



## Bijlage Externe veiligheid bij combi MER Windpark Oude Maas

5 januari 2017, drs. Ing. Jeroen Dooper

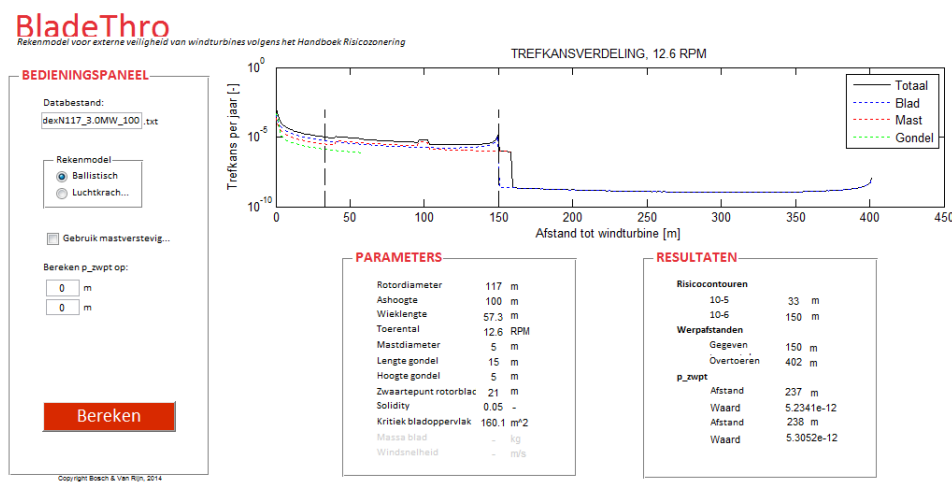
### 1. Berekening risicocontouren

Op basis van generieke faalfrequenties (bijlage A, Handboek Risicozonering Windturbines (HRW), 2014), het kogelbaanmodel (Bron: bijlage C, HRW 2014) en de windturbine specifieke parameters zijn per alternatief de risicocontouren berekend. Zie bijlage 1 bij dit document voor de rekenmethode.

De berekeningen zijn gedaan op basis van de volgende windturbintypes:

Alternatief / variant	Windturbine type	Ashoogte	Rotordiameter
1	Nordex N117	100	117
2a	Nordex N117	100	117
2b	Senvion 3.4M140	117	140
2c	Senvion 3.4M140	130	140
3	Nordex N117	100	117

#### Nordex N117 op 100 meter mast:



Hieruit blijken de volgende effectafstanden:

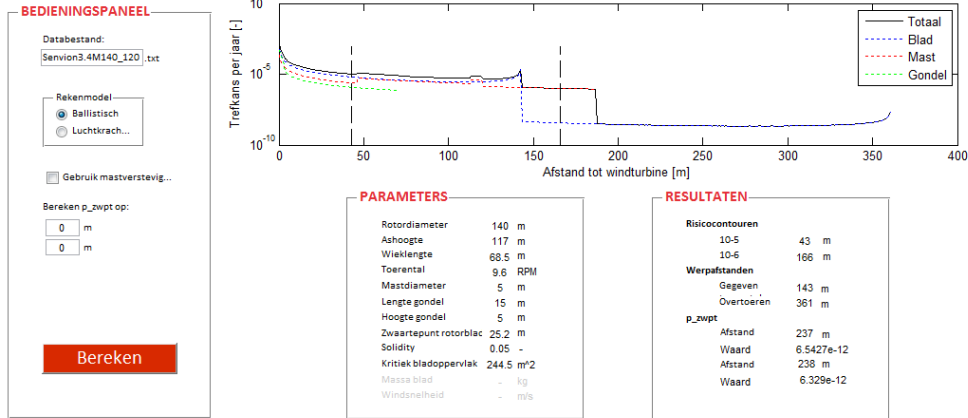
Scenario	Effect afstand
Afbreken van (een gedeelte van) een windturbineblad,	
a. bij overtoeren	402 meter
b. bij nominaal vermogen	150 meter
10 <sup>-5</sup> contour (we hanteren conservatief de wielengte)	58,5 meter
10 <sup>-6</sup> contour	160 meter



## Senvion 3.4M140 op 117 meter mast:

### BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering



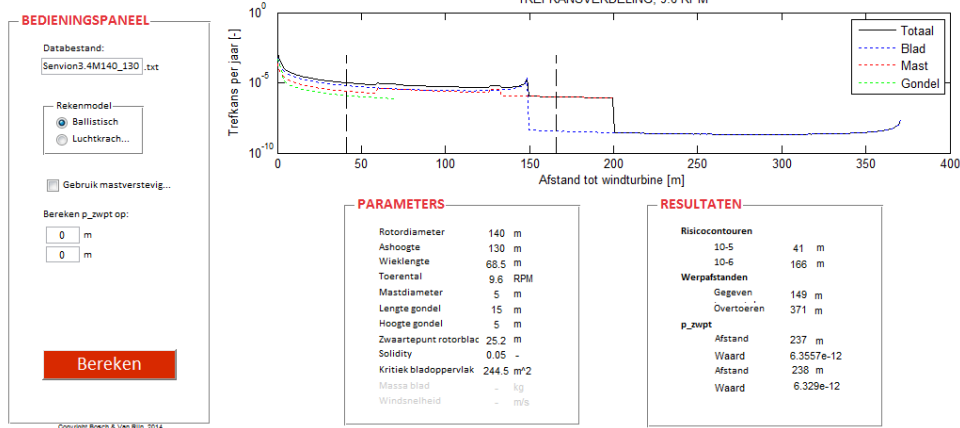
Hieruit blijken de volgende effectafstanden:

Scenario	Effect afstand
<i>Afbreken van (een gedeelte van) een windturbineblad,</i>	
a. <i>bij overtoeren</i>	361 meter
b. <i>bij nominaal vermogen</i>	143 meter
10 <sup>-5</sup> contour ( <i>we hanteren conservatief de wielengte</i> )	70 meter
10 <sup>-6</sup> contour	166 meter

## Senvion 3.4M140 op 130 meter mast:

### BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering



Hieruit blijken de volgende effectafstanden:

Scenario	Effect afstand
<i>Afbreken van (een gedeelte van) een windturbineblad,</i>	
a. <i>bij overtoeren</i>	371 meter
b. <i>bij nominaal vermogen</i>	149 meter
10 <sup>-5</sup> contour ( <i>we hanteren conservatief de wielengte</i> )	70 meter
10 <sup>-6</sup> contour	166 meter



## Bijlage 1: Formules werpafstandberekeningen

### 2.1 Ballistisch model zonder luchtkrachten

#### 2.1.1 Bewegingsvergelijking

Dit model is in principe het klassieke kogelbaanmodel, waarbij de luchtkrachten op het blad worden verwaarloosd. De relevante parameters voor dit ballistisch model zijn:

$H$  : hoogte rotoras [m]

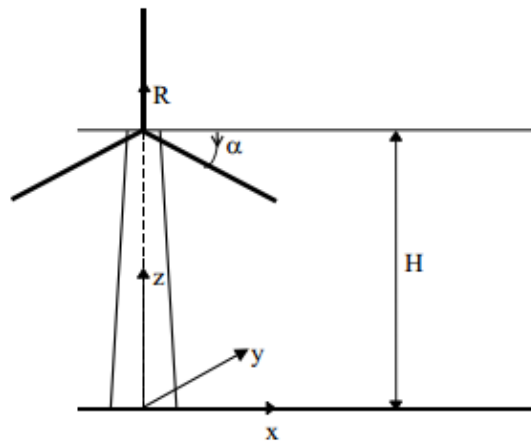
$\Omega$  : toerental van de rotor [rad/s]

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

$\alpha$  : azimuthhoek [rad]

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

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



Figuur 1: Overzicht parameters in ballistisch model

De bewegingsvergelijking voor het zwaartepunt is nu

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

Met de beginvoorwaarden

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

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

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



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

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

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

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

### 2.1.2 Verdelingsfuncties

De kansverdelingsfunctie  $f_{ZWPT}$  geeft de kans per  $m^2$  dat het zwaartepunt op een bepaalde plek terecht komt gegeven bladbreuk. Bij het onderhavige model worden de luchtkrachten niet meegenomen, zodat alleen het toerental en de azimuthoek als stochastische grootheden overblijven. Tevens geldt dat  $f_{ZWPT}$  alleen afhankelijk is van de afstand tot de windturbine. De kans dat het zwaartepunt van het blad in een cirkelschijf met breedte  $dr$  op een afstand  $r$  van de turbine terecht komt, is gegeven door

$$\begin{aligned} f_R(r; \Omega) dr &= P\{r < R < r + dr\} \\ &= P\{h^{-1}(r; \Omega) < \alpha < h^{-1}(r + dr; \Omega)\} \\ &= F_A(h^{-1}(r + dr; \Omega)) - F_A(h^{-1}(r; \Omega)) \end{aligned} \quad (2.1.6)$$

waarbij  $F_A$  de cumulatieve verdelingsfunctie is van de azimuthoek waarbij bladbreuk optreedt. Met de aanname dat de azimuthoek waarbij het blad afbreekt uniform is verdeeld, ofwel

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

geldt nu

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

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

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

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