



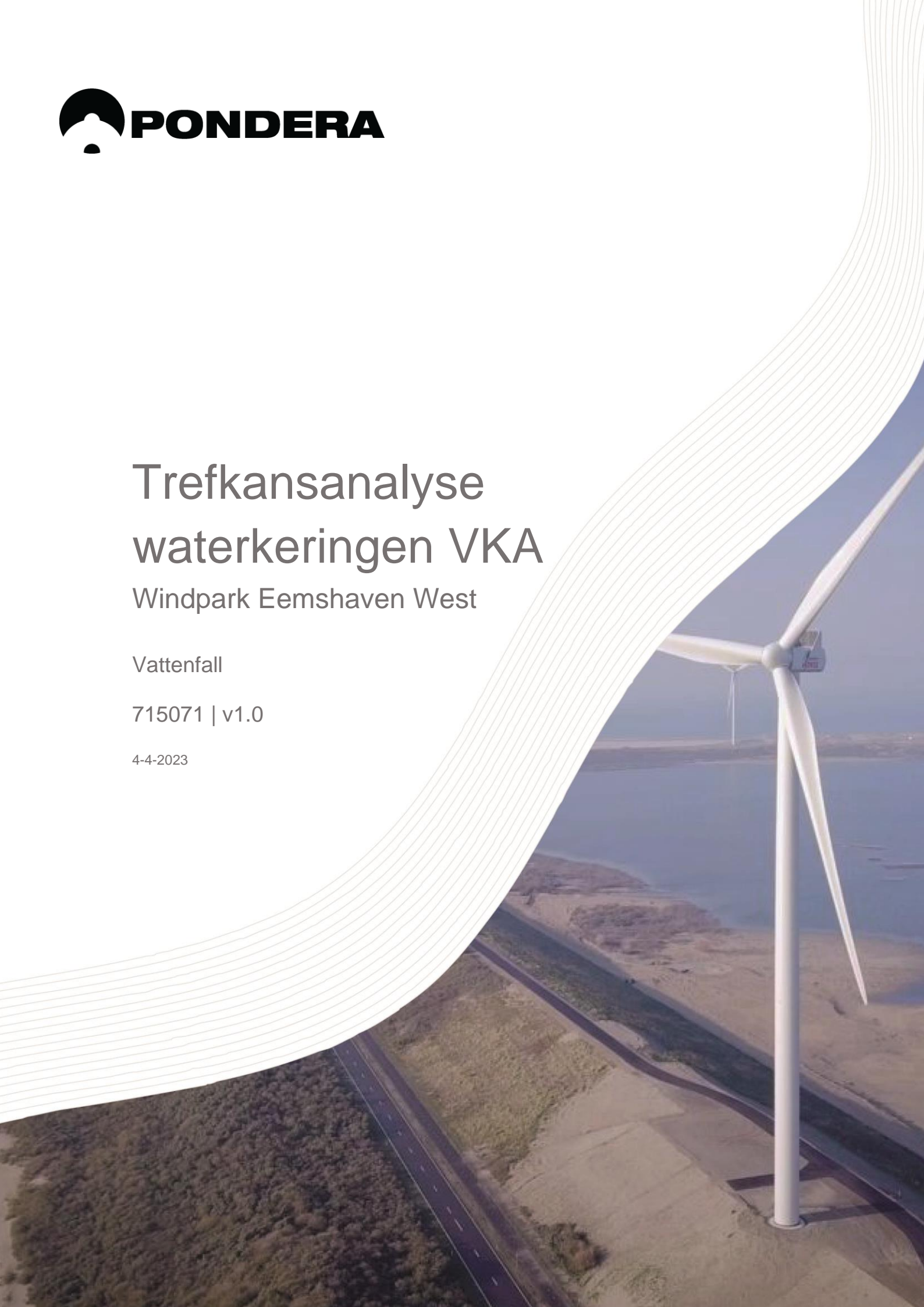
Trefkansanalyse waterkeringen VKA

Windpark Eemshaven West

Vattenfall

715071 | v1.0

4-4-2023



Pondera

Hoofdvestiging Nederland
Amsterdamseweg 13
6814 CM Arnhem
088 – pondera (088-7663372)
info@ponderaconsult.com

Postadres
Postbus 919
6800 AX Arnhem

Vestiging South East Asia
Jl. Mampang Prapatan XV no 18
Mampang
Jakarta Selatan 12790
Indonesia

Vestiging North East Asia
Suite 1718, Officia Building 92
Saemunan-ro, Jongno-gu
Seoul Province
Republic of Korea

Colofon

Soort document
Trefkansanalyse waterkeringen VKA

Projectnaam
Windpark Eemshaven West

Versienummer
v1.0

Datum
4-4-2023

Project nummer
715071

Opdrachtgever
Vattenfall

Auteur
Jim Quik

Nagekeken door
Bouke Vogelaar

Disclaimer

In het onderzoek is gebruik gemaakt van algemeen geaccepteerde uitgangspunten, modellen en informatie die ten tijde van het opstellen van dit rapport ter beschikking stonden. Aanpassingen in de uitgangspunten, modellen of gebruikte gegevens kunnen leiden tot andere uitkomsten. De aard en de nauwkeurigheid van de gebruikte gegevens voor het onderzoek bepalen in belangrijke mate de nauwkeurigheid en de onzekerheden van de berekende uitkomsten. Pondera is niet aansprakelijk voor gederfde inkomsten of schade die wordt geleden door opdrachtgever(s) en/of derden uit conclusies die gebaseerd zijn op gegevens die niet van Pondera afkomstig zijn. Deze rapportage is opgesteld met de intentie dat deze alleen gebruikt wordt door de opdrachtgever en slechts voor het doel waarvoor de rapportage is opgesteld. Er mag geen beroep worden gedaan op de informatie uit deze rapportage voor andere doeleinden zonder schriftelijke toestemming van Pondera. Pondera is niet verantwoordelijk voor de consequenties die kunnen voortvloeien uit het oneigenlijk gebruik van de rapportage. De verantwoordelijkheid voor het gebruik van (de analyse, resultaten en bevindingen in) de rapportage blijft bij de opdrachtgever. De Rechtsverhouding opdrachtgevers – architect, ingenieur en adviseur conform DNR 2011 is te allen tijde van toepassing.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Situatieschets	1
2	Uitgangspunten	4
2.1	Faalscenario's	4
2.2	Rekenmethodiek bij waterkeringen	5
2.3	Eigenschappen objecten	7
3	Resultaten	8
3.1	Restprofiel en inschatting waterstanden	9
4	Beoordeling effecten	12
4.1	Risico inschatting bovengrondse directe effecten waterkering	12

1 Inleiding

Bij de plaatsing van windturbines staat de veiligheid voor de omgeving voorop. Om de risico's op de veiligheid in de omgeving inzichtelijk te maken wordt daarom de externe veiligheid in beeld gebracht. Externe veiligheid gaat over de effecten die (in dit geval) een windturbine op de omgeving kan veroorzaken, zowel effecten op objecten zoals gebouwen en infrastructuur, als ook effecten die op personen kunnen worden veroorzaakt. In Nederland kennen we Wet- en regelgeving en richtlijnen die aangeven hoe (een effect op) de veiligheid van de omgeving moet worden onderzocht en wanneer de veiligheid is geborgd. Dat kader vormt het uitgangspunt voor het onderzoeken en beoordelen van de effecten in een Milieu Effect Rapport (MER).

Waterkeringen zijn in beheer bij de waterschappen of Rijkswaterstaat. Windturbines in de directe nabijheid van waterkeringen kunnen risico's veroorzaken die leiden tot een verhoogde bezwijkkans van de waterkeringen. Om de veiligheid van de waterkeringen te kunnen garanderen dient er bij de plaatsing van windturbines rekening te worden gehouden met de benodigde betrouwbaarheid van de waterkeringen.

Ook voor het beoogde Windpark Eemshaven West dient onderzocht te worden dat de betrouwbaarheid van de waterkeringen behouden blijft. In het MER worden de milieueffecten van Windpark Eemshaven West onderzocht voor het voorkeursalternatief (VKA), gebaseerd op ontwerpvariabelen welke staan vermeld in het MER.

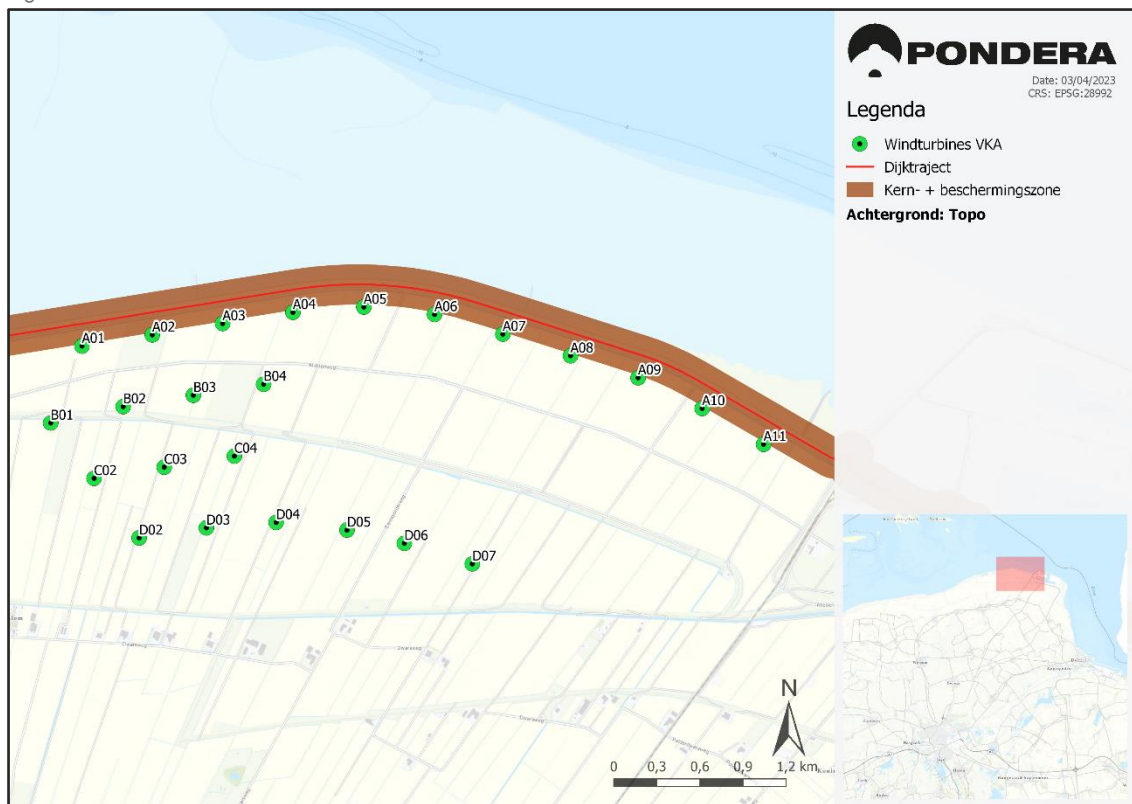
1.1 Situatieschets

Aan de noordzijde van het plangebied ligt de Ommelanderzeedijk, wat een primaire waterkering in beheer bij het Waterschap betreft, zie Figuur 1.1. De dijk heeft een kernzone van 40 meter (binnenzijde), een profiel van vrije ruimte van 75 meter (vanaf rand kernzone) en een beschermingszone van 100 meter (vanaf rand kernzone). Binnen de kernzone en het profiel van vrije ruimte zijn windturbines (bouwwerkzaamheden) niet toegestaan. Binnen de beschermingszone zijn bouwwerken in principe onwenselijk, maar onder strikte voorwaarden mogelijk. In onderstaand figuur is de waterkering en de betreffende zones weergegeven. Er zijn geen overige waterkeringen in (de nabijheid van) het plangebied gelegen. Op basis van eerdere rapportages waarin zes alternatieven (A,B,C,D,E en F) werden beschouwd is een voorkeurs-alternatief (VKA) gekozen. Voor het VKA geldt dat de windturbines buiten de betreffende beschermingszones staan (op circa 150 – 160 meter afstand). Daarmee wordt voldaan aan de vereisten van de keur en legger van het Waterschap Noorderzijlvest. De coördinaten van de windturbines van het VKA zijn gegeven in Tabel 1.1.

Waterkeringen kunnen worden ingedeeld naar hun functie in:

- primaire dijken (water-land);
- secundaire dijken (land-land);
- dammen (water-water).

Figuur 1.1 Locatieoverzicht.



Bron: Pondera Consult

In de Handreiking Windturbines en Waterkeringen (STOWA, 2018)¹ wordt aangegeven dat in een onderzoek naar de mogelijkheden van de bouw van een windpark in de omgeving van een waterkering aangetoond dient te worden dat in alle fases van de levenscyclus van een windturbine:

- het waterkerend vermogen is gewaarborgd tijdens de bouw, de exploitatie en de ontmanteling van de windturbines;
- de waterkering is in het kader van een eventuele toekomstige versterking uit te breiden;
- het doelmatig beheer en onderhoud aan de waterkering is gewaarborgd.

Als het gaat om het waterkerend vermogen is van belang onderscheid te maken in bovengrondse en ondergrondse effecten op waterkeringen als gevolg van windturbines.

Hoofdstuk 2 beschrijft de uitgangspunten en eigenschappen van de te onderzoeken objecten. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten van de trefkansanalyse en een inschatting van de restprofielen van de waterkering. In hoofdstuk 4 worden de effecten beoordeeld.

¹ https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-53%20windturbines_techneik.pdf

Tabel 1.1 Windturbine X- en Y-coördinaten in coördinatenstelsel EPSG:28992.

Windturbine	X	Y
A01	243378	609247
A02	243868	609325
A03	244358	609404
A04	244848	609482
A05	245342	609519
A06	245835	609467,3
A07	246310,8	609330,2
A08	246782,6	609179,4
A09	247253,6	609026,1
A10	247699,9	608811,7
A11	248128	608562,3
B01	243160	608711
B02	243665	608825
B03	244154	608904
B04	244644	608981
C02	243462	608325
C03	243951	608403
C04	244440	608480
D02	243776	607910
D03	244245	607980
D04	244731	608018
D05	245225	607965
D06	245624,7	607872,4
D07	246098	607729,2

2 Uitgangspunten

De methodiek om de trefkansen te berekenen is gebaseerd op de berekeningsmethodieken in de Handreiking Risicozonering Windturbines v1.1² en de Handleiding Risicoberekeningen Windturbines (versie oktober 2020)³. Dit is de huidige opvolging van het Handboek risicozonering windturbines 2014 (v3.1). Voor het leesgemak wordt naar beide rapportages verwezen als “HRW”. Per faalscenario wordt omschreven hoe de berekening is uitgevoerd.

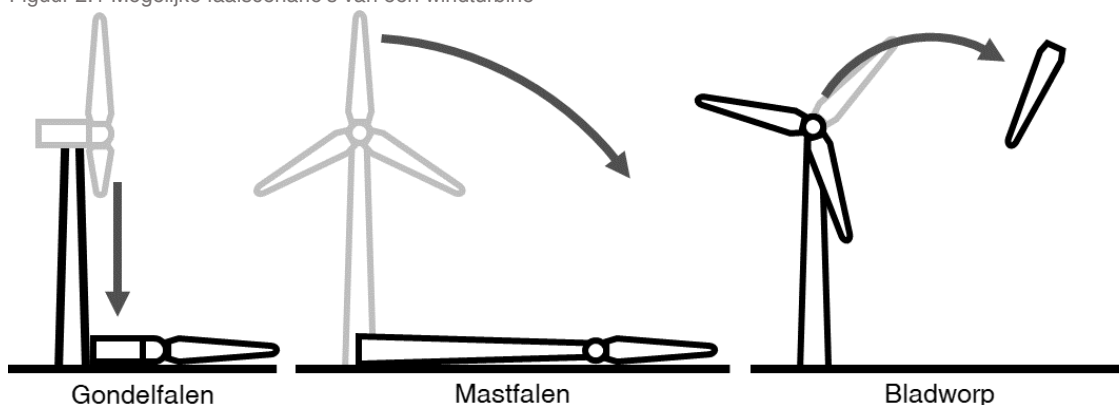
2.1 Faalscenario's

Conform het HRW zijn er drie mogelijke faalscenario's van windturbines: gondelfalen, mastfalen en bladworp. De faalscenario's zijn weergegeven in Figuur 2.1. In geval van gondelfalen breekt de gondel los van de mast en valt langs de mast naar beneden, vervolgens breekt ook een blad los. Bij mastfalen breekt de mast onderaan af en valt de gehele windturbine naar beneden. Bij bladworp breekt een blad los en wordt geworpen als gevolg van de rotatie van de rotor. Bij bladworp wordt vervolgens nog onderscheid gemaakt tussen bladworp bij nominaal toerental en bladworp bij overtoeren. Bij bladworp bij overtoeren wordt er gerekend met een toerental gelijk aan twee keer het nominale toerental. De faalfrequenties van de verschillende faalscenario's conform het HRW zijn in Tabel 2.1 weergegeven.

Tabel 2.1 Faalfrequenties van de verschillende faalscenario's, conform het HRW.

Faalscenario	Faalfrequentie per jaar
Gondelfalen	4,0E-05
Mastfalen	1,3E-04
Bladworp bij nominale toeren	8,4E-04
Bladworp bij overtoeren	5,0E-06

Figuur 2.1 Mogelijke faalscenario's van een windturbine



² Handreiking Risicozonering Windturbines (HRW2020), versie 1.1, Rijkswaterstaat Water, Verkeer & Leefomgeving, 20 mei 2020.

³ Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV – Windturbines, versie oktober 2020, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

2.2 Rekenmethodiek bij waterkeringen

Schade aan waterkeringen als gevolg van falende windturbineonderdelen kan plaatsvinden indien het zwaartepunt van het onderdeel de waterkering raakt. Daarom worden de zwaartepunten van de windturbineonderdelen beschouwd.

Gondelfalen

De maximale effectafstand is gelijk aan de maximale straal van de mast + de lengte van de gondel inclusief de hub + de zwaartepuntsafstand van het blad. De trefkans wordt bepaald aan de hand van de hoek van overlap tussen het bereik van de effectafstand en het betreffende object.

Mastfalen

De maximale effectafstand is gelijk aan de ashoogte + de zwaartepuntsafstand van het blad. De trefkans wordt bepaald aan de hand van de hoek van overlap tussen het bereik van de effectafstand en het betreffende object.

Bladworp

Voor bladworp wordt uitgegaan van de werpafstanden van het zwaartepunt van een rotorblad welke berekend worden met het kogelbaanmodel zonder luchtkrachten zoals opgenomen in paragraaf 3.2.1 van het HRW. Deze berekening wordt vervolgens geconverteerd in een data-image (geotiff), waarin elke pixel de kans weergeeft dat het zwaartepunt van het blad op de betreffende pixel land. De uiteindelijke trefkans is de som van alle pixels van de data-image (geotiff) binnen het betreffende object.

2.2.1 Bepaling gevolgschade door treffen

Naast de kans op treffen van de kering, is het met name relevant wat de gevolgen zijn wanneer de dijk daadwerkelijk wordt geraakt. Het potentiële risico dat zich kan voordoen is dat het profiel van de dijk verandert door de inslag van een turbineonderdeel, waardoor er een gat in de dijk ontstaat of de dijk lager wordt. Het restprofiel (hoe hoog is dijk nog na inslag) in combinatie met een situatie waarbij het water hoger is dan dit restprofiel leidt tot een overstroming.

Het restprofiel kan aangetast worden door directe schade aan de dijk en/of omliggende zones. Deze kratervorming kan op twee manieren de werking van de dijk beïnvloeden: door de impact van een windturbineonderdeel kan een krater ontstaan waardoor de dijk lager is en daarmee een minder hoge waterstand kan keren, of de krater kan zorgen voor gevolgschade-effecten zoals instabiliteit van de waterkering, piping effecten of andere faalmechanismen. Voor het gros van deze effecten geldt dat hogere waterstanden zorgen voor een hogere kans van optreden van de faalmechanismen. In deze analyse wordt het effect bepaald van de directe aantasting van de hoogte van de waterkering. Er wordt nog geen analyse gedaan van effecten op individuele faalmechanismen zoals macroinstabiliteit of piping door de kratervorming.

De schade aan de waterkering zal variëren aan de hand van welk onderdeel met welk gewicht en vanaf welke hoogte vallend de waterkering wordt getroffen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen het vallen van gewichten en het werpen van rotorbladen omdat bij bladworp een gewicht omhoog gegooid kan worden en daardoor met grotere kracht kan neervallen dan bij de andere twee vallende faalscenario's. Een eerdere berekening was uitgevoerd met de 'Menard' methode. De 'Menard' methode ging uit van dimensieloze objecten die met hun volle gewicht één punt van de waterkering raken waardoor de

kraterdieptes ruim overschat werden. Met de nieuwe methode kan een berekening worden uitgevoerd welke meer rekening houdt met de dimensies van de betrokken onderdelen. Onderstaande formules zijn gebaseerd op de worst-case methodiek voor kraterbepaling van 'Bernard'⁴.

$$Z = \frac{1}{c} \times \left[- \left(a + \frac{2}{3} \times b \times V \right) + \sqrt{\left(a + \frac{2}{3} \times b \times V \right)^2 + G_w \times c \times V^2} \right]$$

Met:

Z = Indringingsdiepte (kratervorming) [m]

$$a = \frac{A \times d}{S \times N}$$

$$b = \frac{d}{S \times N} \times \sqrt{\left(\frac{3}{7} \times B \times G_w \right)}$$

$$c = \frac{B \times d^2}{S^2 \times N^2}$$

V = Impactsnelheid van het onderdeel [m/s]

G_w = Gewicht van onderdeel [kg]

d = Diameter van treffend onderdeel (breedte object) [m]

S = Grondsoort-type (6 = Medium dense, medium to coarse sand, wet or dry on the loose side)

N = Object nose shape (0,56 = Flat or blunt surface)

A = Constante waarde = 2,2 x 10⁰⁶ [N/m]

B = Constante waarde = 2,8 x 10⁰⁷ [N/m³]

RPM = Toerental tijdens bladworp

Z_p = Zwaartepunt rotorblad (generiek op 1/6 x Rotordiameter)

Voor de bepaling van de Impactsnelheid (V) wordt voor gondelfalen en mastfalen uitgegaan van de ashoogte waarmee de impactsnelheid kan worden berekend met de formule:

$$V = \sqrt{2 \times 9,81 \times \text{ashoogte}}$$

De impactsnelheid bij bladworp bij nominaal toerental en overtoeren wordt bepaald door de rotatiesnelheid en de boogvlucht die het blad aflegt door de lucht. De geldende formule gaat uit van maximale valsnelheid vanaf de maximale hoogte die bereikt kan worden bij een werphoek van 90 graden. Deze waarde wordt representatief geacht voor een maximale hoogte waarbij het rotorblad nog wel enige afstand aflegt tijdens de worp. De snelheid bij bladworp wordt bepaald met de formule:

$$\text{Werpsnelheid} = 2\pi \times \frac{\text{RPM}}{60} \times Z_p$$

De hoogste top van de worp kan dan worden bepaald met:

$$\text{Maximale werphoogte} = \frac{\text{Werpsnelheid}^2}{2 \times 9,81} + \text{Ashoogte}$$

⁴ Bernard (1978): Depth and motion prediction for earth penetrators. ADA056701, Vicksburg.

2.3 Eigenschappen objecten

In onderstaande tabellen wordt voor een worst-case windturbine type per faalscenario de relevante eigenschappen van de windturbine weergegeven. Kratervorming door het gondelgewicht wordt maatgevend geacht, derhalve wordt het effect van het gewicht van de mast niet beschouwd.

Tabel 2.2 Eigenschappen windturbines voor scenario gondelfalen.

Eigenschap	Waarde
Rotordiameter [m]	165
Ashoogte [m]	142,5
Tiphoogte [m]	225
Afstand tot zwaartepunt van een blad, gemeten vanaf de hub-as [m]	27,5
Massa gondel [ton]	400
Massa blad [ton]	36
Trefdiameter gondel [m]	4,5
Trefdiameter blad [m]	3,5
Lengte gondel inclusief de hub [m]	25
Maximale mastdiameter [m]	10

Tabel 2.3 Eigenschappen windturbines voor scenario mastfalen.

Eigenschap	Waarde
Rotordiameter [m]	130
Ashoogte [m]	160
Tiphoogte [m]	225
Afstand tot zwaartepunt van een blad, gemeten vanaf de hub-as [m]	21,67
Massa gondel [ton]	400
Massa blad [ton]	33
Trefdiameter gondel [m]	4,5
Trefdiameter blad [m]	3,5

Tabel 2.4 Eigenschappen windturbines voor scenario bladworp. Referentieturbine Nordex N131.

Eigenschap	Waarde
Rotordiameter [m]	131
Ashoogte [m]	159,5
Tiphoogte [m]	225
Nominaal toerental [rpm]	11,9
Afstand tot zwaartepunt van een blad, gemeten vanaf de hub-as [m]	21,83
Massa blad [ton]	33
Trefdiameter blad [m]	3,5

3 Resultaten

De trefkans per windturbine en per faalscenario zijn weergegeven in Tabel 3.1. De waterkering ondervindt alleen een trefkans van de meest noordelijke elf windturbines. De totale trefkans per windturbine zit rond de 1,8E-06 per jaar. De totale trefkans van het windpark is 1,99E-05. De impactsnelheden en bijbehorende kraterdiepten zijn weergegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Trefkans per windturbine en per faalscenario op de waterkering. De faalscenario's gondelfalen en mastfalen zijn onderverdeelt per windturbine onderdeel. De onderste rij geeft de totalen weer.

WT	Gondelfalen		Mastfalen		Bladworp		Totaal
	Gondel	Blad	Gondel	Blad	Nominaal	Overtieren	
A01	8,61E-06	1,69E-05	6,18E-05	6,74E-05	3,44E-04	1,81E-06	5,00E-04
A02	6,89E-06	1,67E-05	6,14E-05	6,71E-05	3,38E-04	1,80E-06	4,92E-04
A03	7,61E-06	1,68E-05	6,14E-05	6,71E-05	3,40E-04	1,80E-06	4,95E-04
A04	5,89E-06	1,66E-05	6,16E-05	6,76E-05	3,37E-04	1,80E-06	4,90E-04
A05	3,67E-06	1,63E-05	6,21E-05	6,84E-05	3,36E-04	1,82E-06	4,88E-04
A06	9,72E-06	1,72E-05	6,28E-05	6,89E-05	3,51E-04	0,00E+00	5,09E-04
A07	7,56E-06	1,68E-05	6,14E-05	6,73E-05	3,40E-04	0,00E+00	4,93E-04
A08	7,56E-06	1,68E-05	6,14E-05	6,74E-05	3,40E-04	0,00E+00	4,93E-04
A09	3,22E-06	1,64E-05	6,21E-05	6,82E-05	3,36E-04	0,00E+00	4,86E-04
A10	7,94E-06	1,69E-05	6,16E-05	6,76E-05	3,41E-04	0,00E+00	4,95E-04
A11	6,94E-06	1,67E-05	6,14E-05	6,71E-05	3,38E-04	0,00E+00	4,90E-04
B01	0	0	0	0	0	0	0
B02	0	0	0	0	0	0	0
B03	0	0	0	0	0	0	0
B04	0	0	0	0	0	0	0
C02	0	0	0	0	0	0	0
C03	0	0	0	0	0	0	0
C04	0	0	0	0	0	0	0
D02	0	0	0	0	0	0	0
D03	0	0	0	0	0	0	0
D04	0	0	0	0	0	0	0
D05	0	0	0	0	0	0	0
D06	0	0	0	0	0	0	0
D07	0	0	0	0	0	0	0
	7,56E-05	1,84E-04	6,79E-04	7,44E-04	3,74E-03	9,04E-06	5,43E-03

Tabel 3.2 Impactsnelheid en kraterdiepte.

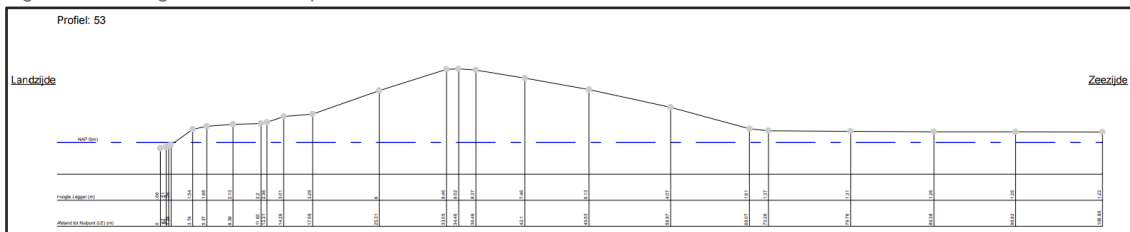
Eigenschap	Waarde
Impactsnelheid gondelfalen [m/s]	56,9
Impactsnelheid bladworp nominaal [m/s]	63,1
Impactsnelheid bladworp overtoeren [m/s]	78,7
Indringingsdiepte gondel [m]	3,3
Indringingsdiepte blad bij mastfalen [m]	1,2
Indringingsdiepte bladworp nominaal [m]	1,3
Indringingsdiepte bladworp overtoeren [m]	1,7

3.1 Restprofiel en inschatting waterstanden

Om een eerste inschatting van de mogelijke effecten te maken is de hoogte van de waterkering en de kans op voorkomen van een te keren waterstand van belang. Om een eerste inschatting te maken van de opbouw van de waterkering is de Legger van Waterschap Noorderzijlvest geraadpleegd voor de kaartbladen 72 t/m 82. Dit betreft de doorsnedeprofielen van nummer 47 t/m 55.

Uit deze doorsneden blijkt een minimale kruinhoogte van 8,4 meter boven NAP met een breedte van circa 3 tot 5 meter. De kratervorming is maximaal enkele meters breed. Voor deze analyse wordt er conservatief van uitgegaan dat enige vorm van kratervorming in de waterkering (inclusief talud en lagere gedeelten) zal leiden tot aantasting van het waterkerend vermogen van de waterkering via overloop of overslag. Hierbij wordt kratervorming op de gehele dijkbreedte beschouwd en gezien als 1:1 vermindering van de kruinhoogte ongeacht de locatie van de krater.

Figuur 3.1 Weergave doorsnedeprofiel 53 als voorbeeld.



Bron: <https://waterdata.noorderzijlvest.nl/legger/kering/LeggerVanDeWaterkering.pdf>

Dit kan worden gebruikt als een eerste inschatting van de te keren waterstanden indien er sprake is van het treffen van een windturbineonderdeel. Dit betekent dat bij het treffen van een rotorblad bij bladworp er in het ergste geval een hoogte overblijft van circa 7,1 tot 6,7 meter bij bladworp nominaal en bladworp overtoeren. Bij het treffen door een gondelgedeelte of mastgedeelte blijft er nog circa 5,1 meter hoogte over ergens op de breedte van de waterkering.

De totale trefkansen van de optredende faalscenario's: Gondelfalen, Mastfalen, Bladworp bij nominaal toerental en Bladworp bij overtoeren kunnen opgesplitst worden in verschillende trefkansen met verschillende invloeden op het restprofielen van de waterkering.

Volgens de informatie van waterhoogten uit sensor meetpunt Eemshaven van Rijkswaterstaat in de periode van 01/01/2010 tot 01/01/2019 is de maximaal opgetreden waterstand +4,15 meter boven NAP

welke eenmaal is opgetreden. Het betrokken Waterschap Noorderzijlvest heeft aangegeven dat in 2006 een waterstand van 4,3 meter is gemeten op het betrokken dijkvak. Op basis van de sensor data zijn waterstanden boven de +3,0 meter op 9 dagen in 10 jaar tijd opgetreden. In de rapportage naar een meetpaal nabij de Eemshaven (Buitengaats) zijn de extreme hoogwaterstanden ook geanalyseerd. Omdat het minimale restprofiel +5,1 meter bedraagt zou enkel op basis van deze waterstanden analyse en op de aangegeven maximale waterstand door het Waterschap Noorderzijlvest er in de afgelopen 20 jaar geen situatie zijn ontstaan waarbij er sprake zou zijn van overstroming. Om toch een conservatieve inschatting te doen naar een kans van optreden wordt er gekeken naar de maatgevende hoogwaterstanden die verwacht kunnen worden op deze locatie. Hieruit blijkt een verdeling die qua hoogtes aansluit bij de gevonden sensor gegevens. Op basis van de informatie in deze rapportage zijn inschattingen te maken van de overschrijdingswaarden van hoogwaterstanden.

Figuur 3.2 Weergave Tabel 3.2 met overschrijdingswaarden voor Hoogwaterstand Eemshaven.

Tabel 3.2 Overschrijdingswaarden hoogwaterstand Eemshaven (m, NAP) op basis van totale waterstand

Overschrijdings-frequentie	totale waterstand, incl. [95%] betrouwbaarheidsmarges [m, NAP]
1 keer per jaar	2,90 [2,80 – 3,00]
0,01 keer per jaar	4,35 [3,75 – 5,25]

Bron: Bepaling maatgevende randvoorwaarden Eemshaven – Deltares 2013 – kenmerk: 1207902-000

Het Waterschap Noorderzijlvest heeft geadviseerd om een waterstand van 4,81 m te beschouwen als hoogst gemeten waterstand gebaseerd op de hoogste gemeten waarde in Delfzijl uit het recente verleden. Deze waarde is lager dan het te verwachten restprofiel van minimaal 5,1 meter.

Met een restprofiel van minimaal 5,1 meter betekent dit dat verwacht kan worden dat de kans van optreden van deze hoogwaterstand op basis van de overschrijdingswaarde van toekomstige hoogwaterstanden een kans van optreden heeft van 0,01 keer per jaar. Als conservatieve aanname voor deze analyse wordt uitgegaan van de volgende kansen van optreden die zijn gebaseerd op grafische extrapolatie van de waardes voor de 95% betrouwbaarheidsmarge. Deze aannames kunnen in een latere fase worden aangescherpt op basis van de gegevens die Rijkswaterstaat of het Waterschap beschikbaar hebben.

- Restprofiel +5,1 meter 0,01 1/100 jaar;
- Restprofiel +6,7 meter 0,001 1/1000 jaar;
- Restprofiel +7,1 meter 0,0009 1/1100 jaar.

Uitgaande van een ingeschatte hersteltijd van 7 dagen kan vervolgens bepaald worden wat de kans van optreden is van een niet te keren hoogwaterstand tijdens de aanwezige restprofielen. De kans dat er hoogwater is tijdens de herstelwerkzaamheden, P_o , is daarmee

$$P_o = 1 - \left(1 - \frac{P_h}{365}\right)^7,$$

Met P_h de kans van optreden van hoogwater.

- Restprofiel +5,1 meter 0,019%
- Restprofiel +6,7 meter 0,0019%
- Restprofiel +7,1 meter 0,0017%

Door deze kansen te vermenigvuldigen met de eerder berekende trefkansen per windturbineonderdeel kan de kans op hoogwater tijdens de herstelwerkzaamheden ten gevolge van het treffen van een windturbineonderdeel worden berekend. Deze kansen zijn weergegeven in Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Kans op hoogwater tijdens de herstelwerkzaamheden ten gevolge van het treffen van een windturbineonderdeel. Dit is de trefkans per windturbine en per faalscenario, verdisconteerd met de kans op overstromen tijdens hersteltijd. De faalscenario's gondelfalen en mastfalen zijn onderverdeelt per windturbine onderdeel. De onderste rij geeft de totalen weer.

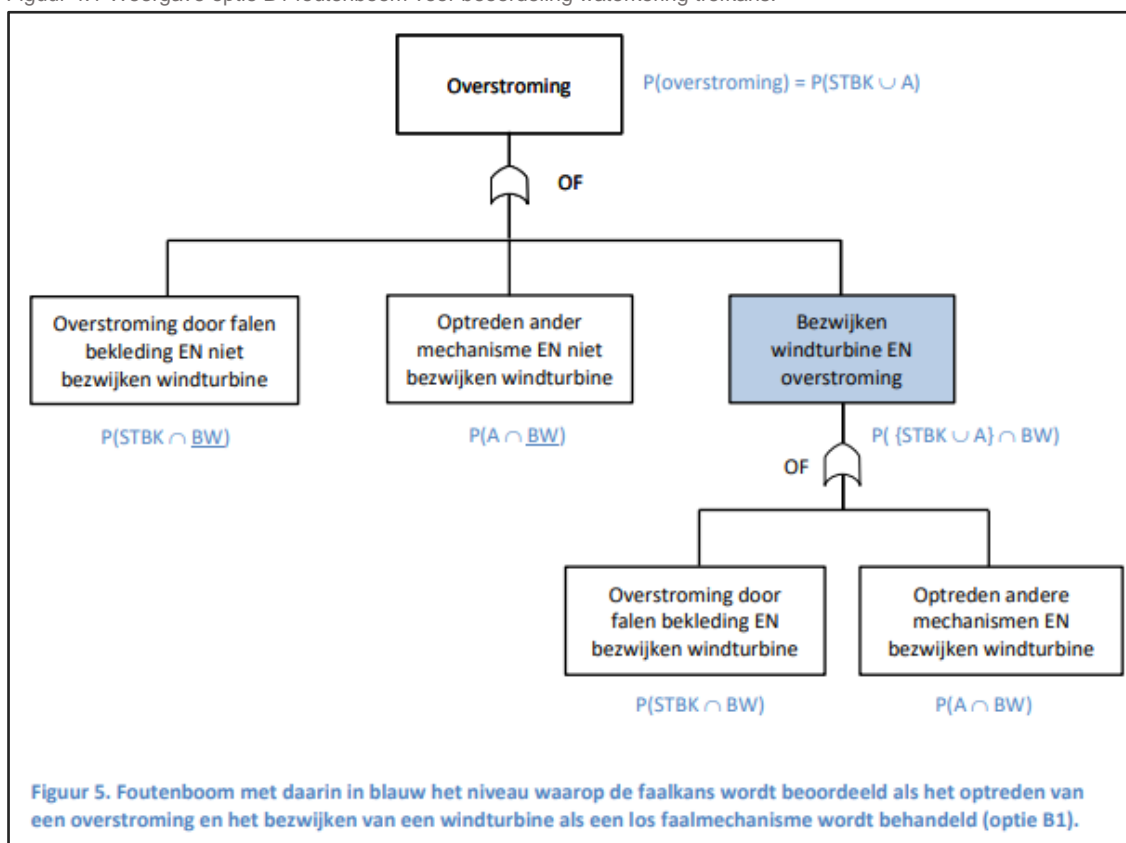
WT	Gondelfalen		Mastfalen		Bladworp		Totaal
	Gondel	Blad	Gondel	Blad	Nominaal	Overtoeeren	
A01	1,65E-09	2,95E-10	1,18E-08	1,18E-09	5,99E-09	3,48E-11	2,10E-08
A02	1,32E-09	2,91E-10	1,18E-08	1,17E-09	5,90E-09	3,45E-11	2,05E-08
A03	1,46E-09	2,93E-10	1,18E-08	1,17E-09	5,93E-09	3,46E-11	2,07E-08
A04	1,13E-09	2,89E-10	1,18E-08	1,18E-09	5,87E-09	3,46E-11	2,03E-08
A05	7,03E-10	2,85E-10	1,19E-08	1,19E-09	5,85E-09	3,49E-11	2,00E-08
A06	1,86E-09	3,00E-10	1,20E-08	1,20E-09	6,11E-09	0,00E+00	2,15E-08
A07	1,45E-09	2,93E-10	1,18E-08	1,17E-09	5,93E-09	0,00E+00	2,06E-08
A08	1,45E-09	2,93E-10	1,18E-08	1,18E-09	5,93E-09	0,00E+00	2,06E-08
A09	6,18E-10	2,87E-10	1,19E-08	1,19E-09	5,86E-09	0,00E+00	1,99E-08
A10	1,52E-09	2,94E-10	1,18E-08	1,18E-09	5,95E-09	0,00E+00	2,08E-08
A11	1,33E-09	2,92E-10	1,18E-08	1,17E-09	5,89E-09	0,00E+00	2,05E-08
B01	0	0	0	0	0	0	0
B02	0	0	0	0	0	0	0
B03	0	0	0	0	0	0	0
B04	0	0	0	0	0	0	0
C02	0	0	0	0	0	0	0
C03	0	0	0	0	0	0	0
C04	0	0	0	0	0	0	0
D02	0	0	0	0	0	0	0
D03	0	0	0	0	0	0	0
D04	0	0	0	0	0	0	0
D05	0	0	0	0	0	0	0
D06	0	0	0	0	0	0	0
D07	0	0	0	0	0	0	0
	1,45E-08	3,21E-09	1,30E-07	1,30E-08	6,52E-08	1,73E-10	2,26E-07

4 Beoordeling effecten

4.1 Risico inschatting bovengrondse directe effecten waterkering

In KPR memo 473 “Windturbines op of nabij primaire waterkeringen (473)” worden verscheidene manieren aangegeven hoe de overstroomingskans beoordeeld kan worden. Als eerste inschatting wordt optie B1 gebruikt om de hoogte van het effect in te schatten. Dit is in navolgend figuur visueel weergegeven in een foutenboom.

Figuur 4.1 Weergave optie B1 foutenboom voor beoordeling waterkering trefkans.



Dit betekent dat de invloed van de windturbines op de overstroomingskans beperkt blijft tot een totale risicotoevoeging van alle windturbines van het windpark, en dat deze invloed wordt beoordeeld als een los faalmechanisme uitgaande van een normstelling van 1:3000 jaar. De risicoverhoging als gevolg van het VKA aan de normstelling van 1:3000 jaar bedraagt daarmee 0,068%.

Een veel toegepast criteria is om windparken als geheel te beoordelen met een faalkansruimte van 1% ten opzichte van de totale normstelling. Effecten kunnen ook beoordeeld worden per individueel faalmechanisme waarbij gekeken dient te worden naar de manier van falen van elk afzonderlijk faalmechanisme en de invloed die de kratervorming / aanwezigheid van de windturbine veroorzaakt op dit faalmechanisme. Voor een alternatievenafweging in dit MER volstaat het om de eerste afweging te baseren op bovenstaande aanpak.