit 380 kV situatie van NW380, welke is opgebouwd met Wintrack-masten. De twee-circuit is de uitvoering met enkel de twee binnenste circuits en de vier-circuit situatie is met alle 380 kV circuits geïnstalleerd. In beide uitvoering zijn bliksemraden en retourstroomgeleiders op dezelfde posities geïnstalleerd.

In de vergunningaanvraag voor het windpark Oostpolder wordt aangegeven dat de keuze van een windturbine nog niet vastligt. In de vergunningaanvraag worden twee typen mogelijke windturbines als voorbeeld genoemd. Voor de geplande windturbines zal de analyse dan ook worden uitgevoerd met deze 2 typen.

De analyse wordt uitgevoerd voor de volgende typen windturbine:

- Enercon E82/3000-98 (al aanwezig op locatie Eemshaven)
- Lagerwey L136 4.0 MW (voorbeeld mogelijke windturbine)
- Enercon E-141 EP4 4,2 MW (voorbeeld mogelijke windturbine)

## 1.1 Beschouwde windturbines

Voor de risicoanalyse zijn voor de beschouwde windturbines de volgende karakteristieke waarden gebruikt:

**Tabel 1: Gegevens windturbines**

Windturbine	Enercon E82/3000-98 IEC klasse IA/IIA	Lagerwey L136 4.0 MW IEC klasse IIA	Enercon E-141 EP4 4,2 MW IEC klasse IIIA
Vermogen	3 MW	4 MW*	4,2 MW*
Rotordiameter	82 meter	136 meter*	141 meter*
Hubhoogte	98 meter	166 meter*	159 meter*
Nominaal toerental	18,5 rpm	14.1 rpm	10,6 rpm*
Overtoeren	37 rpm	25 rpm*	28 rpm*
Ashoogte	98 meter	166 meter	159 meter
Zwaartepunt rotorblad t.o.v. rotormiddelpunt	13,5 meter	22,8 meter	23 meter

\* Gegevens afkomstig uit de documenten van windpark Oostpolder (turbine specificaties).

De gegevens van de Enercon E82 turbine zijn overgenomen uit de vorige QRA.

Gegevens welke niet in de documenten van windpark Oostpolder (specificaties van de Lagerwey L136 en de Enercon E-141) konden worden gevonden, zijn overgenomen uit het "Handboek Risicozonering Windturbines", geactualiseerde versie 3.1, september 2014, Bijlage B.

## 1.2 Methodiek

De risicoanalyse is gebaseerd op het "Handboek Risicozonering Windturbines" (HRW), geactualiseerde versie 3.1, september 2014, uitgave RVO. Voor de risicoanalyse zijn de volgende faalfrequenties uit het HRW gehanteerd (HRW Bijl. B tabel 5):

- Mastbreuk  $1,3 \cdot 10^{-4}$ /jaar
- Gondelbreuk  $4,0 \cdot 10^{-5}$ /jaar
- Bladbreek bij nominaal toerental  $8,4 \cdot 10^{-4}$ /jaar
- Bladbreek bij 2x nominaal toerental  $5,0 \cdot 10^{-6}$ /jaar (overtoeren).

De faalfrequenties zijn gebaseerd op het 95% betrouwbaarheidspercentiel.

Voor de bepaling van de faalfrequentie is enkel naar bladafworp bij nominaal toerental gekeken. De kans op bladafworp ten gevolge van overtoeren is aanzienlijk lager omdat deze fouttoestand voor een windturbine zeer uitzonderlijk is. Deze kans wordt daarom voor deze analyse als niet significant beschouwd en niet meegenomen in deze analyse.

Op basis van de gegevens is voor elk van de drie (mogelijk) toe te passen windturbines de kansdichtheidsfunctie voor bladafworp bepaald. De resultaten daarvan zijn opgenomen in Bijlage A.

De berekeningsmethodiek is gebaseerd op Bijlage C van HRW. In de risicoanalyse is verondersteld dat er geen beschermingsfactoren aanwezig zijn; indien de verbinding geraakt wordt bij mastbreuk of bladafworp zal deze falen. Onder falen wordt verstaan: afschakelen van één of meerdere circuits voor kortere of langere tijd.

Het HRW geeft aan dat een kwantitatieve risicoanalyse verplicht is wanneer de afstand van een windturbine tot een bovengrondse hoogspanningsverbinding kleiner is dan één of beide onderstaande waarden:

- Maximale werpafstand bij nominaal toerental
- Ashoogte + 1/2 rotordiameter.

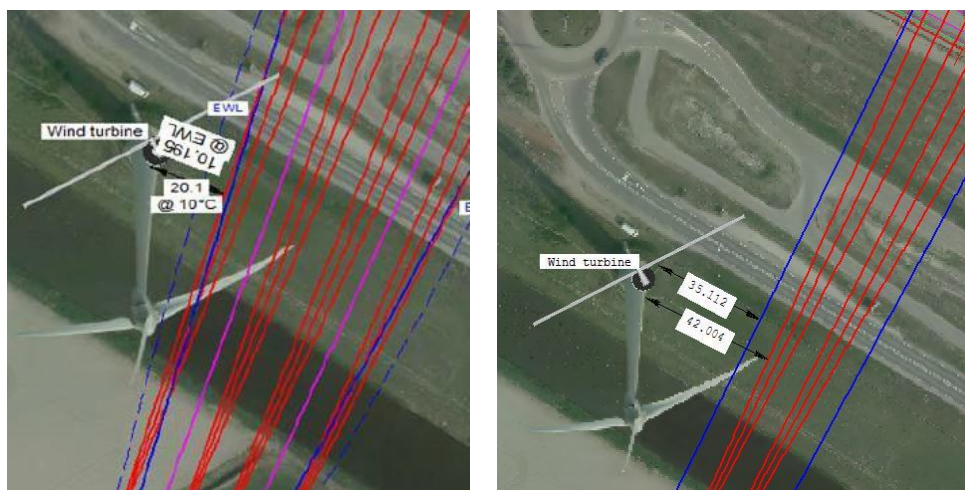
De maximale werpafstand bij nominaal toerental is voor iedere windturbine afgeleid uit de bijbehorende kansdichtheidsfunctie (Bijlage A). Ashoogte + 1/2 rotordiameter zijn te bepalen uit Tabel 1. Voor de drie typen windturbines gelden dan de volgende waarden:

**Tabel 2: Afstandscriterium risicoanalyse windturbines**

Windturbine	Enercon E82/3000-98	Lagerwey L136 4.0 MW	Enercon E-141 EP4 4,2 MW
Maximale werpafstand bij nominaal toerental	137 m	240 m	175 m
Ashoogte +1/2 rotordiameter	139 m	234 m	229,5 m

N.B. Het HRW schrijft voor wanneer een kwantitatieve risicoanalyse vereist is en geeft ook de methodiek voor het uitvoeren daarvan. Het HWR schrijft niet voor wat het toelaatbare additionele risico voor de hoogspanningsverbinding mag zijn. De resultaten van de risicoanalyse dienen aan TenneT overlegd te worden en vervolgens bepaalt TenneT of het additionele risico ten gevolge van de windturbines toelaatbaar is voor de verbinding.

In de vorige QRA (74101611-PMT/POL 14-2695, bij het ontwerp-Inpassingsplan ter inzage gelegd) was sprake van een aantal scenario's die met name invloed hadden op het risico gerelateerd aan turbine 4 (de reeds aanwezige windturbine). De situatie als destijds beschreven onder scenario 2 is de uitvoering zoals nu gepland. In onderstaande figuur is de geplande uitvoering van NW380 gegeven nabij turbine 4; links de situatie voor de 4 circuit-verbinding en rechts voor de verbinding indien uitgevoerd met 2 circuits.



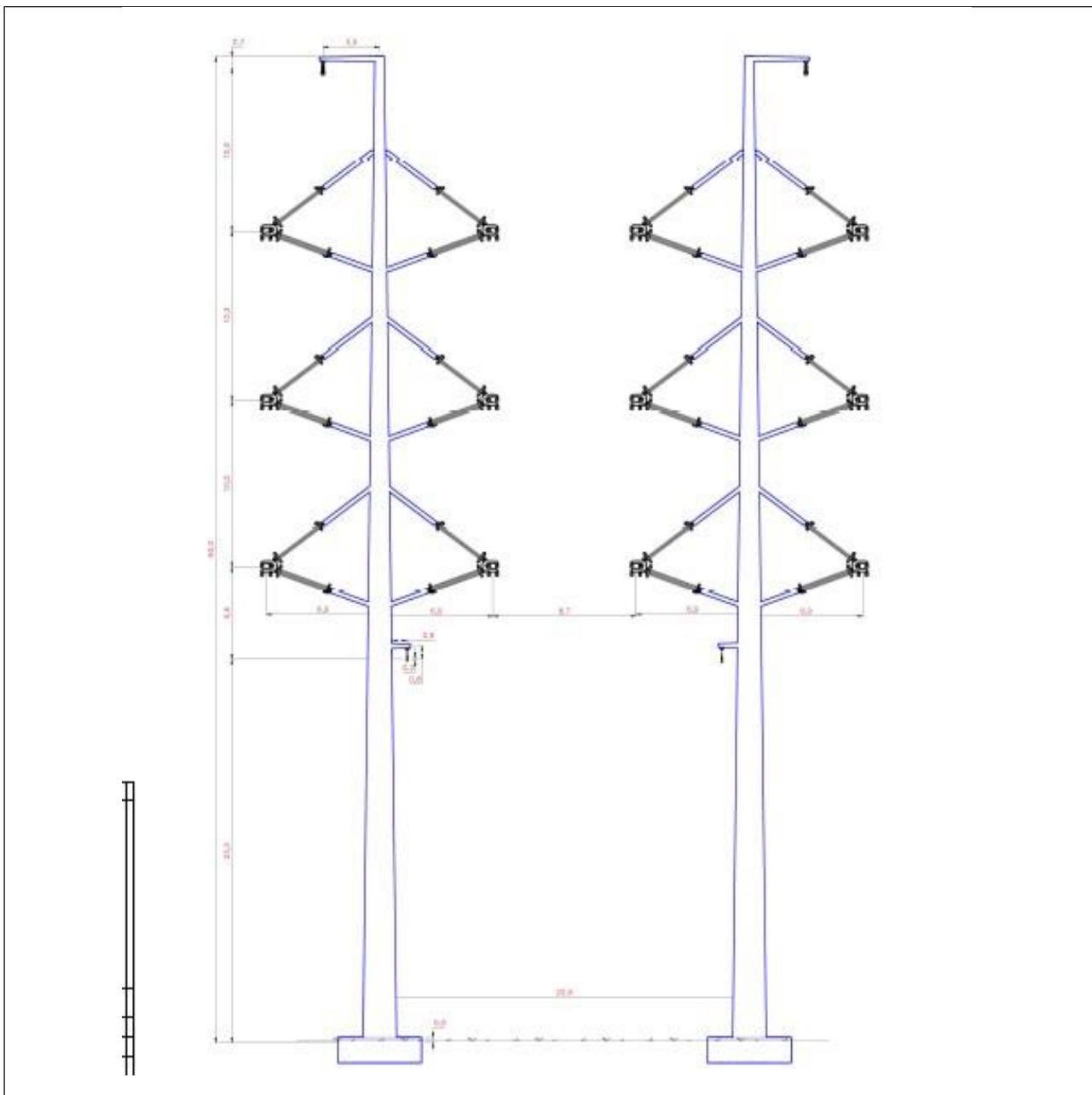
**Figuur 2: Situatie nabij bestaande windturbine nr. 4, vier circuits (links) en 2 circuits (rechts)**

### 1.3 Wintrack verbinding

In Figuur 3 is de Wintrack 4x380 steunmast voor een 400 meter veldlengte gegeven, deze mast is representatief voor de verbinding gebruikt voor de risicoanalyse.

In figuur 1 is de hartlijn van de verbinding aangegeven, de buitenste circuits zijn gelegen op een afstand van 18 meter van de hartlijn. De Wintrack mast heeft een hoogte van 60 meter en de ophanging van de onderfase is op ~29 meter, onder EDS (geen wind, 10°C) condities is de zeeg 11 meter. De hoogte van de onderfase tot maaiveld is 18 meter.

**Figuur 3: Wintrack vier circuit 380 kV steunmast (W6S400**



## 2 KWANTITATIEVE RISICOANALYSE UITVOERING VIER CIRCUITS

Voor de NW380 vier-circuit situatie wordt een risicoanalyse uitgevoerd voor de drie typen windturbines zoals gegeven in Tabel 1. De windturbine op locatie 4 is een Enercon E82/3000-98. De analyse voor deze windturbine op deze locatie is niet gewijzigd en overgenomen uit het vorige rapport (74101611-PMT/POL 14-2695). (paragraaf 2.1)

De windturbines Lagerwey L136 4.0 MW en Enercon E-141 EP4 4,2 MW kunnen op ieder van de 5 locaties zoals gegeven in Figuur 1 (groene punten), worden geplaatst. De analyse wordt daarom voor elk van deze locaties uitgevoerd voor beide typen windturbines. (paragraaf 2.2 en 2.3). De afstand van de buitenste fasegeleiders ten opzichte van het hart van de verbinding bedraagt 18 m.

De afstanden van de windturbines tot de hoogspanningsverbinding zijn in onderstaande tabel weergegeven. Uit vergelijken met de waarden in Tabel 2 is vastgesteld of een kwantitatieve risicoanalyse voor de betreffende windturbine op de aangegeven locatie noodzakelijk is, hetgeen vervolgens in de laatste 3 kolommen van Tabel 3 is weergegeven.

**Tabel 3: Overzicht locaties met afstand tot tracé; 4 circuit**

<b>Turbine nr.</b>	<b>Afstand (m) tot hart lijn</b>	<b>Afstand (m) tot buitenste fase lijn 4 circuit</b>	<b>Noodzaak risico analyse Enercon E82</b>	<b>Noodzaak risico analyse Lagerwey L136</b>	<b>Noodzaak risico analyse Enercon E-141</b>
4 (rode cirkel)	60	20	X	nvt	nvt
OPI 4	265	247	nvt	-	-
OPI 5	245	227	nvt	X	X
OPI 6	246	228	nvt	X	X
OPI 11	257	239	nvt	X	-
OPI 21	229	211	nvt	X	X

`nvt` : deze turbines komt niet op de betreffende locatie voor

`X` : risico-analyse noodzakelijk

`-` : risico-analyse niet noodzakelijk

## 2.1 Risicoanalyse E82/3000-98

De resultaten van de risicoanalyse met betrekking tot windturbine E82/3000-98 worden in het onderstaande behandeld.

Uit **Tabel 3** blijkt dat voor deze turbine op deze locatie een kwantitatieve risicoanalyse dient te worden uitgevoerd. Daarom wordt de trefkans van de Wintrack verbinding bepaald bij mastbreuk, gondelafwerp en bladafwerp bij nominaal toerental.

### Trefkans door Mastbreuk en gondelafwerp

Bij mastbreuk wordt verondersteld dat de mast in de voet breekt of knikt, en vervolgens omvalt met gondel en rotor. De maximale valafstand bij mastbreuk wordt bepaald als ashoogte +  $\frac{1}{2}$  rotordiameter. Voor windturbine E82-3000/98 is deze afstand 139 meter.

Ter hoogte van deze windturbine gaat de lijn over van een wintrack configuratie naar een portaal-aansluiting. De afstand van de windturbine tot het dichtstbijzijnde circuit is hier 20 m. Windturbine nr. 4 kan bij mastbreuk het dichtstbijzijnde 380 kV circuit raken.

De valsector wordt berekend conform HRW Bijlage C2, paragraaf 5.2. Dit is de sector tussen de uiterste valhoeken waarbij bij mastbreuk een bladtip nog net de verbinding kan raken. De valsector bedraagt  $205^\circ$ . De kans op mastbreuk bedraagt  $1,3 \cdot 10^{-4}$ /jaar. De kans dat ten gevolge van mastbreuk de verbinding wordt getroffen wordt dan:  $1,3 \cdot 10^{-4} \cdot 205/360 = 7,4 \cdot 10^{-5}$  per jaar.

De gondelafwerp berekeningen zijn gebaseerd op HRW Bijlage C3. Uitgangspunt is dat de gondel met rotor rechtstandig naar beneden valt en dat alles binnen de  $\frac{1}{2}$  rotordiameter van de mastvoet kan worden getroffen. Gezien de korte afstand van de turbine tot de lijn (20m) en de lengte van een blad (41 m) moet worden vastgesteld dat bij gondelafwerp op iedere locatie rond de mastvoet een rotorblad het dichtstbijzijnde circuit kan raken. De kans dat ten gevolge van gondelafwerp de verbinding wordt getroffen bedraagt aldus  $4,0 \cdot 10^{-5}$ /jaar.

De resultaten zijn vermeld in Tabel 4.

**Tabel 4: Trefkans hoogspanningsverbinding bij mastbreuk Enercon E82/3000-98**

Faalkans mastbreuk: $1,3 \cdot 10^{-4}$ per jaar.			
Windturbine ashoogte: 98 meter; tiphoogte 139 meter.			
Maximale valafstand bij mastbreuk: 142 meter			
Afstand tot hartlijn 4x380 verbinding	Afstand tot het eerste circuit	Sector bij mastbreuk (en gondelafwerp)	Trefkans Mastbreuk en gondelafwerp
[m]	[m]	[ $^\circ$ ]	[/jaar]
~60	20	205 360 (gondel)	$7,4 \cdot 10^{-5}$ $4,0 \cdot 10^{-5}$

### Trefkans bladafwerp bij nominaal toerental

Hierbij wordt de bijbehorende kansdichtheidsfunctie gebruikt (Bijlage A). De maximale werpafstand is 137 meter. Uitgangspunt is dat indien het rotorblad achter de Wintrack verbinding op de grond komt, het blad tijdens de vlucht door de verbinding heen moet en deze zal beschadigen. De methodiek is gebaseerd op HRW Bijlage C, paragraaf 3.3.

Ook indien het zwaartepunt van het rotorblad op  $2/3$ \*bladlengte vóór de verbinding komt kan de rotorbladtip de verbinding raken en beschadigen. Het zwaartepunt ligt op  $\sim 1/3$  van de bladlengte. Voor de E82-3000 is  $2/3$ \*bladlengte gelijk aan 27 meter. Rekening houdend met de hoogte van de onderste fase boven maaiveld (18 meter), kan worden gesteld dat een bladtip de lijn nog net raken wanneer het zwaartepunt van het blad op 20 meter voor de lijn de bodem raakt.

Tevens is de lengte van het deel van de verbinding berekend waarbij het rotorblad het circuit nog kan raken.

Als rekenvoorbeeld de verschillende stappen uitgewerkt voor windturbine 4, tabel 5:

- Afstand windturbine tot midden verbinding: **60 m**
- Afstand wtB tot dichtstbijzijnd circuit: **20 m (zie figuur 2)**
- Lengte deel verbinding geraakt door rotorblad:  $2*\sqrt{(137^2-20^2)} = \mathbf{271\ m}$
- Oppervlak voor dichtstbijzijnd circuit:  $271*20 = \mathbf{5421\ m^2}$
- Oppervlak achter dichtstbijzijnd circuit (driehoek)  $271*(137-20)/2 = \mathbf{15854\ m^2}$
- Trefkans (zie waarden uit figuur in Bijlage A)  $\mathbf{5421*5.10^{-8} + 15854* 1.10^{-8} = 4,3\ 10^{-4}}$

**Tabel 5: Trefkans hs-verbinding bij bladafworp nominaal toerental Enercon E82/3000-98**

Trefkans zwaartepunt rotorblad bij bladbreuk : $1\ 10^{-8}$ bij maximale werpafstand rotorblad:			
Afstand tot hartlijn 4x380 verbinding	Afstand tot het eerste circuit	Lengte deel verbinding waarbij blad de verbinding kan raken	Trefkans Rotorblad Bij nominaal toerental
[m]	[m]	[m]	[/jaar]
$\sim 60$	20	271	<b><math>4,3\ 10^{-4}</math></b>

Totaal trefkans Wintrack verbinding door windturbine op locatie 4

Geconcludeerd kan worden dat de afstand van de windturbine tot de verbinding onvoldoende is om uit te sluiten dat bij mastbreuk, gondelafworp of bladafworp de verbinding kan worden geraakt.

In Tabel 6 is de trefkans door mastbreuk, gondelafworp of bladafworp gesommeerd.

**Tabel 6: Totaal trefkans hoogspanningsverbinding voor Enercon E82/3000-98**

Sommatie van trefkans door mastbreuk, bladafworp en bladafworp bij overtoeren Windturbine ashoogte: 98 meter; tiphoogte 139 meter.		
Trefkans Mastbreuk en gondelafworp	Trefkans Rotorblad Bij nominaal toerental	Totaal trefkans Wintrack 4x380 door windturbine
[/jaar]	[/jaar]	[/jaar]
$7,4\ 10^{-5}$ $4,0\ 10^{-5}$ (gondel)	$4,3\ 10^{-4}$	<b><math>5,4\ 10^{-4}</math></b>



## 2.2 Risicoanalyse Lagerwey L136 4.0 MW

De resultaten van de risicoanalyse ten gevolge van windturbine Lagerwey L136 worden in het onderstaande behandeld.

Uit Tabel 3 blijkt dat voor de locaties OPI-5, 6, 11, en 21 voor deze turbine een kwantitatieve risicoanalyse dient te worden uitgevoerd. Daarom wordt voor deze locaties de trefkans van de verbinding bepaald bij mastbreuk, gondelafworp en bladafworp bij nominaal toerental. Voor de locatie OPI-4 bestaat geen kans dat de lijn kan worden geraakt.

### Trefkans door mastbreuk en gondelafworp

Bij mastbreuk wordt verondersteld dat de mast in de voet breekt of knikt, en vervolgens omvalt met gondel en rotor. De maximale valafstand bij mastbreuk wordt bepaald als ashoogte + ½ rotordiameter. Voor windturbine Lagerwey L136 is deze afstand 234 meter. Alleen locatie OPI-11 ligt op voldoende afstand om een trefkans van de verbinding uit te sluiten.

De valsector wordt berekend conform HRW Bijlage C2, paragraaf 5.2. Dit is de sector tussen de uiterste valhoeken waarbij bij mastbreuk een bladtip nog net de verbinding kan raken. De trefkans wordt berekend met de valsector en de kans op mastbreuk.

De gondelafworp berekeningen zijn gebaseerd op HRW Bijlage C3. Uitgangspunt is dat de gondel met rotor rechtstandig naar beneden valt en dat alles binnen de ½ rotordiameter van de mastvoet wordt getroffen. De ½ rotordiameter bedraagt 68m. De afstand van de mastvoet tot het dichtstbijzijnde circuit is voor alle locaties aanzienlijk groter; bij gondelafworp is derhalve geen kans dat de lijn wordt getroffen.

Voor de locaties OPI-5, 6 en 21 resulteert dit in de volgende trefkansen.

**Tabel 7: Trefkans hoogspanningsverbinding bij mastbreuk Lagerwey L136 4.0 MW**

Faalkans mastbreuk: $1,3 \cdot 10^{-4}$ per jaar. Windturbine ashoogte: 166 meter; tiphoogte 234 meter. Maximale valafstand bij mastbreuk: 234 meter				
Locatie	Afstand tot hartlijn 4x380 verbinding	Afstand tot het eerste circuit	Sector bij mastbreuk	Trefkans Mastbreuk
	[m]	[m]	[°]	[/jaar]
<b>OPI 4</b>	nvt	nvt	nvt	nvt
<b>OPI 5</b>	245	227	76	$2,76 \cdot 10^{-5}$
<b>OPI 6</b>	246	228	74	$2,69 \cdot 10^{-5}$
<b>OPI 11</b>	257	239	nvt	nvt
<b>OPI 21</b>	229	211	100	$3,60 \cdot 10^{-5}$

### Trefkans bladafworp bij nominaal toerental

Hierbij wordt de bijbehorende kansdichtheidsfunctie gebruikt (Bijlage A). De maximale werpafstand is 240 meter. Voor de berekening van de faalkans zal gerekend worden in het horizontale vlak. De reden is de afstand van de lijn tot aan de windturbine.

Uitgangspunt is dat indien het rotorblad achter de Wintrack verbinding op de grond komt, het blad tijdens de vlucht door de verbinding heen moet en deze zal beschadigen. De methodiek is gebaseerd op HRW Bijlage C, paragraaf 3.3.

Ook indien het zwaartepunt van het rotorblad op 2/3\*bladlengte vóór de verbinding komt kan de rotorbladtip de verbinding raken en beschadigen. Het zwaartepunt ligt op ~1/3 van de bladlengte. Voor de Lagerwey L136 is 2/3\*bladlengte gelijk aan 45 meter. Rekening houdend met de hoogte van de onderste fase boven maaiveld (18 meter), kan worden gesteld dat een bladtip de lijn nog net raken wanneer het zwaartepunt van het blad op 40 meter voor de lijn de bodem raakt.

Tevens is de lengte van het deel van de verbinding berekend waarbij het rotorblad het circuit nog kan raken. De resultaten zijn uitgewerkt in Tabel 8.

**Tabel 8: Trefkans hs-verbinding bij bladafworp nominaal toerental Lagerwey L136 4.0 MW**

Trefkans zwaartepunt rotorblad bij bladbreuk : $5 \cdot 10^{-9}$ en $1 \cdot 10^{-8}$ Maximale werpafstand rotorblad: 240 meter.				
Locatie	Afstand tot hartlijn 4x380 verbinding	Afstand tot het eerste circuit	Lengte deel verbinding waarbij blad de verbinding kan raken	Trefkans Rotorblad Bij nominaal toerental
	[m]	[m]	[m]	[/jaar]
<b>OPI 4</b>	Nvt	nvt	nvt	nvt
<b>OPI 5</b>	245	227	156	$4,13 \cdot 10^{-5}$
<b>OPI 6</b>	246	228	150	$3,90 \cdot 10^{-5}$
<b>OPI 11</b>	257	239	44	$8,97 \cdot 10^{-5}$
<b>OPI 21</b>	229	211	229	$7,89 \cdot 10^{-5}$

#### Totaal trefkans Wintrack verbinding door windturbines

Geconcludeerd kan worden dat voor de locatie OPI-5, 6, 11 en 21 de afstand van de windturbine tot de verbinding onvoldoende is om uit te sluiten dat bij mastbreuk of bladafworp de verbinding kan worden geraakt.

In Tabel 9 is de trefkans door mastbreuk en bladafworp gesommeerd.

**Tabel 9: Totaal trefkans hoogspanningsverbinding voor windturbine Lagerwey L136 4.0 MW**

Sommatie van trefkans door mastbreuk en bladafworp Windturbine ashoogte: 166 meter; tiphoogte 234 meter.			
Locatie	Trefkans Mastbreuk	Trefkans Rotorblad Bij nominaal toerental	Totaal trefkans Wintrack 4x380 door windturbine
	[/jaar]	[/jaar]	[/jaar]
<b>OPI 4</b>	nvt	nvt	nvt
<b>OPI 5</b>	$2,76 \cdot 10^{-5}$	$4,13 \cdot 10^{-5}$	$6,89 \cdot 10^{-5}$
<b>OPI 6</b>	$2,69 \cdot 10^{-5}$	$3,90 \cdot 10^{-5}$	$6,58 \cdot 10^{-5}$
<b>OPI 11</b>	nvt	$8,97 \cdot 10^{-6}$	$8,97 \cdot 10^{-6}$
<b>OPI 21</b>	$3,60 \cdot 10^{-5}$	$7,89 \cdot 10^{-5}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$

## 2.3 Risicoanalyse E141 EP4 4,2 MW

De resultaten van de risicoanalyse ten gevolge van windturbine E141 EP4 4,2 MW worden in het onderstaande behandeld.

Uit Tabel 3 blijkt dat voor de locaties OPI-5, 6, en 21 voor deze turbine een kwantitatieve risicoanalyse dient te worden uitgevoerd. Daarom wordt voor deze locaties de trefkans van de verbinding bepaald bij mastbreuk, gondelafworp en bladafworp bij nominaal toerental. Voor de locatie OPI-4 bestaat geen kans dat de lijn kan worden geraakt.

### Trefkans door Mastbreuk en gondelafworp

Bij mastbreuk wordt verondersteld dat de mast in de voet breekt of knikt, en vervolgens omvalt met gondel en rotor. De maximale valafstand bij mastbreuk wordt bepaald als ashoogte + ½ rotordiameter. Voor windturbine E141 EP4 is deze afstand 230 meter. Voor geen van de drie locaties is de afstand tot de lijn voldoende groot om een trefkans van de lijn uit te sluiten.

De valsector wordt berekend conform HRW Bijlage C2, paragraaf 5.2. Dit is de sector tussen de uiterste valhoeken waarbij nog net bij mastbreuk de bladtip de verbinding kan raken. De trefkans wordt berekend met de valsector en de kans op mastbreuk.

De gondelafworp berekeningen zijn gebaseerd op HRW Bijlage C3. Uitgangspunt is dat de gondel met rotor rechtstandig naar beneden valt en dat alles binnen de ½ rotordiameter van de mastvoet wordt getroffen. De ½ rotordiameter bedraagt 70,5m. De afstand van de mastvoet tot het dichtstbijzijnde circuit is aanzienlijk groter; bij gondelafworp is derhalve geen kans dat de lijn wordt getroffen.

Voor de locaties OPI-5, 6, en 21 resulteert dit in de volgende trefkansen.

**Tabel 10: Trefkans hoogspanningsverbinding bij mastbreuk Enercon E141 EP 4**

Faalkans mastbreuk: $1,3 \cdot 10^{-4}$ per jaar. Windturbine ashoogte: 159 meter; tiphogte 230 meter. Maximale valafstand bij mastbreuk: 230 meter				
Locatie	Afstand tot hartlijn 4x380 verbinding	Afstand tot het eerste circuit	Sector bij mastbreuk	Trefkans Mastbreuk
	[m]	[m]	[°]	[/jaar]
<b>OPI 4</b>	nvt	nvt	Nvt	nvt
<b>OPI 5</b>	245	227	70	$2,51 \cdot 10^{-5}$
<b>OPI 6</b>	246	228	66	$2,37 \cdot 10^{-5}$
<b>OPI 11</b>	257	239	-	-
<b>OPI 21</b>	229	211	99	$3,57 \cdot 10^{-5}$

### Trefkans bladafworp bij nominaal toerental

Hierbij wordt de bijbehorende kansdichtheidsfunctie gebruikt uit Bijlage A. De maximale werpafstand is 175 meter. Uitgangspunt is dat indien het rotorblad achter de Wintrackverbinding op de grond komt, het blad tijdens de vlucht door de verbinding heen moet en deze zal beschadigen. De methodiek is gebaseerd op HRW Bijlage C, paragraaf 3.3.

Ook indien het zwaartepunt van het rotorblad op 2/3\*bladlengte vóór de verbinding komt kan de rotorbladtip de verbinding raken en beschadigen. Het zwaartepunt ligt op ~1/3 van de bladlengte. Voor de E141 EP 4 is 2/3\*bladlengte gelijk aan 47 meter. Rekening houdend met de hoogte van de onderste fase boven maaiveld (18 meter), kan worden gesteld dat een bladtip de lijn nog net raken wanneer het zwaartepunt van het blad op 43 meter voor de lijn de bodem raakt. Aangezien de maximale werpafstand 175 meter bedraagt, kan de lijn in het geval van bladafworp alleen op locatie OPI-21 geraakt worden.

**Tabel 11: Trefkans hs-verbinding bij bladafworp nominaal toerental Lagerwey L136 4.0 MW**

Trefkans zwaartepunt rotorblad bij bladbreuk : $5 \cdot 10^{-9}$ en $1 \cdot 10^{-8}$ Maximale werpafstand rotorblad: 240 meter.				
Locatie	Afstand tot hartlijn 4x380 verbinding	Afstand tot het eerste circuit	Lengte deel verbinding waarbij blad de verbinding kan raken	Trefkans Rotorblad Bij nominaal toerental
	[m]	[m]	[m]	[/jaar]
<b>OPI 4</b>	Nvt	nvt	nvt	nvt
<b>OPI 5</b>	245	227	-	-
<b>OPI 6</b>	246	228	-	-
<b>OPI 11</b>	257	239	-	-
<b>OPI 21</b>	229	211	110	$1,53 \cdot 10^{-5}$

Totaal trefkans Wintrack verbinding door windturbine

In Tabel 12 is de trefkans door mastbreuk en bladafworp gesommeerd.

**Tabel 12: Totaal trefkans hoogspanningsverbinding voor Enercon E141 EP 4**

Sommatie van trefkans door mastbreuk, bladafworp en bladafworp bij overtoeren Windturbine ashoogte: 159 meter; tiphoogte 229,5 meter.			
Locatie	Trefkans Mastbreuk	Trefkans Rotorblad Bij nominaal toerental	Totaal trefkans Wintrack 4x380 door windturbine
	[/jaar]	[/jaar]	[/jaar]
<b>OPI 4</b>	nvt	nvt	nvt
<b>OPI 5</b>	$2,51 \cdot 10^{-5}$	-	$2,51 \cdot 10^{-5}$
<b>OPI 6</b>	$2,37 \cdot 10^{-5}$	-	$2,37 \cdot 10^{-5}$
<b>OPI 11</b>	-	-	-
<b>OPI 21</b>	$3,57 \cdot 10^{-5}$	$1,53 \cdot 10^{-5}$	$5,10 \cdot 10^{-5}$

### 3 KWANTITATIEVE RISICOANALYSE UITVOERING TWEE CIRCUITS

Vergeleken met de vier-circuit verbinding heeft de twee-circuit uitvoering enkel de twee binnenste 380 kV circuits. De bliksemraden en retourstroomgeleiders zijn aangebracht als in de vier-circuit situatie.

Voor de twee-circuit uitvoering wordt de risicoanalyse slechts uitgevoerd voor de fasegeleiders. Indien een bliksem- of retourstroomgeleider faalt, heeft dat beperkte impact op het functioneren van de verbinding.

De afstand van de binnenste fasegeleiders ten opzichte van het hart van de verbinding bedraagt 4,4 m.

De afstanden van de windturbines tot de hoogspanningsverbinding zijn in onderstaande tabel weergegeven. Uit vergelijken met de waarden in Tabel 2 is vastgesteld of een kwantitatieve risicoanalyse voor de betreffende windturbine op de aangegeven locatie noodzakelijk is, hetgeen vervolgens in de laatste 3 kolommen van Tabel 13 is weergegeven.

**Tabel 13: Overzicht locaties met afstand tot tracé; 2 circuit**

Turbine nr.	Afstand (m) tot hart lijn	Afstand (m) tot binnenste fase lijn 2 circuit	Noodzaak risico analyse Enercon E82	Noodzaak risico analyse Lagerwey L136	Noodzaak risico analyse Enercon E-141
4 (rode cirkel)	60	42	X	nvt	nvt
OPI 4	265	260,6	nvt	-	-
OPI 5	245	240,6	nvt	-	-
OPI 6	246	241,6	nvt	-	-
OPI 11	257	252,6	nvt	-	-
OPI 21	229	224,6	nvt	X	X

'nvt' : deze turbinen komt niet op de betreffende locatie voor

'X' : risico-analyse noodzakelijk

'-' : risico-analyse niet noodzakelijk

#### 3.1 Risicoanalyse twee-circuit situatie E82/3000-98

In Tabel 13 zijn de relevante afstanden vermeld voor de twee-circuit uitvoering welke zijn toegepast in de risicoanalyse.

De tiphoogte van de E82/3000-98 is 139 meter, de werpafstand is 137 m (Tabel 2). Dit houdt in dat de afstand van deze windturbine tot de twee-circuit situatie onvoldoende is; bij mastbreuk en bij bladbreuk kan de verbinding geraakt worden.

Ter hoogte van deze windturbine gaat de lijn over van een wintrack configuratie naar een portaal-aansluiting. De afstand van de windturbine tot het dichtstbijzijnde circuit is hier 42 m. Bij gondelafworp kan de verbinding niet getroffen worden.

De valsector wordt berekend conform HRW Bijlage C2, paragraaf 5.2. Dit is de sector tussen de uiterste valhoeken waarbij bij mastbreuk een bladtip nog net de verbinding kan raken. De trefkans wordt berekend met de valsector en de kans op mastbreuk.

In Tabel 14 worden de trefkansen van de twee-circuit verbinding door mastbreuk en bladafworp bij nominaal toerental gegeven.

**Tabel 14: Totaal trefkans twee-circuit verbinding per windturbine E82/3000-98**

Trefkans Mastbreuk	Trefkans Rotorblad bij nominaal toerental	Totaal trefkans Wintrack 2x380 door windturbine
[/jaar]	[/jaar]	[/jaar]
$6,50 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$

**Vergelijking vier-circuit en twee-circuit situatie.**

In Tabel 15 wordt voor de windturbine E82/3000-98 de vier-circuit situatie met de twee-circuit situatie vergeleken.

**Tabel 15: Vergelijk trefkans twee-circuit en vier-circuit situatie voor E82/3000-98**

Trefkans twee-circuit situatie	Trefkans vier-circuit situatie
[/jaar]	[/jaar]
$4,0 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$

Voor de bestaande windturbine (nr. 4) is het verschil tussen de twee-circuit en vier-circuit situatie beperkt.

**3.2 Risicoanalyse Lagerwey L136 4.0 MW**

In Tabel 13 zijn de relevante afstanden vermeld voor de twee-circuit uitvoering welke zijn toegepast in de risicoanalyse.

De tiphoogte van de Lagerwey L136 is 234 meter, de werpafstand is 240 m (Tabel 2). Dit houdt in dat alleen voor locatie OPI-21 de afstand van deze windturbine tot de twee-circuit situatie onvoldoende is; bij mastbreuk en bij bladbreuk kan de verbinding geraakt worden. Bij gondelafwerp kan de verbinding niet getroffen worden.

De valsector wordt berekend conform HRW Bijlage C2, paragraaf 5.2. Dit is de sector tussen de uiterste valhoeken waarbij bij mastbreuk een bladtip nog net de verbinding kan raken. De trefkans wordt berekend met de valsector en de kans op mastbreuk.

In tabel 16 worden de trefkansen van de twee-circuit verbinding door mastbreuk en bladafwerp bij nominaal toerental gegeven.

**Tabel 16: Totaal trefkans twee-circuit verbinding locatie OPI-21 voor windturbine Lagerwey L136**

Trefkans Mastbreuk	Trefkans Rotorblad bij nominaal toerental	Totaal trefkans Wintrack 2x380 door windturbine
[/jaar]	[/jaar]	[/jaar]
$2,92 \cdot 10^{-5}$	$4,69 \cdot 10^{-5}$	$7,61 \cdot 10^{-5}$

**Vergelijking vier-circuit en twee-circuit situatie.**

Vergelijken van de vier-circuit situatie met de twee-circuit situatie levert voor de Lagerwey L136 het volgende resultaat.

**Tabel 17: Vergelijk trefkans twee-circuit en vier-circuit situatie locatie OPI-21 voor Lagerwey L136**

Trefkans twee-circuit situatie	Trefkans vier-circuit situatie
[/jaar]	[/jaar]
$7,61 \cdot 10^{-5}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$

Voor de geplande windturbine op locatie OPI-21 is het verschil tussen de twee-circuit en vier-circuit situatie beperkt.

### 3.3 Risicoanalyse E141 EP4 4,2 MW

In Tabel 13 zijn de relevante afstanden vermeld voor de twee-circuit uitvoering welke zijn toegepast in de risicoanalyse.

De tiphoogte van de E141 EP4 is 229,5 meter, de werpafstand is 175 m (Tabel 2). Dit houdt in dat alleen voor locatie OPI-21 de afstand van deze windturbine tot de twee-circuit situatie onvoldoende is; bij mastbreuk kan de verbinding geraakt worden. Bij gondelafwerp en bladbreuk kan de verbinding niet getroffen worden.

De valsector wordt berekend conform HRW Bijlage C2, paragraaf 5.2. Dit is de sector tussen de uiterste valhoeken waarbij bij mastbreuk een bladtip nog net de verbinding kan raken. De trefkans wordt berekend met de valsector en de kans op mastbreuk.

In Tabel 18 worden de trefkansen van de twee-circuit verbinding door mastbreuk en bladafwerp bij nominaal toerental gegeven.

**Tabel 18: Totaal trefkans twee-circuit verbinding locatie OPI-21 voor windturbine E141 EP4 4,2 MW**

Trefkans Mastbreuk	Trefkans Rotorblad bij nominaal toerental	Totaal trefkans Wintrack 2x380 door windturbine
[/jaar]	[/jaar]	[/jaar]
$2,76 \cdot 10^{-5}$	-	$2,76 \cdot 10^{-5}$

#### Vergelijking vier-circuit en twee-circuit situatie.

Vergelijken van de vier-circuit situatie met de twee-circuit situatie levert voor de E141 EP4 4,2 MW het volgende resultaat.

**Tabel 19: Vergelijk trefkans twee-circuit en vier-circuit situatie locatie OPI-21 voor E141 EP4 4,2 MW**

Trefkans twee-circuit situatie	Trefkans vier-circuit situatie
[/jaar]	[/jaar]
$2,76 \cdot 10^{-5}$	$5,10 \cdot 10^{-5}$

Voor de geplande windturbine op locatie OPI 21 is het verschil tussen de twee-circuit en vier-circuit situatie beperkt.

## 4 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Aan de hand van het "Handboek Risicozonering Windturbines" (HRW), geactualiseerde versie 3.1, september 2014, is het additionele risico ten gevolge van 3 typen windturbines op 6 locaties nabij de voorziene 4x380 hoogspanningsverbinding bepaald. Op één locatie is al een windturbine aanwezig. Op de 5 overige locaties zijn windturbines gepland. Voor deze locaties wordt het additionele risico bepaald voor 2 typen windturbines.

Voor de geplande windturbines wordt de risicoanalyse uitgevoerd voor de windturbine types Lagerwey L136 en de Enercon E-141. De bestaande windturbine is een E82/3000-98.

In de risicoanalyse wordt onderscheid gemaakt tussen de twee-circuit situatie, met enkel de twee binnenste circuits, en de vier-circuit situatie met alle circuits geïnstalleerd.

De resultaten van de risicoanalyse voor de vier-circuit en twee-circuit situatie zijn samengevat in onderstaande tabellen (getallen afgerond op 1 decimaal).

Voor de bestaande locatie met windturbine E82/3000-98:

**Tabel 20: Overzicht QRA van windturbine E82/3000 op de voorziene 380 kV verbinding**

Windturbine	Uitvoering 2x380		Uitvoering 4x380	
	E82/3000-98		E82/3000-98	
4 (bestaand)	4,0 10 <sup>-4</sup>		5,4 10 <sup>-4</sup>	

Voor de geplande windturbinelocaties:

**Tabel 21: Overzicht QRA van windturbines op de voorziene 380 kV verbinding**

Windturbine	Uitvoering 2x380		Uitvoering 4x380	
	L136	E141	L136	E141
OPI 4	-	-	-	-
OPI 5	-	-	6,9 10 <sup>-5</sup>	2,5 10 <sup>-5</sup>
OPI 6	-	-	6,6 10 <sup>-5</sup>	2,4 10 <sup>-5</sup>
OPI 11	-	-	9,0 10 <sup>-6</sup>	-
OPI 21	7,6 10 <sup>-5</sup>	2,8 10 <sup>-5</sup>	1,2 10 <sup>-4</sup>	5,10 10 <sup>-5</sup>
<b>Totaal gepland</b>	<b>7,6 10<sup>-5</sup></b>	<b>2,8 10<sup>-5</sup></b>	<b>2,6 10<sup>-4</sup></b>	<b>8,5 10<sup>-5</sup></b>

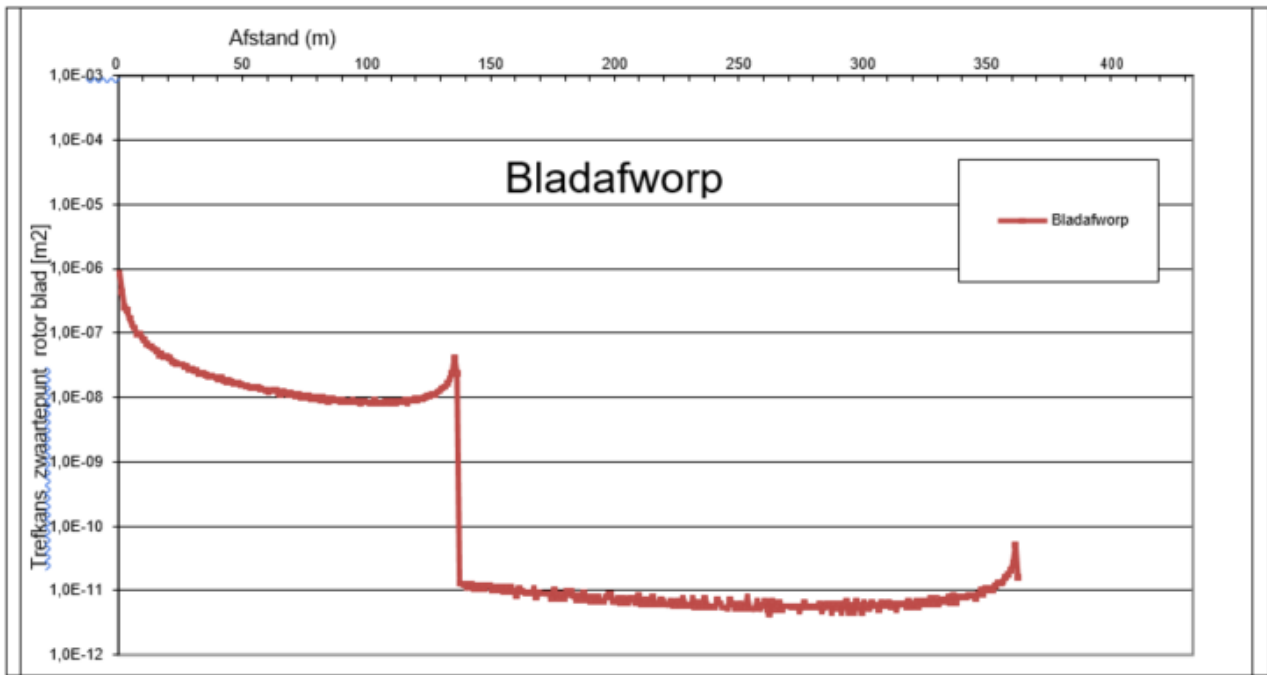
Uit de risicoanalyses, samengevat in tabel 20 en 21, kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- 1) De additionele faalkans van de 380 kV Wintrack verbinding in de vier-circuit variant is hoger dan in de twee-circuit variant.
- 2) Indien de geplande locaties voor de vier circuit variant worden uitgevoerd met Lagerwey 136 windturbines is de totale additionele faalkans bepaald op (5,4+2,6=) 8,0 10<sup>-4</sup>, inclusief de bestaande Enercon 82.
- 3) Indien de geplande locaties voor de vier circuit worden uitgevoerd met Enercon 141 windturbines is de totale additionele faalkans bepaald op (5,4+0,85=) 6,3 10<sup>-4</sup>, inclusief de bestaande Enercon 82 variant.

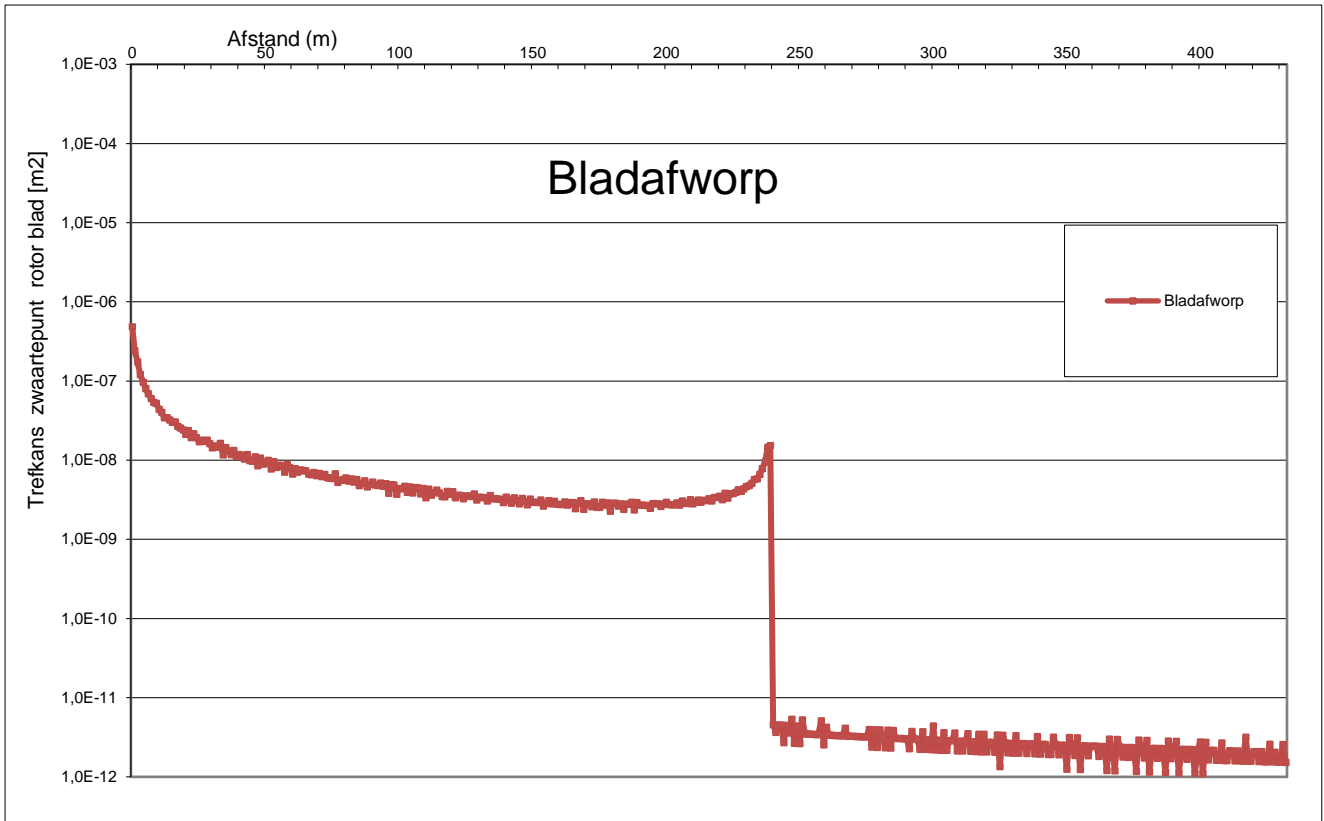


## BIJLAGE A: KANSDICHTHEIDSFUNCTIE BLADAFWORP

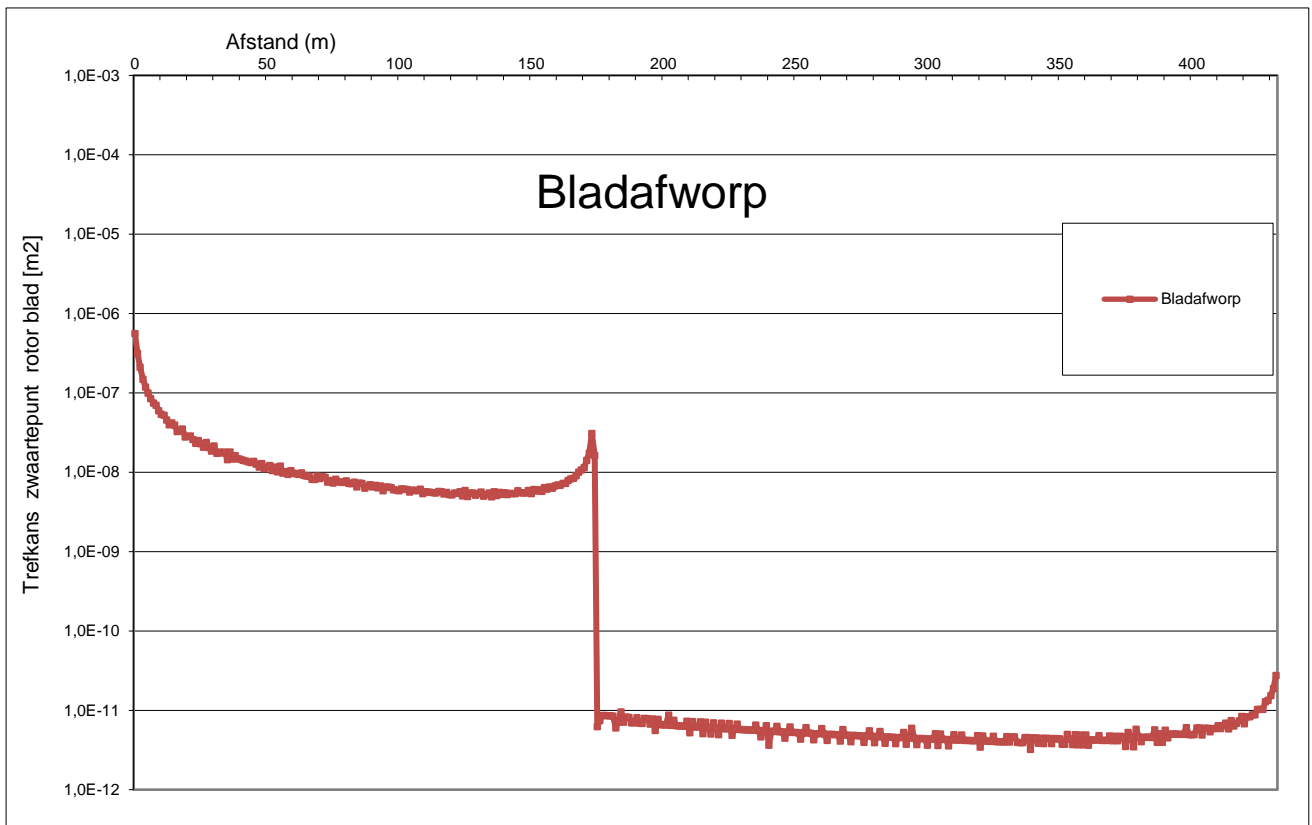
In onderstaande figuren is de kansdichtheidsfunctie gegeven voor bladafworp voor elk van de drie typen windturbines. Op basis van het in het HRW aangereikte model "kogelbaan model zonder luchtkrachten" (HRW Bijlage C1, paragraaf 2) is de relatie tussen werpafstand zwaartepunt rotorblad en trefkans bepaald. Het linkerdeel van de grafiek geeft de trefkans weer van bladbreuk bij nominaal toerental en het rechter deel bij overtoeren.



**Figuur 4: Kansdichtheidsfunctie bladafworp Enercon E82/3000-98**



**Figuur 5: Kansdichtheidsfunctie bladafworp windturbine Lagerwey L136**



**Figuur 6: Kansdichtheidsfunctie bladafworp Enercon E141 EP 4**