



**Titel** Windpark Bijvanck – berekening werpafstanden  
**Datum** 3 april 2019  
**Auteur** [REDACTED]

---

## Inleiding

In onderhavig memo wordt op verzoek van Raedthuys onderzocht of twee mogelijke windturbinetypes voldoen aan de gebruiksregel uit het provinciaal inpassingsplan (PIP) Windpark Bijvanck betreffende buisleidingen.

Het betreft de volgende typen:

- Vestas V117 3,3 MW op 116,5 meter ashoogte.
- Enercon E-115 EP3 3,5Mw op 122 meter ashoogte

In onderstaande paragrafen wordt eerst ingegaan op de gebruiksregel uit het PIP waarna de werpafstanden voor de betreffende windturbinetypes worden berekend. Het rapport eindigt met de conclusies.

---

## Gebruiksregel inpassingsplan

In het PIP voor windpark Bijvanck is de volgende gebruiksregel opgenomen:

*“Het gebruik van een windturbintype waarbij de werpafstand bij nominaal toerental groter is dan of gelijk is aan de afstand van het middelpunt van de mast van de windturbine tot de hartlijn van de meest nabijgelegen gasleiding is niet toegestaan.”<sup>1</sup>*

Om te voldoen aan bovenstaande gebruiksregel moet de werpafstand bij nominaal toerental kleiner zijn dan 164,90 meter. Dit, omdat de kleinste afstand tussen een windturbine en een buisleiding 164,90 meter is.

Voor de twee geselecteerde windturbinetypes wordt getoetst of er wordt voldaan aan de gebruiksregel.

---

## Rekenmethode

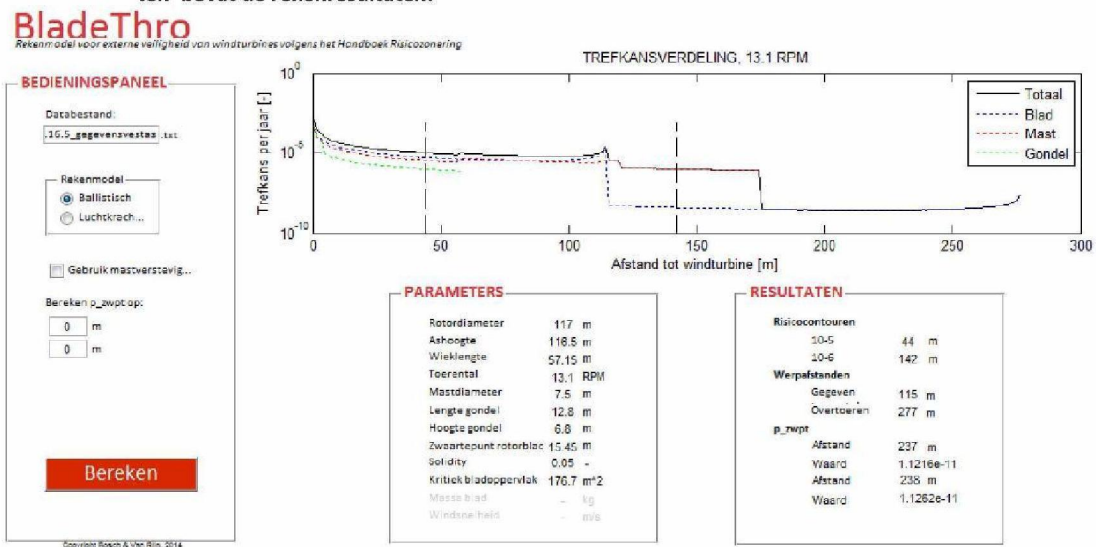
Voor beide typen wordt met behulp van het programma ‘BladeThro’ de werpafstand bij nominaal toerental berekend. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de generieke faalfrequenties (Bijlage A, Handboek Risicozonering Windturbines (HRW), 2014), het kogelbaanmodel (zie bijlage A, Bron: Bijlage C. HRW 2014) en parameters van de Vestas V117 en de E-115 EP3 zoals aangeleverd door de fabrikanten.

---

<sup>1</sup> Dit is de tekst uit de uitspraak van de Raad van State (201705691/1/R6), waarmee artikel 3, lid 3.3, onder c uit het oorspronkelijke plan is komen te vervallen.

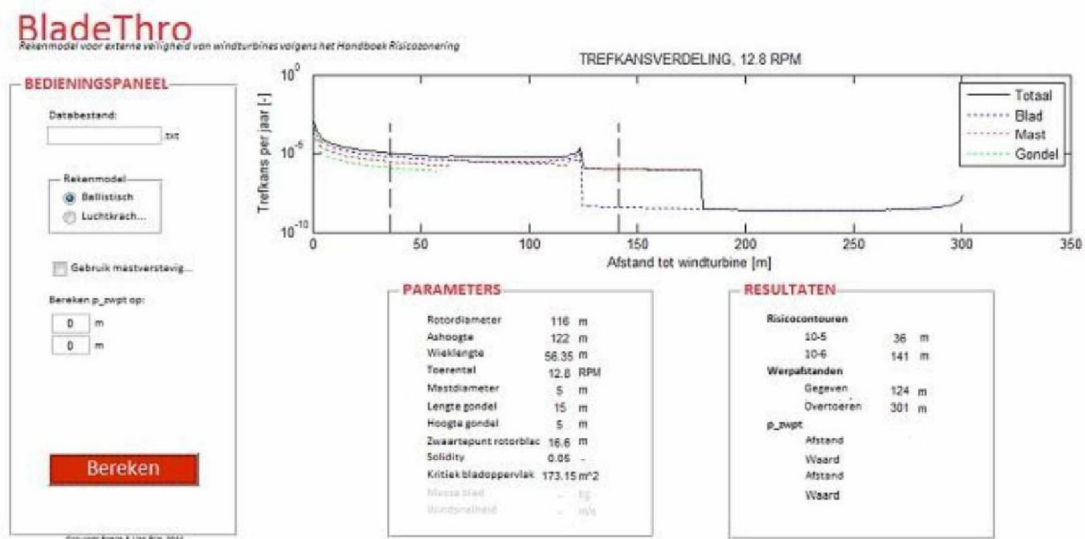
## Resultaten

**Figuur 1** Werpafstanden en risicocontouren Vestas V117 op 116,5 meter ashoogte. In het vak 'Parameters' staan de eigenschappen van de windturbine zoals aangeleverd door de fabrikant. Het vak 'Resultaten' bevat de rekenresultaten.



Uit bovenstaande figuur blijkt dat de werpafstand bij nominaal toerental 115 meter is. Doordat de afstand kleiner is dan 164,90 meter wordt er voldaan aan de gebruiksregel uit het PIP.

**Figuur 2** Werpafstanden en risicocontouren Enercon E115 op 122 meter ashoogte in het vak 'Parameters' staan de eigenschappen van de windturbine zoals aangeleverd door de fabrikant. Het vak 'Resultaten' bevat de rekenresultaten.



Uit bovenstaande figuur blijkt dat de werpafstand bij nominaal toerental 124 meter is. Doordat de afstand kleiner is dan 164,90 meter wordt er voldaan aan de gebruiksregel uit het PIP.

## Conclusie

---

Voor beide windturbinetypes wordt er voldaan aan de gebruiksregel uit het PIP. Hiermee vormt de gebruiksregel geen belemmering voor de realisatie van de betreffende windturbinetypes.

N.B. in het externe-veiligheidsonderzoek ten behoeve van de vergunningaanvraag zijn de V117 en de E-115 (toen in 3,0MW-uitvoering) ook beschouwd, met toen als berekende werpafstanden 168 respectievelijk 146 meter. Het verschil met die resultaten is te verklaren doordat in dat onderzoek uit werd gegaan van vuistregels voor wat betreft de ligging van het zwaartepunt van het blad (zoals vastgelegd in het HRW bijlage B2). De daadwerkelijke ligging van het zwaartepunt is dichterbij de aanhechting van de bladen, wat zorgt voor een kleinere werpafstand.

## Bijlage A Berekening werpafstand

### 2.1 Ballistisch model zonder luchtkrachten

#### 2.1.1 Bewegingsvergelijking

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

$H$  : hoogte rotoras [m]

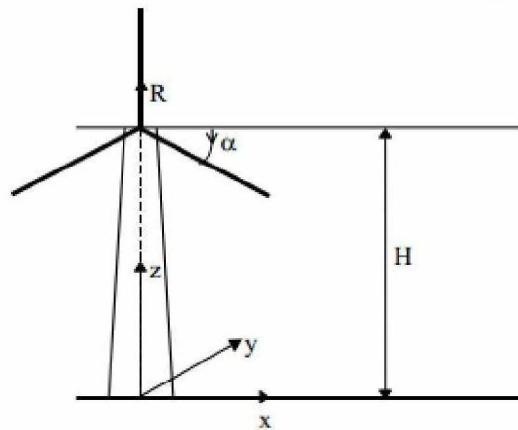
$\Omega$  : toerental van de rotor [rad/s]

$R_z$  : 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 azimuthhoek ten tijde van bladbreuk, ofwel

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

### 2.1.2 Verdelingsfuncties

De kansverdelingsfunctie  $f_{ZWPT}$  geeft de kans per  $m^2$  dat het zwaartepunt op een bepaalde plek terechtkomt gegeven bladbreuk. Bij het onderhavige model worden de luchtkrachten niet meegenomen, zodat alleen het toerental en de azimuthhoek als stochastische grootheden overblijven. Tevens geldt dat  $f_{ZWPT}$  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 terechtkomt, is gegeven door

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

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

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

geldt nu

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

Opm: Om de 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 azimuthhoeken op een bepaalde plek terecht kunnen komen, via de hoge baan of via de lage baan. Bij de numerieke uitwerking zal hiermee rekening moeten worden gehouden.

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

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



**Bosch & van Rijn**  
experts in renewable energy

Bosch & Van Rijn  
Groenmarktstraat 56  
3521 AV Utrecht

Tel: 030 - 677 64 66  
Mail: [info@boschenvanrijn.nl](mailto:info@boschenvanrijn.nl)  
Web: [www.boschenvanrijn.nl](http://www.boschenvanrijn.nl)

© Bosch & Van Rijn 2019

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