

715069
19 augustus 2020

ANALYSE PR CONTOUREN
NORDEX N117
WINDPARK DE RIETVELDEN

WP de Rietvelden B.V.

v5.1





Duurzame oplossingen in
energie, klimaat en milieu

Postbus 919
6800 AX Arnhem
Telefoon 088-7663372

Documenttitel	Analyse PR contouren Windpark De Rietvelden
Soort document	v5.1
Datum	19 augustus 2020
Projectnummer	715069
Opdrachtgever	WP de Rietvelden B.V.
Auteur	██████████ Pondera Consult
Controle	██████████, Pondera Consult

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
1.1	Generieke versus specifieke berekeningen	1
2	Windturbine eigenschappen	3
3	Faalscenario's	4
3.1	Berekening mastfalen	4
3.2	Berekening gondelfalen	6
3.3	Berekening bladworp bij nominaal en overtoeren situaties	7
4	Rekenresultaten	8
4.1	Nordex N117/3600 op 118,9 meter	8
5	Resultaten en kaartweergave	9
5.1	Conclusie	9
Bijlage 1		
	Data herkomst gegevens windturbines	
Bijlage 2		
	Afkorting en symbolen lijst	

1 INLEIDING

WP de Rietvelden B.V. heeft voor de ontwikkeling van Windpark Rietvelden gevraagd om een nader onderzoek naar de exacte ligging van de plaatsgebonden risicocontouren van een windturbine van het type Nordex N117 op 118,9 meter ashoogte. Deze analyse bouwt verder op een eerdere analyse van zes type windturbines van vergelijkbare afmetingen genaamd:

“Analyse PR contouren Windpark Rietvelden” versie 2.4 van 10 mei 2017. Deze analyse volgt exact gelijke berekeningsmethodieken als de destijds opgestelde analyse maar wel is gecontroleerd of de berekeningen nog overeenkomstig de nieuwste versies van de nieuwe Handleiding risicoberekeningen windturbines versie oktober 2019 en de nieuwe Handreiking risicozonering windturbines v1.0 (HRW2020) zijn. In de nieuwe handleiding en handreiking zijn de onderliggende berekeningsmethodieken niet veranderd ten opzichte van de situatie in 2017.

Deze analyse beschrijft de specifieke berekeningen en uitkomsten van een kwantitatieve risicoanalyse van één type windturbine die toegepast kan worden voor Windpark Rietvelden. De te onderzoeken windturbine is:

- Nordex N117/3600 op 118,9 meter ashoogte;

Met een melding op grond van het Besluit algemene regels inrichting milieubeheer (Barim), artikel 1.10 lid 2, voor het veranderen van een inrichting (betreffende het in werking hebben van windturbine), wordt het definitieve type windturbine kenbaar gemaakt en getoetst aan de regels van het Activiteitenbesluit. De inrichting van Windpark De Rietvelden wordt met de melding tevens opgesplitst in twee delen, waarbij windturbine 1 in gebruik en eigendom komt van de Coöperatieve vereniging Bossche Windmolen West U.A. en de overige drie turbines van WP de Rietvelden b.v. zijn.

Onderhavig rapport maakt onderdeel uit van de melding voor WP de Rietvelden B.V. Er wordt een separate melding wordt ingediend voor de windturbine van Bossche Windmolen West U.A. met een apart rapport. Beide rapporten zijn inhoudelijk exact het zelfde afgezien van deze inleiding omdat de splitsing in twee inrichtingen geen effecten heeft op de toetsing van de plaatsgevonden risicocontouren.

1.1 Generieke versus specifieke berekeningen

De berekeningen worden uitgevoerd met behulp van de meest recente versie van de nieuwe Handleiding risicoberekeningen windturbines versie oktober 2019 en de nieuwe Handreiking risicozonering windturbines v1.0 (HRW2020)¹ waarin in hoofdstuk 3,4 en 5 van de handleiding beschreven staat hoe de plaatsgebonden risico's van windturbines berekend kunnen worden per faalscenario. De uitkomsten van deze specifieke berekeningen zijn minder worst-case en leiden daarmee ook tot exacte afstanden voor de plaatsgebonden risicocontouren als de generieke waarden die beschreven staan in handreiking.

Het HRW geeft zelf aan dat:

¹ Vanaf dit punt in deze rapportage wordt naar het handboek verwezen als HRW.

Kader 1.1 Tekst over generieke gegevens uit het HRW

“Het uitvoeren van een kwantitatieve risicoanalyse volgens de methode die in deze handleiding is beschreven kan arbeidsintensief zijn. Over het algemeen kan met een eenvoudige aanpak en conservatieve uitgangspunten worden aangetoond dat de veiligheidscriteria, zoals beschreven in de handleiding niet worden overschreden. Daarom zijn in *Hoofdstuk 7 “Generieke Gegevens”*, *generieke* conclusies afgeleid voor wat betreft trefkansen van personen en objecten. Met deze conclusies kan in veel gevallen het arbeidsintensieve analysewerk worden vermeden.”

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

2 WINDTURBINE EIGENSCHAPPEN

De benodigde windturbine eigenschappen worden bepaald aan de hand van documentatie van de Nordex N117 die aangeleverd wordt door de fabrikant of kan worden gevonden in algemene databases over windturbine eigenschappen. In onderstaande tabel staan de verschillende eigenschappen genoteerd. De gebruikte databronnen staan vermeld in bijlage 1.

Tabel 2.1 Gebruikte gegevens van windturbines

Windturbinetype	Nordex N117/3600
Ashoogte	118,9
Rotordiameter	116,8
Maximale mastbreedte	4,3
Minimale mastbreedte	3,23
Nominaal toerental (rpm)	12,6
Maximale bladbreedte	3,5
Bladlengte (incl hub)	57,3
Afstand van Zwaartekracht op blad tot hubcentrum	17,9
Lengte gondel	13,9
Breedte gondel	4,3
Hoogte gondel	4,6

* Gewichten in ton en afstanden in meters

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 maststoren 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 4 van de handleiding 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 rotorbladen².

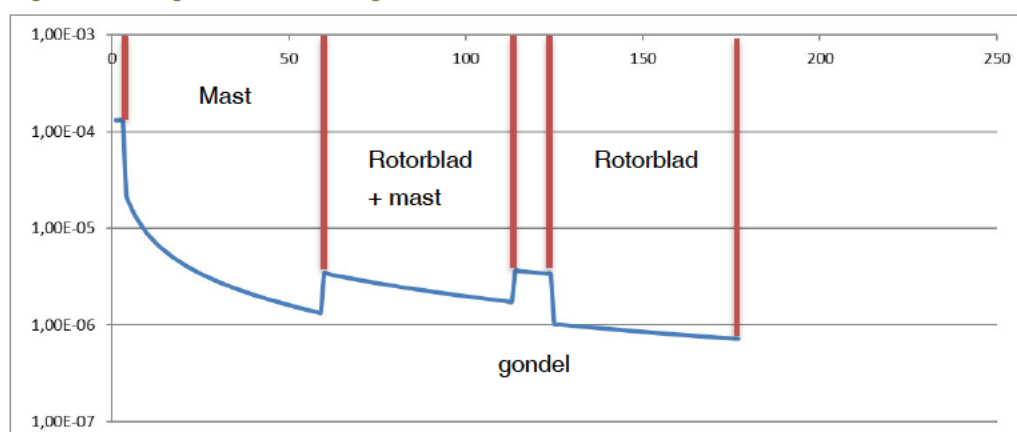
Voor $\left(H + \frac{G}{2}\right) < r \leq (Tiphoogte)$

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

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



² 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 5 van de handleiding van het HRW staat omschreven hoe het scenario gondelfalen dient te worden berekend. Dit sluit aan bij de beschrijving voor mastfalen in hoofdstuk 4 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

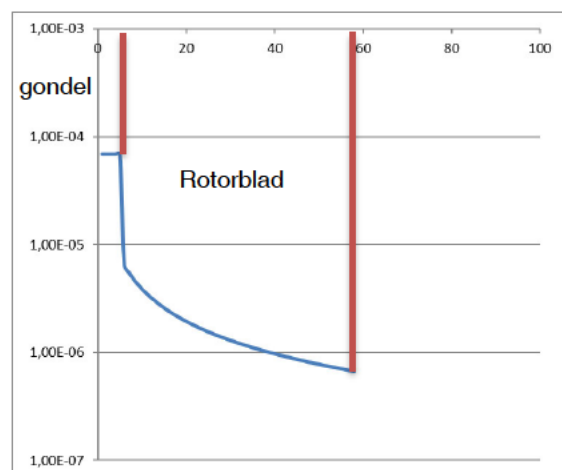
Voor $B_{gondel} < r \leq (\frac{D}{2})$

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

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 een halve rotordiameter vanaf de persoon valt. Hierbij wordt ervanuit gegaan dat het zwaartepunt van het blad op circa $1/3^e$ van een halve rotordiameter is gelegen. Dit is een worst-case uitgangspunt omdat uit de gegevens blijkt dat het zwaartepunt op een kleinere afstand is gelegen als $1/3^e$ van een halve rotordiameter.

De kansverdelingsfunctie van de positie waar het zwaartepunt van het blad zal inslaan is berekend met de formules uit hoofdstuk 3 paragraaf 3.2.1 van de handleiding 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 de formules in paragraaf 3.3.2 de trefkans van een persoon uitgerekend.

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

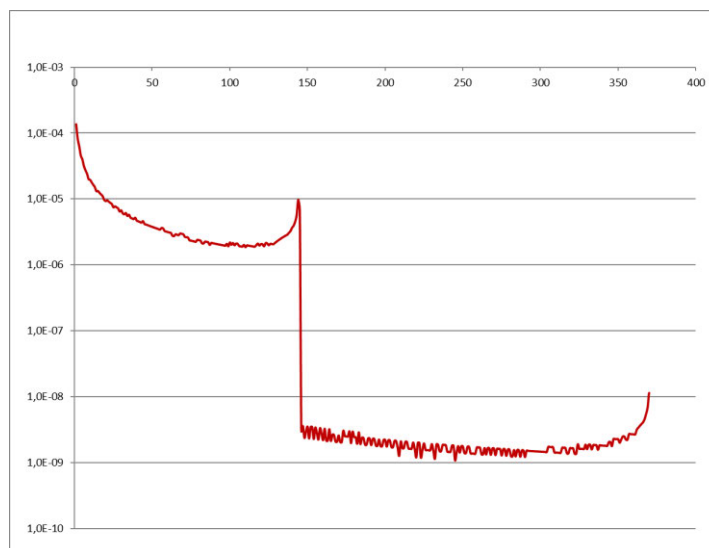
Waarbij A_c is bepaald met:

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

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 PR contouren zijn per windturbinelocatie weergegeven in onderstaande paragrafen.

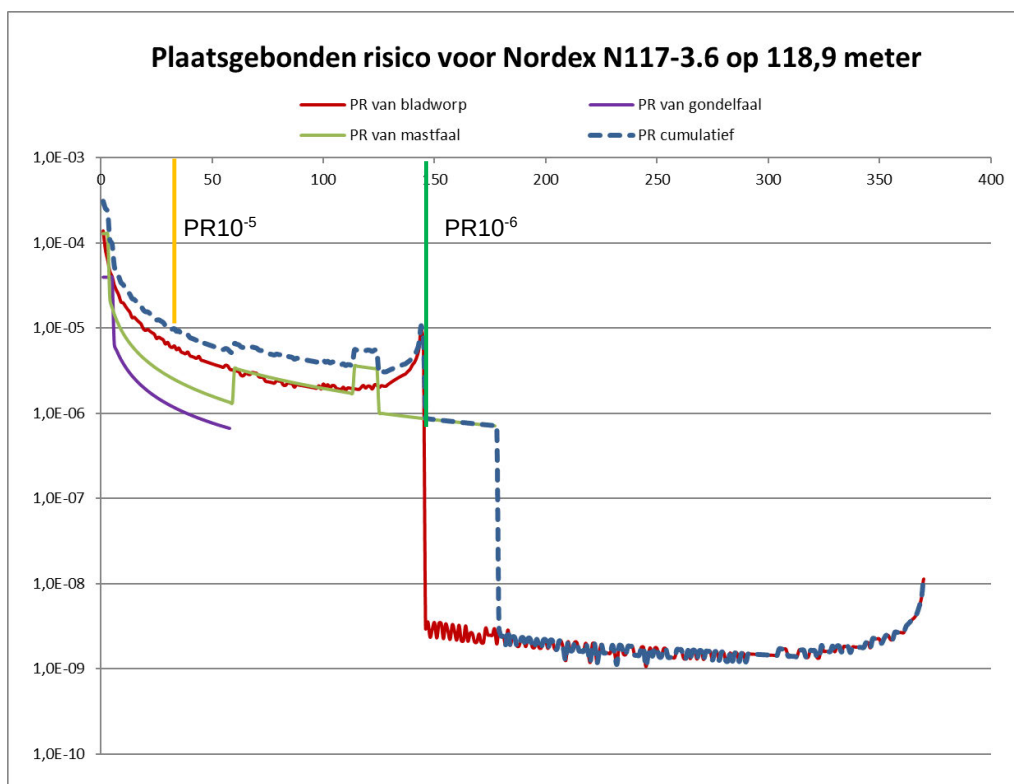
4 REKENRESULTATEN

4.1 Nordex N117/3600 op 118,9 meter

De ligging van de plaatsgebonden risicocontouren zijn als volgt:

- De $PR10^{-5}$ is gelegen op 31 meter;
- De $PR10^{-6}$ is gelegen op 144 meter.

Figuur 4.1 Plaatsgebonden risico voor Nordex N117 op 118,9 meter



5 RESULTATEN EN KAARTWEERGAVE

Samengevat zijn de resultaten van de berekeningen als volgt:

Tabel 5.1 Overzicht berekende afstanden

Contour	Nordex N117/3600
PR 10-5	31
PR 10-6	144
½e Rotordiameter	58,4
Tiphoogte	177,3

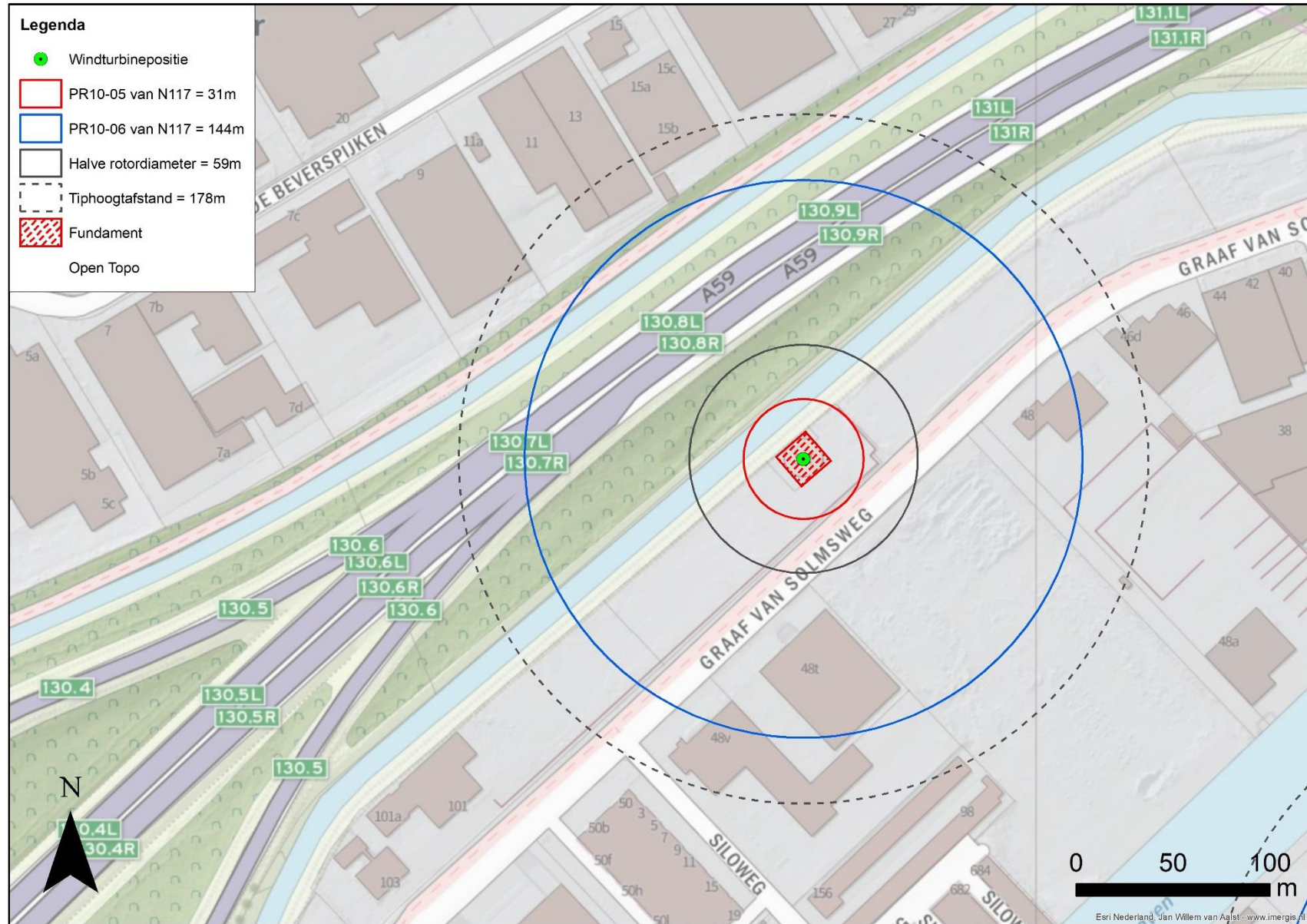
In onderstaande pagina's zijn de kaartweergaven van deze contouren weergegeven.

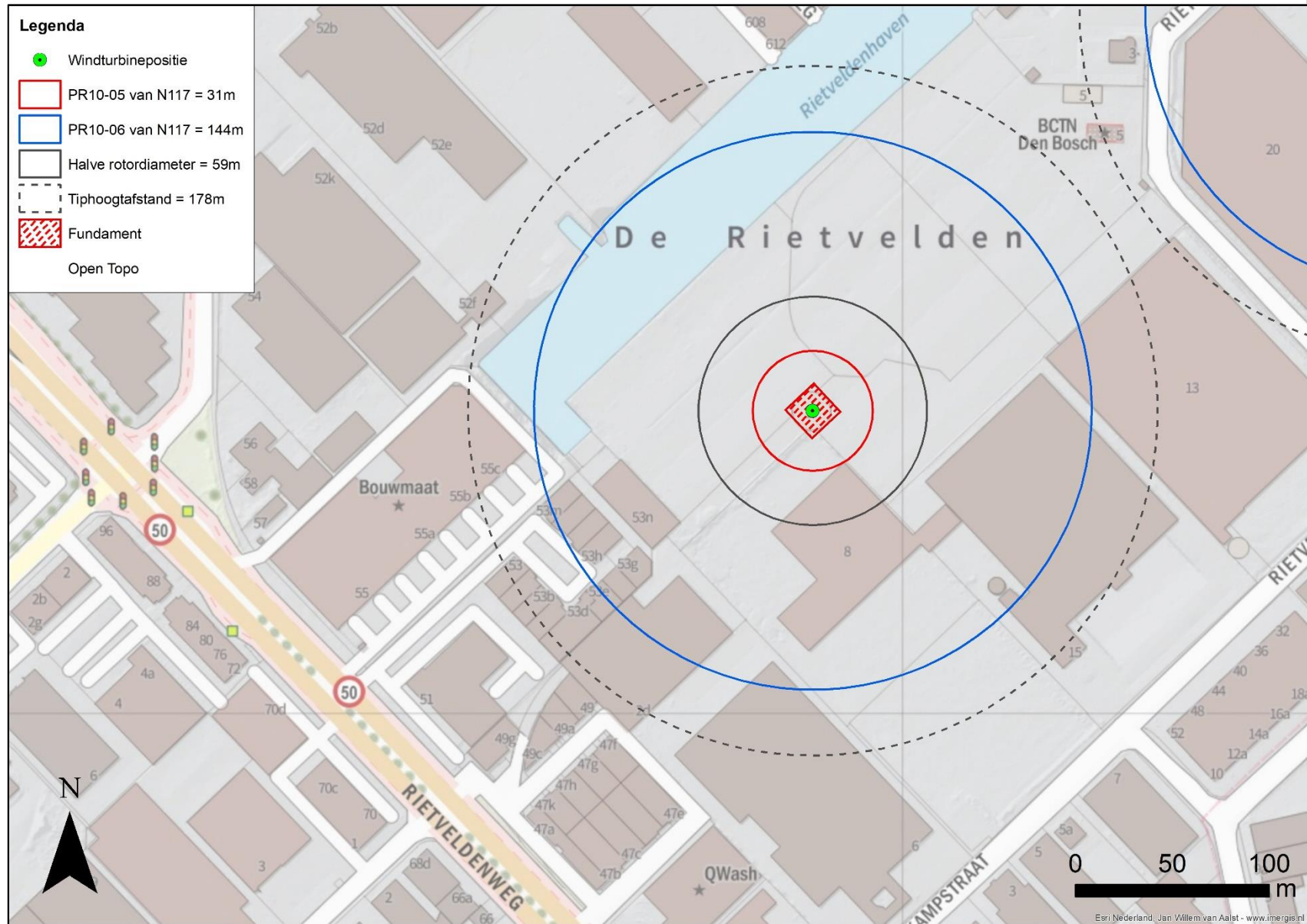
5.1 Conclusie

Uit de nadere berekening van windturbines beschikbaar binnen de aangegeven maximale dimensies van Windpark De Rietvelden blijkt dat de specifieke plaatsgebonden risicocontour met een risico van $PR10^{-5}$ ligt op een afstand van 31 meter van de onderzochte windturbines. De specifieke plaatsgebonden risicocontour met een risico van $PR10^{-6}$ ligt op een afstand van 144 meter van de onderzochte windturbines.

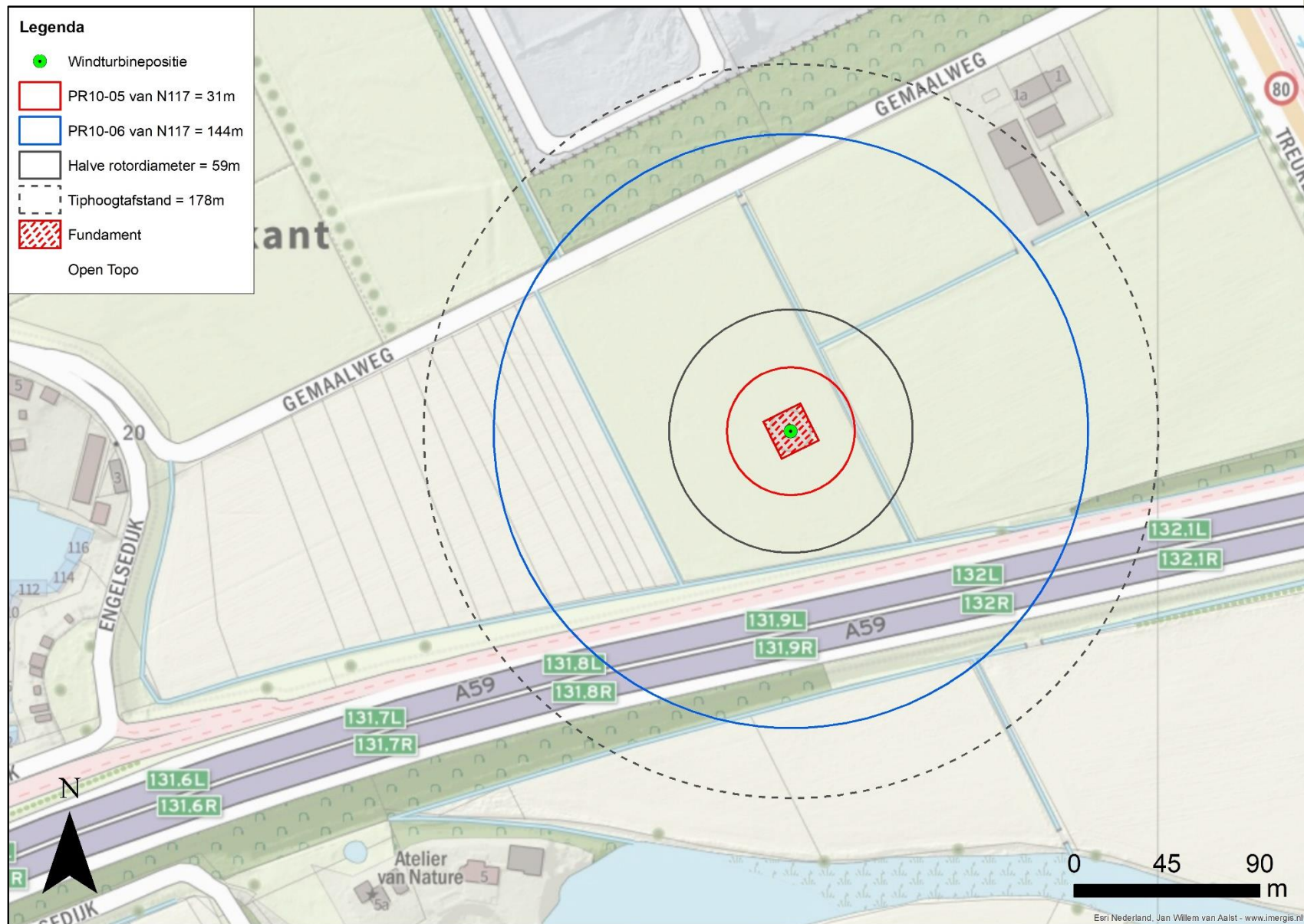
Uit de eerder gemaakte analyse waren een maximale $PR10^{-5}$ contour van 39 meter en een maximale $PR10^{-6}$ contour van 144 meter bepaald.

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



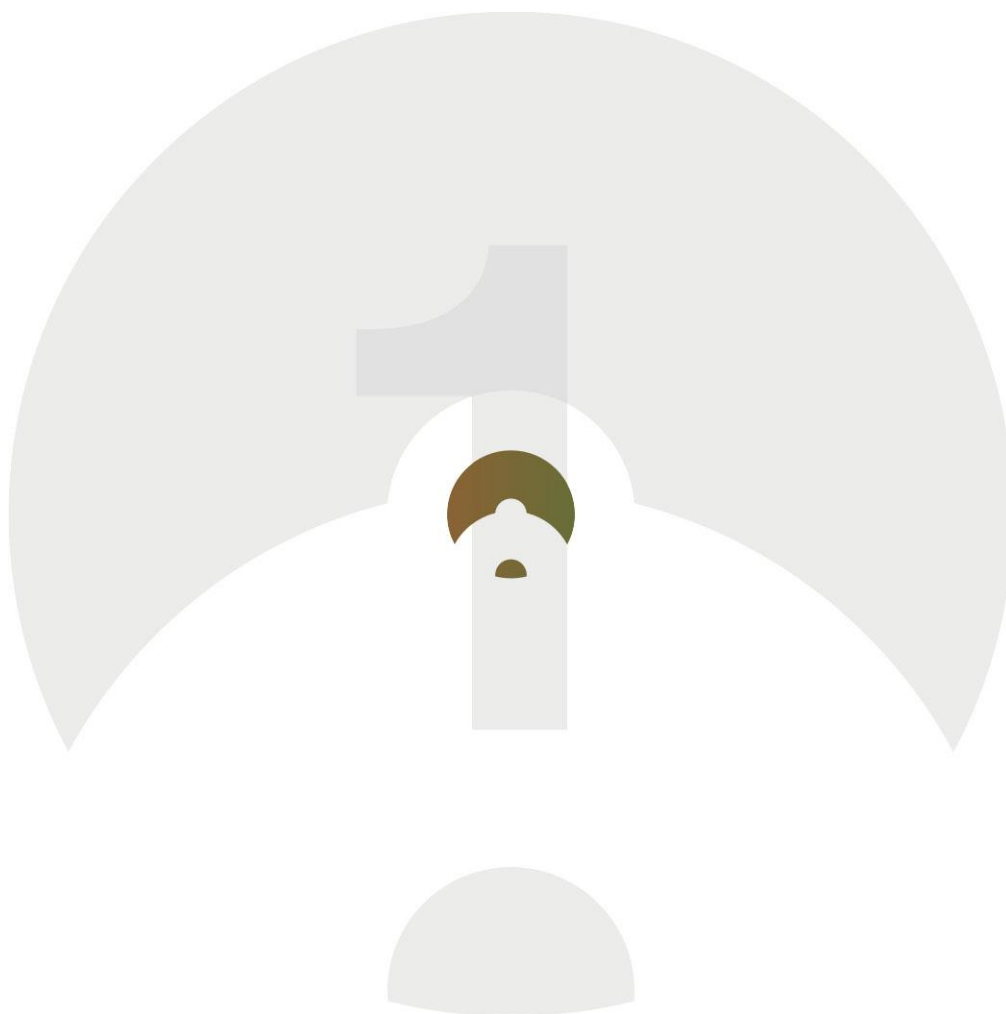






BIJLAGE 1

DATA HERKOMST GEGEVENS WINDTURBINES



Algemeen

- Ontbrekende datagegevens uit Windpro Windturbine Generator Catalogue, geraadpleegd op 11-05-2020.

Nordex N117/3600

- “Transport, access roads and crane requirements for the K08 delta wind turbines N117/3600, N131/3600 IEC S and N131/3900 IEC S” Revision 08 / 2017-07-12

BIJLAGE 2

AFKORTINGEN EN SYMBOLEN LIJST



Symbolenlijst

Symbol	Beschrijving
r	<i>Afstand tot hart windturbine (ook wel r_i)</i>
d	<i>Maximale mastbreedte [meter]</i>
P_m	<i>Trefkans /m binnen in mast [# / jaar]</i>
P_{mb}	<i>Kans op mastbreuk per jaar (faalfrequentie)</i>
H	<i>Ashoogte [meter]</i>
D	<i>Rotordiameter [meter]</i>
P_{to}	<i>Trefkans /m van mast tot tiplaaagte</i>
d_r	<i>Mastbreedte op hoogte r</i>
G	<i>Maximum gondelhoogte / breedte</i>
P_{tl}	<i>Trefkans /m van tiplaaagte tot onderkant gondel</i>
Opp_{blad}	<i>Fysieke oppervlakte van drie bladen</i>
Opp_{rotor}	<i>Oppervlakte van de gehele rotor</i>
B_{gondel}	<i>Maximale dimensie van de gondel</i>
P_g	<i>Trefkans /m van gondellaagte tot gondelhoogte</i>
P_{tip}	<i>Trefkans /m van gondelhoogte tot tiphoogte</i>
P_{gon}	<i>Trefkans /m tot gondelvalafstand</i>
P_{gf}	<i>Kans op gondelfalen per jaar (faalfrequentie)</i>
$P_{gon,r}$	<i>Trefkans /m vanaf gondelvalafstand tot ½e rotor</i>
f_{ZWPT}	<i>Trefkans van zwaartepunt van blad per m2</i>
x, y	<i>Meter2 op afstand x (horizontaal) en afstand y (verticaal)</i>
Ω	<i>Toerental windturbine</i>
f_R	<i>Kans op inslag ZWPT op afstand r</i>
P_p	<i>Trefkans van persoon die permanent aanwezig is op locatie</i>
A_c	<i>Kritiek oppervlakte van blad (t.o.v. persoon)</i>
x^*y^*	<i>Specifieke positie binnen effectzone</i>
d_p	<i>Breedte van persoon</i>
c	<i>Breedte van de mast</i>
φ	<i>Landingshoek van een windturbineblad</i>
PR	<i>Plaatsgebonden Risico</i>
$PR = 10^{-5}$	<i>Maximale contour waarbuiten het PR-risico kleiner is als ééns in 100.000 jaar</i>
$PR = 10^{-6}$	<i>Maximale contour waarbuiten het PR-risico kleiner is als ééns in 1.000.000 jaar</i>